ABSTRACT

The study purpose. To develop technological parameters of the pulsed impact of crushing of carbide materials, which makes it possible to obtain a product with predetermined properties in order to save cobalt and improve the physicomechanical characteristics of finely dispersed hard alloys.

Methodology. he most important and general parameter in the choice of the shock-wave loading scheme for the process of destruction of a solid alloy is the pressure pulse of the blasting explosive at the assembly surface. By definition, the pressure pulse depends on the mass and velocity of detonation of explosives. As a research technique in this paper, we considered the destruction schemes using brisant explosives for crushing hard alloys.

Results. A comparative analysis of technological schemes for the regeneration of metal-ceramic alloys is carried out. Each of the schemes considered has advantages and disadvantages. Depending on the initial fraction of the scrap of hard alloys, a pulse loading scheme is chosen. An industrial high-efficiency technology for the production of cutting, destructive and forming tools from tungsten-cobalt and tungsten-nickel alloys has been developed by direct regeneration of secondary raw materials without using thermo-chemical and metallurgical methods.

Scientific novelty. It has been established that the most optimal scheme for the destruction of solid alloys is a device for charge synchronization applied to a two-way charge circuit for the crushing of hard alloys of a tungsten-nickel-cobalt carbide system with a different content of components. From the analysis of the above expressions it follows that it is preferable to select the detonation velocity of the initiating charge BB above the detonation velocity of the main charge BB.

Practical significance. The optimal scheme for the destruction of solid alloys is a device for synchronizing charges with respect to the scheme of two-way charge of crushing of hard alloys of the tungsten-nickel-cobalt carbide system with different components content.

Keywords: *tungsten, cobalt, tool, hard alloy, metal ceramics, recycling, heterogeneous medium, defect formation, explosives*

УДК 624.131.37:519.25

© О.А. Сдвижкова, О.С. Ковров, Т.В. Мнишенко

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЛИНИСТИХ ПОРІД

© O. Sdvyzhkova, O. Kovrov, T. Mnishenko

STATISTICAL ASSESSMENT OF CLAY ROCKS STRENGTH PROPERTIES

Мета. Виконати дослідження фізико-механічних властивостей м'яких глинистих порід за допомогою серійних випробувань на зсув та проаналізувати статистичний розподіл кута внутрішнього тертя та зчеплення.

Методика дослідження базується на результатах лабораторних випробувань за допомогою одноплощинного зсувного пристрою П10-С. Запропоновано метод описової статистики для оцінки властивостей м'яких гірських порід.

Результати дослідження. Представлені результати досліджень фізико-механічних характеристик ґрунтів з використанням методів теорії ймовірностей і математичної статистики. Методом одноплощинного зрізу визначено значення зчеплення C і кута внутрішнього тертя φ для зразків світло-жовтих лесових і жовто-бурих щільних суглинків, відібраних уздовж Дніївської балки (м. Дніпро) на ділянках обрушень та активізації зсувних процесів. Побудовано статистичні розподіли значень кута внутрішнього тертя і зчеплення при різному вологонасиченні зразків суглинків. Фізико-механічні характеристики суглинків в значній мірі залежать від ступеня вологонасичення. Встановлено, що в зразках світло-жовтих лесових суглинків в процесі висушування зразків утворюються тріщини і їх міцнісні властивості знижуються. Зразки жовто-бурих щільних суглинків при висушуванні стають міцнішими і при зменшенні вологонасичення вони ущільнюються та залишаються цільними.

Наукова новизна. Встановлено ефект переходу від нормального до рівномірного закону розподілу фізико-механічних характеристик суглинків за рахунок коливань їх вологонасичення та відповідно зменшення їх міцнісних властивостей.

Практичне значення. Отримані результати є важливими для подальшого дослідження властивостей глинистих порід, особливо для адекватного прогнозування умов граничної рівноваги в масиві суглинків та прогнозування зсувів.

Ключові слова: *глинисті породи, зчеплення, кут внутрішнього тертя, закон рівномірного розподілу, статистична оцінка*

Актуальність. Визначення фізико-механічних характеристик просадкових лесових ґрунтів та м'яких глинистих порід є важливим елементом інженерно-геологічних вишукувань, наприклад при оцінці стійкості природних схилів і техногенних укосів. Достовірні значення таких величин як зчеплення, кут внутрішнього тертя, отриманих експериментальним шляхом, зумовлюють стійкість і надійність різноманітних споруд та технічних об'єктів в процесі їх будівництва експлуатації [1].

Фізико-механічні властивості порід мінливі, залежать від великої кількості різних факторів, серед яких важко виділити домінуючий, тому для їх оцінки можна використовувати нормальний закон розподілу. Мінливість зчеплення і кута внутрішнього тертя зазвичай враховують при розрахунках коефіцієнту запасу стійкості укосів у вигляді розрахункових характеристик отриманих за результатами лабораторних випробувань.

Використання методів теорії ймовірностей і математичної статистики дає можливість більш вірогідно і науково обґрунтовано визначити розрахункові характеристики міцнісних властивостей м'яких глинистих порід для оцінки стійкості схилів і укосів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення природних умов яружно-балочних мереж, впливу на їх геоморфологічний стан статичних та динамічних навантажень з метою своєчасного виявлення негативних змін в геологічному середовищі та запобігання зсувним процесам, прогнозування змін інженерно-геологічних умов під впливом природно-техногенних факторів та надання практичних рекомендацій із захисту території від небезпечних геологічних процесів є основною метою геомоніторингу [3, 4].

