

## Якост на срязване на плиоценски прахови глини при статично и динамично натоварване

*Борис Константинов*

Константинов, Б. 1981. Прочность плиоценовых пылеватых глин на скалывание при статической и динамической нагрузках. — *Инж. геол. и гидрогеол.*, 11, 44—55.

При лабораторном исследовании прочности глин на скалывание установлено известное уменьшение угла внутреннего трения и кохезии при динамической нагрузке по сравнению со статической нагрузкой. Эффект динамической нагрузки находится в прямой зависимости от содержания воды и от структуры грунта и достигает максимальной величины при определенной (критической) влажности и при нарушенной структуре.

Адрес: Болгарская академия наук, Лаборатория геотехники, 1113 София.

Constantinov, B. 1981. Shear Strength of Pliocene Silty Clays at Static and Dynamic Loading. — *Engineering Geology and Hydrogeology*, 11, 44—55.

In result of laboratory investigations on the shear strength of pliocene silty clays at dynamic loading conditions some decreasing of the internal friction angle and cohesion is found compared with values at static loading conditions. The dynamic loading effect is depending directly on the water content and structure of the soils tested, and has a maximum at given critical moisture and disturbed structure values.

Address: Bulgarian Academy of Sciences, Geotechnical Laboratory, 1113 Sofia.

За изучаване, прогнозиране и предотвратяване на постсейсмогенните явления в рамките на комплексното изучаване на динамичните свойства на строителните почви в Лаборатория по геотехника — БАН са проведени серия опити за определяне на якостта на срязване при статичен и динамичен режим на натоварване.

Първите изследвания върху динамичното поведение на строителни почви са публикувани през 1948 г. от Казагранде и Шанон (Красников, 1970). Образци от пясчлива глина, изпитани на срязване при вибрационно натоварване с ускорение 0,5 g, намаляват якостта си с 5—40% за различни стойности на водното съдържание (Mogami, 1953). Sed (1960) изследва деформационното и якостното поведение на прахови глини при комбинирано статично и динамично натоварване. Той установява, че образците се срязват при достигане на 75% от деформацията на разрушаване при статично натоварване. Влиянието на динамичното натоварване върху якостните свойства се изразява в едни случаи в нарастване на якостта на срязване, а в други — в нейното намаляване. При това нарастването е особено значително в началните стадии на натоварването, а след това е по-слабо забележимо. Намаляване на якостта се наблюдава при по-продължителни динамични нато-

варвания. О к а м о т о (1980), анализирайки последствията от силни земетресения, показва, че особено характерен е случаят на намаляване на якостта на свързаните строителни почви. Е р м о л а е в и С е н и н (1968) определят якостта на срязване на глинести пясъци и пясъчливи глини във функция от ускорението на вибрационното натоварване. Те разграничават два участъка — за стойности на ускорението от 0 до 1,5g, където якостта на срязване не намалява с повече от 5% и за ускорения от 1,5 до 7,0g, за който якостта намалява по експоненциален закон. Ж и н к и н и П р о к у д и н (1975) изследват съотношението на якостите на срязване, определени при статично и динамично натоварване, във функция от водното съдържание. Опитите са извършени при комбинирана динамична и статична съставляваща на натоварването при разлика между минималната и максималната стойност на пулсациите 0,0471 МПа и честота 37 Hz. За различно водно съдържание на изследваните образци — пясъчливи и прахови глини — се наблюдава намаляване на якостта на срязване с 5—45% в сравнение със статично определената.

С първите стъпки на инженерната геология у нас се поставя и въпросът за динамичната устойчивост на строителните почви. Б а л у ш е в (1947) обръща внимание, че при динамични натоварвания се влошават якостните свойства на почвите и изказва предположение, че под действие на динамичното натоварване те преминават в по-пластично състояние. И л и е в (1974) определя якостните свойства на сарматски прахови глини от района на Балчик и на прахови глини от надвъглищния комплекс на източномаришкия плиоценски басейн при динамичен режим на натоварване. Срязването е осъществено в едноплоскостен апарат тип „Маслов“, монтиран върху вибрационен плот. Резултатите показват намаляване на якостта на срязване в сравнение със статично определената с 25% за сарматските глини и с до 50% за плиоценските. При това намаляването на якостта на срязване е главно за сметка на намаляване на сцеплението.

Настоящата работа по същество е продължение на извършените у нас изследвания. Опитите са извършени в едноплоскостен срязващ апарат. Динамичното натоварване е осъществено посредством ексцентрик, задвижван от електродвигател с възможности за регулиране на честотата и амплитудата. В конкретното изпълнение вибраторът осигурява два режима на работа: I — с честота  $f=8$  Hz, максимална амплитуда  $A=0,25 \cdot 10^{-3}$  m, максимално ускорение  $a=0,63$  m/s<sup>2</sup> и II — с честота 9,51 Hz, амплитуда 0,5 · 10<sup>-3</sup> m и ускорение 1,78 m/s<sup>2</sup>. Честотите и ускоренията при тези два режима са близки до очакваните при реални земетресения от VII и VIII степен по скалата на Медведев — Шпонхойер — Карник. Приведените по-нататък опитни резултати се основават на изследвания, извършени при II режим на работа.

Литературни данни (К р а с н и к о в, 1981) и предварителните опити показаха, че най-значително намаляване на якостта на срязване се наблюдава при изпитване на недренирани, неконсолидирани образци. Затова е възприета методика (И в а н о в, 1964), според която пробата се срязва при естествена влажност и плътност. При решаване на конкретни задачи методиката на изследване трябва да бъде в съответствие с условията на работа на строителната основа. В случая срязващата сила  $T$  се увеличава на степени през 1 min, а ъгловите деформации се отчитат през 30 s. Отделните степени се подбират така, че срязването да завърши за 10—12 min. Съобразно с дълбочината на залягане на отделните литоложки тела съпротивлението на срязване е определено при стойности на нормалното напрежение 0,1, 0,3, 0,5 и 0,7 МПа и 0,1, 0,2 и 0,3 МПа. Всички изпитвания са извършени както при динамичен, така и при статичен режим на натоварване със съот-

ветно контролиране на водното съдържание. На всички образци са определени и скоростите на разпространение на надлъжни еластични вълни  $V_p$  с помощта на ултразвуков бетоноскоп тип В1-8R при