Балка Діївська (Безп'ята, Кринична) знаходиться вздовж житлового масиву Діївка в західній частині Новокодакського району м. Дніпро. Наразі вся територія балки являє собою техноекологічну небезпеку через масштабні зсувні явища, які загрожують знищенням приватним будинкам та дачним ділянкам. Згідно з геомоніторинговими даними загальна довжина балки сягає приблизно 3000 м. та характеризується широкою розгалуженістю, різною крутизною схилів. Загальна глибина урізу балки змінюється від 15 м до 40 м, а кут ухилу укосів 30-60º [5].

Зсувонебезпечність балки обумовлена як геоморфологічними характеристиками місцевості, так і низькими міцнісними властивостями ґрунтів, що представлені лесовими просадковими суглинками. Статистичний аналіз міцності таких порід є основою для імовірнісного способу розрахунку стійкості укосів балки. Використання розрахункових показників характеристик, обчислених з певною надійністю, ще не означає, що прогноз зсувонебезпечності буде так само достовірним. Це обумовлено ряду природних і техногенних факторів, які в більшій чи меншій мірі впливають на стійкість укосів та носять імовірнісний характер, що викликає необхідність застосування імовірнісних методів розрахунку [6].

У зв'язку з цим постає завдання: визначити надійність одержуваних розрахункових значень фізико-механічних властивостей глинистих порід за результатами лабораторних випробувань на основі статистичних характеристик розподілу зчеплення та кута внутрішнього тертя.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є статистична оцінка фізико-механічних властивостей глинистих порід балки Діївська для визначення опору зсувним деформаціям та оцінки зсувнонебезпеки об'єкту.

Основний матеріал. Процес руйнування глинистих ґрунтів є складним і обумовлений водно-колоїдними і цементаційними зв'язками, які мають місце в глинистих ґрунтах, що забезпечує деякий їх опір розтягуванню.

Визначення фізико-механічних властивостей суглинків. У лабораторних умовах опір ґрунтів зрушенню встановлюється серійними випробуваннями їх зразків на прямий зріз в зсувних приладах. Випробування на зрушення проводиться за схемою неконсолідовано-недренованого випробування безпосередньо після відбору проб ґрунту. Якщо зразок ґрунту помістити в зсувний пристрій, що складається з двох компресійних кілець, то приклавши вертикальну силу F і поступово збільшуючи горизонтальну (зрушувальну) силу T, відбувається зріз (зрушення) однієї частини зразка щодо іншої (рис. 1, *а, б*).

З метою виконання серій експериментальних випробувань на зрушення уздовж бортів балки Дієвська (м. Дніпро) були відібрані зразки м'яких розкривних порід непорушеної структури на ділянках свіжого обрушення уступів відповідно до ДСТУ Б В.2. 1-8-2001 «Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків» [7].

Верхні глинисті породи, найбільш схильні до процесів вивітрювання, поверхневої ерозії і зсувних деформацій, представлені світло-жовтими

лесовими і жовто-бурими суглинками. Зразки суглинків відбиралися на ділянках природних оголень і свіжих обвалень уступів балки. Розміри зразків 100х100х100 мм. Кількість зразків – не менше 3 для кожного виду суглинку. Методика проведення лабораторних випробувань регламентована ДСТУ Б В.2.1-4-96 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості» [8].

Визначалися наступні характеристики: опір порід зрізу τ, кут внутрішнього тертя φ і питоме зчеплення C. Для цих цілей був використаний одноплощинний зрізний прилад П10-С з фіксованою площиною зрізу шляхом зсуву однієї частини зразка щодо іншої його частини дотичним навантаженням при одночасному навантажуванні зразка вертикальним навантаженням, нормальним до площини зрізу. Для випробувань використані зразки ґрунту непорушеної структури з природною вологістю (рис. 1, *в*).

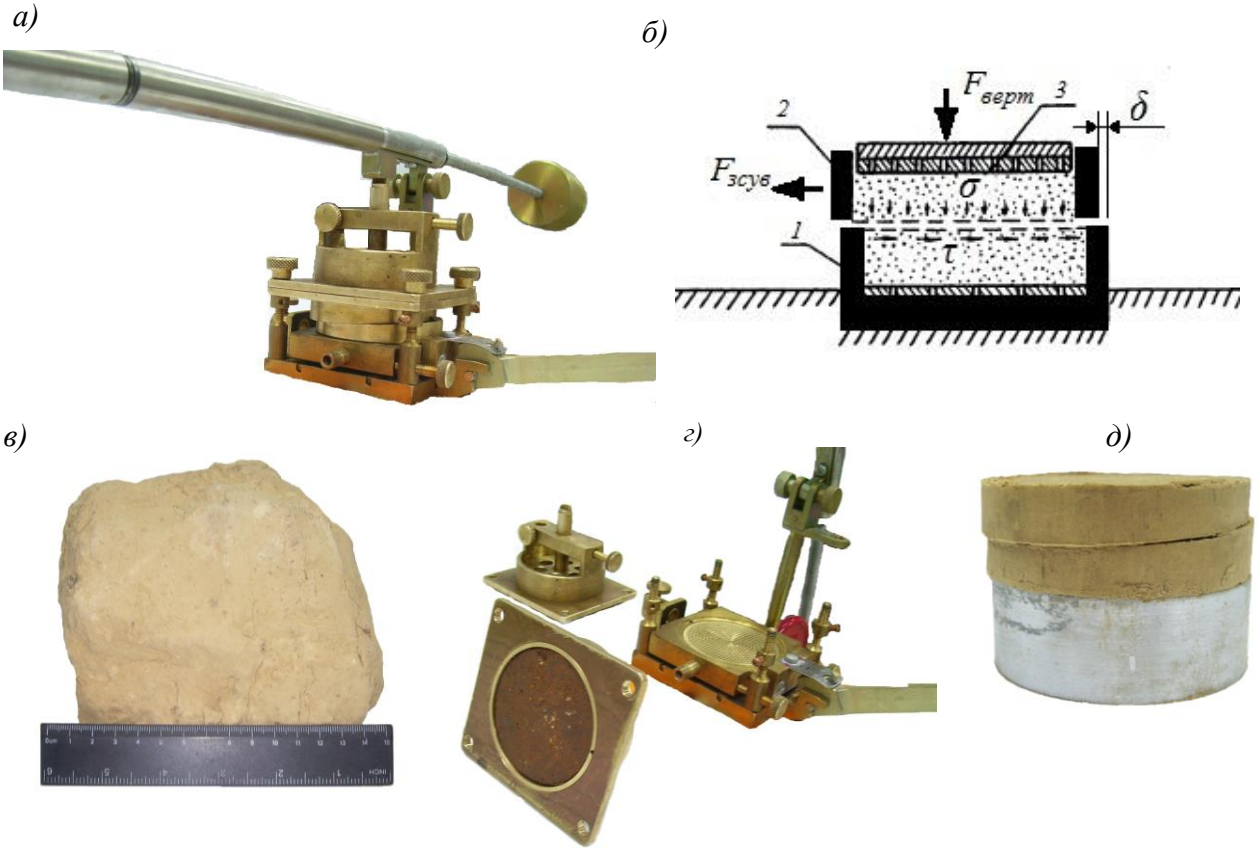


Рис. 1. Випробування зразків м'яких розкривних порід на зрушення:
а) загальний вид приладу П10-С; б) схема приладу для випробування ґрунту на зрушення: 1 – нерухома обойма; 2 – рухома обойма; 3 – фільтруюча пластина з отворами; в) зразок породи (суглинок); г) підготовка зразка до випробування; г) зразок суглинку після випробування

Для визначення опору порід зсуву використані зразки у формі циліндру діаметром 56 мм і висотою 20 мм, відібрані компресійними гільзами. Зразки, відібрані в компресійних гільзах перекладалися з обох сторін листками фільтрувального паперу і містилися в станину приладу. Випробування проводилися без

замочування з розрахунку на природну вологість матеріалу.

Порядок виконання експерименту наступний. За допомогою кріпильного пристрою нижня частина приладу надійно закріплюється до горизонтальної поверхні. На ріжучу загострену частину гільзи надягається направляючий циліндр пристосування для переміщення зразків ґрунту в пристрій за допомогою спеціального поршня. По верхній і нижній площинах зразка ґрунту попередньо прокладаються листки фільтрувального паперу. Звільнену від ґрунту гільзу знімають, встановлюють на місце верхню частину зсувного пристрою, щільно притискають до поверхні ґрунту поршень і закріплюють його гвинтом.

До зразка прикладають спочатку вертикальне навантаження, що стискає зразок. Потім прикладають горизонтальне навантаження, що викликає зсувні сили. Кожний ступінь вертикального навантаження витримують: при піщаних зразках ґрунту – не менше 5 хвилин; при глинистих зразках ґрунту – не менше 30 хв. Кінцевий ступінь навантаження витримують до умов стабілізації деформації на стискання. За умовну стабілізацію деформації приймають величину стискання, що не перевищує 0,01 мм; для піщаних ґрунтів – за 30 хвилин; для супіщаних ґрунтів – за 3 години; для суглинків і глин – за 12 годин.

За виміряними в процесі випробувань значеннями дотичного і нормального навантаженнями визначають дотичні і нормальні напруження τ і σ (МПа) за формулами:

$$\tau = \frac{Q}{A}; \tag{1}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}, \tag{2}$$

де Q та F – відповідно дотична і нормальна сили до площини зрізу, кг, А – площа зрізу, см^2.

На підставі проведених випробувань обчислюються основні параметри зсуву: кут внутрішнього тертя і зчеплення. Результати випробувань представляються у вигляді графіка залежності між тиском і опором зсуву. Питомі значення кута внутрішнього тертя φ і зчеплення C при аналізі не менше 3-х проб кожного виду суглинку, обчислювалися за формулами:

$$tg\varphi = \frac{n\Sigma\tau_i\sigma_i - \Sigma\tau_i\Sigma\sigma_i}{n\Sigma(\sigma_i)^2 - (\Sigma\sigma_i)^2}; \tag{3}$$

$$c = \frac{\Sigma\tau_i\Sigma\sigma^2{}_i - \Sigma\sigma_i\Sigma\tau_i\sigma_i}{n\Sigma(\sigma_i)^2 - (\Sigma\sigma_i)^2}, \tag{4}$$

де τ_i – дослідні значення опору зрізу, певні при різних значеннях σ_i і відносяться до одного інженерно-геологічного елементу або окремого моноліту ґрунту (при $n \geq 3$), n – число випробувань.

Побудова статистичного розподілу досліджуваних кількісних ознак - кута внутрішнього тертя φ і зчеплення C. Вибір теоретичного закону розподілу фізико-механічних характеристик ґрунтів є одним з важливих етапів досліджень і інженерно-геологічних вишукувань в практиці геотехнічної оцінки стійкості

природних схилів і інженерних укосів. При моделюванні геомеханічних процесів, що розвиваються в ґрунтах під дією різних природних і техногенних факторів, важливим є врахування розкиду основних характеристик, що визначають стійкість ґрунтових схилів – зчеплення і кута внутрішнього тертя.

Отримані експериментальним шляхом значення кута внутрішнього тертя φ і зчеплення C зі статистичної точки зору являють собою вибірки з генеральних сукупностей об'єктів, яким притаманні зазначені механічні характеристики. Для систематизації та візуалізації цих характеристик необхідно побудувати статистичний розподіл для кожної досліджуваної кількісної ознаки: кута внутрішнього тертя і зчеплення. З цією метою дані (значення кожної досліджуваної ознаки X) групуються в інтервальні ряди (табл. 1).

Кількість інтервалів може бути вибрано довільно, виходячи з кращої візуалізації даних, або визначено за формулою [9]:

$$r = 1 + 3.21 \lg n, \tag{5}$$

де n – обсяг вибірки.

Таблиця 1

Вид інтервального ряду для ознаки X

Інтервали з межами x_{i-1} - x_i ,	1	2	……	r
Довжини інтервалів	l_1	l_2	……	l_r
Частоти	m_1	m_2	…….	m_r
Відносні частоти	w_1	w_2	……	w_r
Середини інтервалів	u_1	u_2	……	u_r

Графічним зображенням інтервального ряду є гістограма відносних частот, висоти яких визначаються за формулою:

$$h_i = \frac{w_i}{l_i}, \qquad i = 1, r, \tag{6}$$

Гістограми відносних частот для досліджуваних кількісних ознак кута внутрішнього тертя і зчеплення наведені на рис. 2 і 3.

Для кожного розподілу отримані статистичні моменти (параметри розподілу), що оцінюють середнє значення і розкид:

– початковий момент першого порядку (вибіркова середня)

$$\bar{x}^* = \sum_{i=1}^{r} u_i \cdot w_i; \tag{7}$$

– центральний момент другого порядку (вибіркова дисперсія)

$$D^* = \sum_{i=1}^{r} u_i^2 \cdot w_i - \left(\bar{x}^*\right)^2; \tag{8}$$

– виправлена дисперсія

$$S^2 = \frac{n}{n-1} \cdot D^*; \tag{9}$$

– середньоквадратичне відхилення (стандарт)

$$S = \sqrt{S^2}\,; \tag{10}$$

– відносна варіація

$$– \quad \eta^* = \frac{S}{\overline{x}^*}\,. \tag{11}$$

а) світло-жовті суглинки, W = 5% *б) жовто-бурі суглинки*

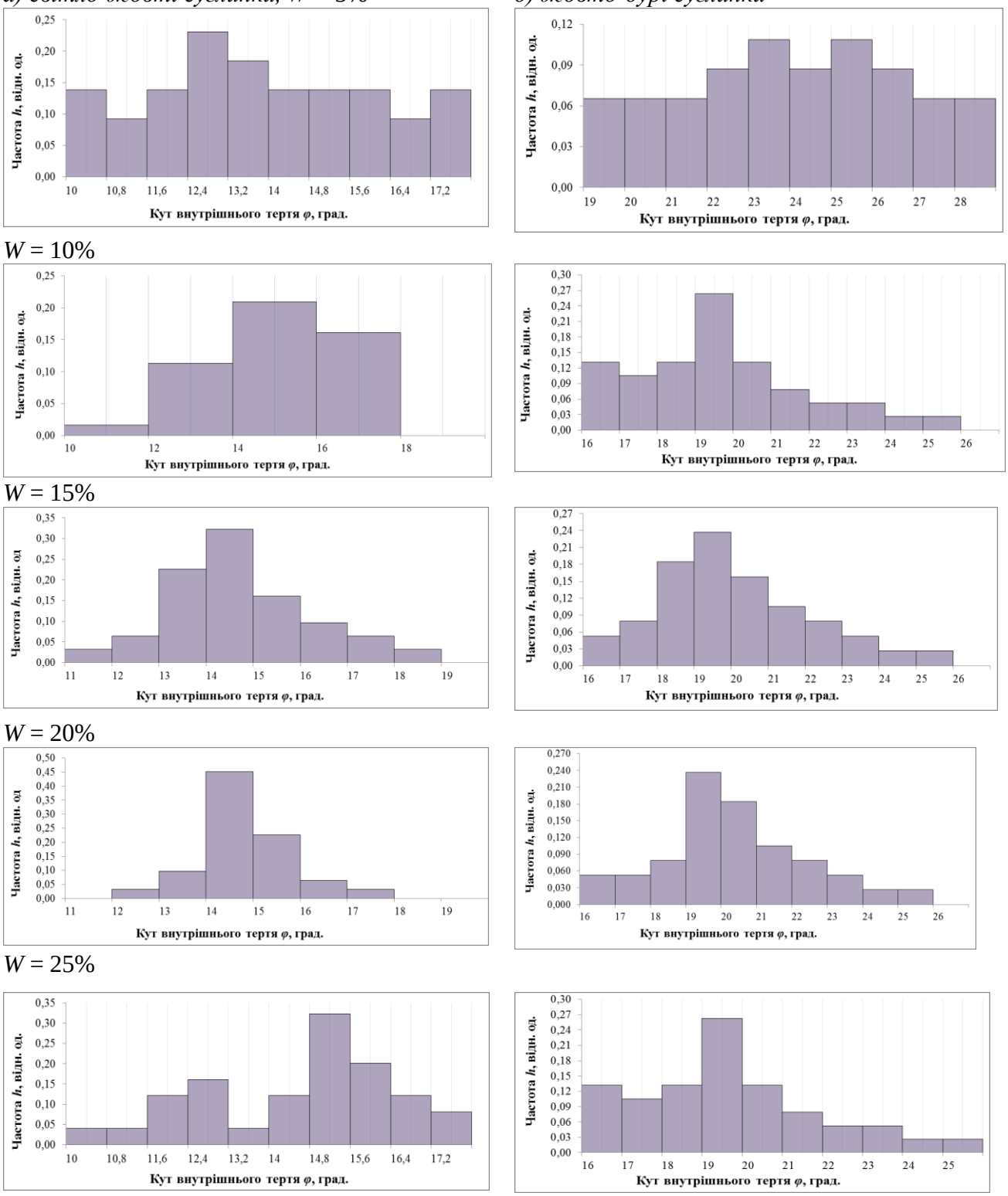
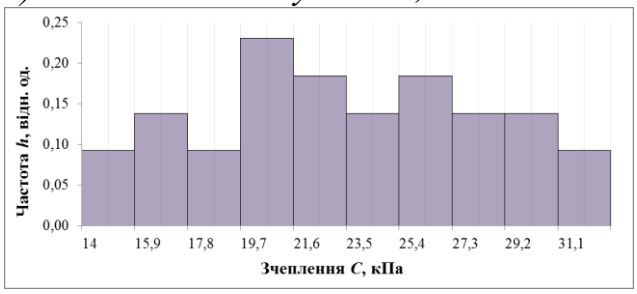
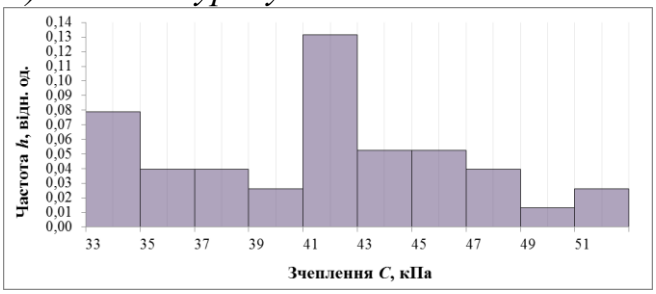


Рис. 2. Гістограми частот для кута внутрішнього тертя

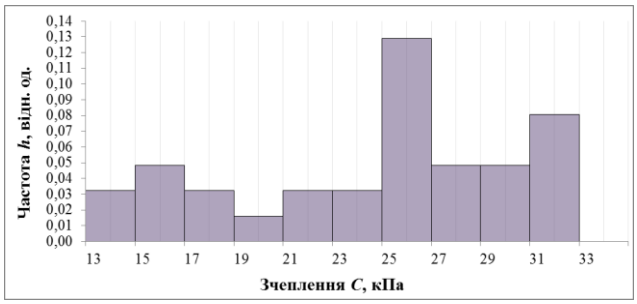
а) світло-жовті суглинки, W = 5%

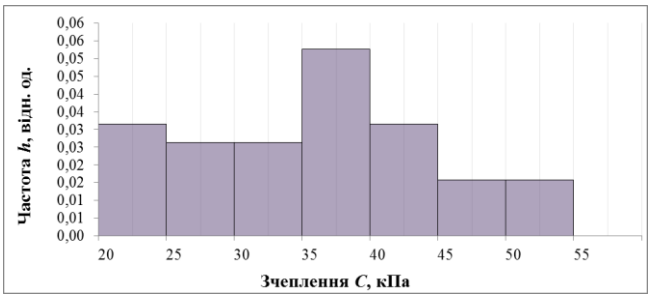


б) жовто-бурі суглинки

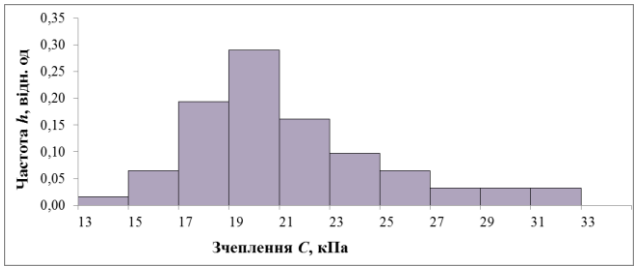


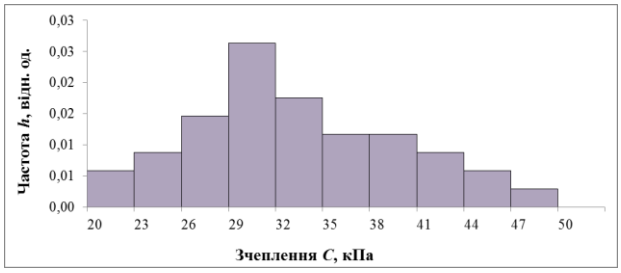
W = 10%



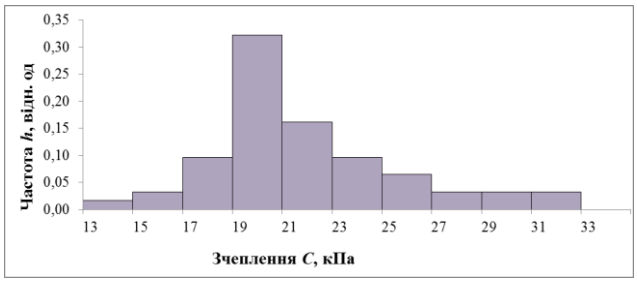


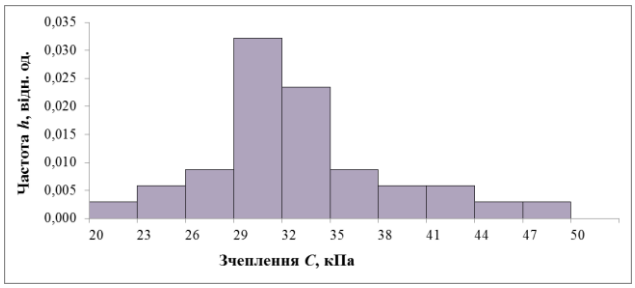
W = 15%



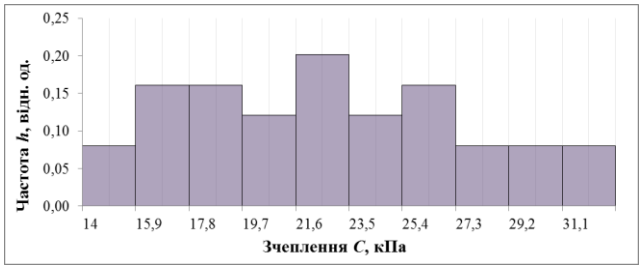


W = 20%





W = 25%



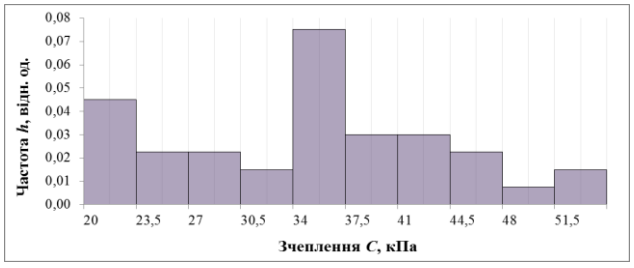


Рис. 3. Гістограми частот для зчеплення

Попередньо обчислені значення статистичних моментів зведені в таблиці 2 і 3. Для обґрунтованого вибору теоретичного розподілу використовують графік Пірсона [10], на якому відомі теоретичні закони розподілу ймовірностей представлені в двовимірному просторі за допомогою нормованого показника асиметрії

$$\beta_1 = \frac{\mu_3^{\,2}}{\mu_2^{\,3}} \tag{12}$$

і нормованого показника ексцесу:

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}. \tag{13}$$

Ці показники визначаються через центральні моменти другого μ_2, третього μ_3 та четвертого μ_4 порядків. Статистичні аналоги зазначених моментів у разі інтервального групування даних визначаються за формулами:

$$\mu_2^* = \sum_{i=1}^{r}(u_i - \bar{x}^*)^2 \cdot w_i; \quad \mu_3^* = \sum_{i=1}^{r}(u_i - \bar{x}^*)^3 \cdot w_i; \quad \mu_4^* = \sum_{i=1}^{r}(u_i - \bar{x}^*)^4 \cdot w_i \tag{14}$$

Відповідні значення статистичних моментів (параметрів розподілу), які оцінюють середнє значення і розкид показників, асиметрію і ексцес $(\beta_1^*; \beta_2^*)$ для всіх досліджуваних статистичних сукупностей представлені в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Параметри статистичних розподілів кута внутрішнього тертя φ

Породи		Параметри статистичного розподілу				
		$\bar{x}^*$	S	η^*	β_1^*	β_2^*
Світло-жовті лесові суглинки	W = 5%	13,58	1,86	0,184	0,098	-0,972
	W = 10%	14,74	1,67	0,111	-0,425	0,165
	W = 15%	15,13	1,61	0,106	0,188	1,137
	W = 20%	15,32	1,02	0,067	0,412	1,212
	W = 25%	14,74	1,86	0,126	-0,425	0,165
Жовто-бурі щільні суглинки	W = 5%	24,94	2,80	0,112	-0,365	-0,657
	W = 10%	20,16	2,37	0,116	0,447	0,100
	W = 15%	20,40	2,16	0,105	0,473	0,424
	W = 20%	20,85	2,16	0,103	0,201	0,386
	W = 25%	20,11	2,37	0,117	0,447	0,100

Значення кута внутрішнього тертя для світло-жовтих лесових суглинків варіюють в діапазоні 13,58-15,32°, при цьому максимальне та мінімальне значення відносної вологості в масиві спричиняє слабкі міцнісні властивості масиву. Для жовто-бурих суглинків кут внутрішнього тертя варіює в діапазоні 20,11-24,94°. Відносна варіація щодо середнього становить 6,7-18,4%.

Таблиця 3

Параметри статистичних розподілів зчеплення *C*

Породи		Параметри статистичного розподілу				
		$\bar{x}$*	*S*	η*	β_1^*	β_2^*
Світло-жовті лесові суглинки	W = 5%	20,93	3,90	0,186	-0,070	-1,047
	W = 10%	24,58	5,69	0,231	-0,531	-0,780
	W = 15%	21,54	3,85	0,191	0,599	0,315
	W = 20%	21,96	3,94	0,179	0,482	0,383
	W = 25%	17,65	3,35	0,190	0,024	-0,863
Жовто-бурі щільні суглинки	W = 5%	41,50	5,46	0,132	0,161	-0,911
	W = 10%	35,11	9,18	0,251	0,142	-0,622
	W = 15%	33,84	6,93	0,116	0,307	-0,235
	W = 20%	33,71	6,27	0,186	0,680	0,326
	W = 25%	35,11	9,18	0,261	0,142	-0,621

Значення зчеплення для світло-жовтих лесових суглинків варіюють в діапазоні 17,65-24,58 кПа, для жовто-бурих суглинків - 33,71-41,50 кПа, а розкид значень відносно середнього становить 11,6-25,1%.

Низькі міцнісні властивості світло-жовтих лесових суглинків обумовлені їх макропористістю, і відповідно вологонасиченням. При підвищенні вологості верхнього шару лесових суглинків в результаті інтенсивних опадів спостерігається набухання масиву. Зворотний процес висихання масиву супроводжується збільшенням пористості і розвитком системи тріщин.

Особливість зсувних процесів в ґрунтовому масиві полягає у виникненні деформацій і розвитку поверхні ковзання в м'яких суглинкових породах. Верхні шари геологічного профілю даної території представлені світло-жовтими лесовими суглинками і жовто-бурими щільними суглинками. Фізико-механічні характеристики цих м'яких порід в значній мірі залежать від ступеня вологонасичення. При збільшенні вологості значення зчеплення і кута внутрішнього тертя логарифмічно знижується [1].

Однак, при значеннях вологості $W \leq 10\%$, властивості зразків порід різняться. Так, в зразках світло-жовтих лесових суглинків в процесі висушування зразків при $W \to 0\%$ утворюються тріщини, що створює певну складність визначення опору на зсув. Проте, отримані значення зчеплення C = 10 кПа і кута внутрішнього тертя φ = 13° при W = 5% свідчать про зниження міцнісних властивостей зразків світло-жовтих суглинків внаслідок утворення тріщин (рис. 4, *а*). Аналогічні процеси спостерігаються в масивах верхніх суглинків яружно-балочних мереж в результаті природних процесів ерозії, оголення порід з подальшим тріщино утворенням та обрушенням.

Рис. 4. Зразки м’яких порід після висушування ($W \leq 5\%$):
світло-жовті лесові суглинки (*а*) и жовто-бурі щільні суглинки (*б*)

Проте, зразки жовто-бурих щільних суглинків при висушуванні стають міцнішими і при $W = 5\%$ усереднені значення характеристик міцності $C = 95$ кПа и $\varphi = 35°$. При цьому, зразки ущільнюються та залишаються цільними, без видимих тріщин (рис. 4, *б*)

Аналізуючи гістограми розподілу значень досліджуваних міцнісних характеристик ґрунтів (рис. 2 та 3), можна припустити, що закон розподілу значень кута внутрішнього тертя та зчеплення змінюється від нормального до рівномірного в залежності від вологонасичення ґрунтів. При вологості суглинків близькій до природної ($W = 10…20$ %) має місце нормальний розподіл властивостей. Зменшення міцнісних властивостей масиву при збільшенні або зменшенні вологонасичення описується несиметричним розподілом відповідно до рівномірного закону.

Висновки. В роботі представлені результати досліджень фізико-механічних характеристик ґрунтів з використанням методів теорії ймовірностей і математичної статистики. Методом одноплощинного зрізу визначено значення зчеплення C і кута внутрішнього тертя φ для зразків світло-жовтих лесових і жовто-бурих щільних суглинків, відібраних уздовж Діївської балки на ділянках обрушень та активізації зсувних процесів.

За результатами лабораторних випробувань порід побудовані статистичні розподілу для значень кута внутрішнього тертя і зчеплення. Фізико-механічні характеристики цих м’яких порід в значній мірі залежать від ступеня вологонасичення. При збільшенні вологості значення зчеплення і кута внутрішнього тертя логарифмічно знижується.

Встановлено, що в зразках світло-жовтих лесових суглинків в процесі висушування зразків при $W \to 0\%$ утворюються тріщини і їх міцнісні властивості

знижуються. Зразки жовто-бурих щільних суглинків при висушуванні стають міцнішими і при $W = 5\%$ вони ущільнюються та залишаються цільними.

Встановлено, що має місце перехід від нормального до рівномірного закону розподілу фізико-механічних властивостей суглинків залежно від їх вологості.

Перелік посилань

1. Solodyankin, O., Kovrov, O., Ruban, N. (2015). Investigation of physical and mechanical properties of subsiding soils at the Yevpatoriyskaya ravine located in the City of Dnepropetrovsk. *Scientific Bulletin of the National Mining University*. Vol. 1., 15-20.
2. Сдвижкова, Е. А, Ковров, А.С., Мнишенко, Т.В., Ракишев, Б.Р. (2017) Вероятностно-статистическая оценка физико-механических свойств мягких вскрышных пород. *Форум гірників*: матеріали міжнар. конф., 4 – 7 жовтня 2017 р., м. Дніпро. – Дніпро : НГУ, 2017, 176-182.
3. *Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов.* (1984). Москва: ПНИИИС, Стройиздат.
4. Yemelianova, Ye.P. (1972). Основные закономерности оползневых процессов. Москва: Недра.
5. Богаченко, Л.Д., Осадча, Л.І., Сібуль, Т.В. (2014). Моніторинг земель та стану геологічного середовища по балці Діївська в м. Дніпропетровську. Дніпро: *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія. Географія»*, № 15, 2-7.
6. Сдвижкова, Е.А., Ковров, А.С., Мнишенко, Т.В. (2017). Вероятностно-стохастическая модель распределения физико-механических свойств мягких горных пород. Житомир: *ВІСНИК ЖДТУ*. № 2 (80), С. 189-199. DOI: https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-189-199.
7. *Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків*: ДСТУ Б В.2. 1-8-2001 (ГОСТ 12071-2000). (2002). Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України.
8. *Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості:* ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). (1997). Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури.
9. Gmurman, V.Ye. (2003). Теория вероятностей и математическая статистика. – Москва: Высш. шк.
10. Khan, G., Shapiro, S. (1969). Статистические модели в инженерных задачах. Москва: Мир.

АННОТАЦИЯ

Цель. Выполнить исследования физико-механических свойств мягких глинистых пород с помощью серийных испытаний на сдвиг и проанализировать статистическое распределение угла внутреннего трения и сцепления.

Методика исследования базируется на результатах лабораторных испытаний с помощью одноплоскостного сдвигового устройства П10-С. Предложен метод описательной статистики для оценки свойств мягких горных пород.

Результаты исследования. Представлены результаты исследований физико-механических характеристик грунтов с использованием методов теории вероятностей и математической статистики. Методом одноплоскостного среза определено значение сцепления C и угла внутреннего трения φ для образцов светло-желтых лёссовых и желто-бурых плотных суглинков, отобранных вдоль Диевской балки (г. Днепр) на участках обрушений и активизации оползневых процессов. Построено статистические распределения значений угла

внутреннего трения и сцепления при различном влагонасыщении образцов суглинков. Физико-механические характеристики суглинков в значительной степени зависят от степени влагонасыщения. Установлено, что в образцах светло-желтых лессовых суглинков в процессе высушивания образцов образуются трещины и их прочностные свойства снижаются. Образцы желто-бурых плотных суглинков при высушивании становятся крепче и при уменьшении влагонасыщения они уплотняются и остаются цельными.

Научная новизна. Установлен эффект перехода от нормального к равномерному закону распределения физико-механических характеристик суглинков за счет вариаций их влагонасыщения и соответственно уменьшение их прочностных свойств.

Практическое значение. Полученные результаты важны для дальнейшего исследования свойств глинистых пород, особенно для адекватного прогнозирования условий предельного равновесия в массиве суглинков и прогнозирования оползней.

Ключевые слова: *глинистые породы, сцепление, угол внутреннего трения, закон равномерного распределения, статистическая оценка*

ABSTRACT

Purpose. The paper presents the studies of physical and mechanical properties of soft overburden rocks obtained through serial shearing tests and further statistical distribution of the angle of internal friction and cohesion.

Methodology. The methodological approach is based on experiment results obtained through lab tests using a single-plane shearing device P10-C. The method of descriptive statistics was applied for evaluation of rock properties.

Findings. The results of investigation of physical-mechanical characteristics of soils with the use of probability theory and mathematical statistics methods are presented. The values of cohesion C and the internal friction angle φ for the samples of light yellow clays and yellow-brown dense loams taken along the Diyovka ravine (Dnipro City) at the sites of failures and activation of landslide processes were determined via the method of plane shear. The statistical distributions of values for the angle of internal friction and cohesion at different moisture content of loam samples are plotted. The physical-mechanical characteristics of loams are largely dependent on the degree of moisture content. It was established that in the process of drying, the cracks are formed in samples of light yellow subsidence loams, and their strength properties are reduced. Samples of yellow-brown dense loams during drying become stronger and, decreasing of moisture content is followed by their packing and keeping integrity. Statistical distributions of the angle of internal friction and cohesion values at different values of moisture saturation in the loam samples are plotted.

Originality. The effect of the transition from the normal to the uniform distribution law by a decrease of strength properties of soft clay rocks is presented.

Practical implications. The obtained results are important for further research of clay strength properties especially for adequate prognosis of limit equilibrium conditions in the native rock massifs and prognosis of landslides.

Keywords: *clay rocks, strength properties, cohesion, angle of internal friction, uniform distribution law, statistical assessment*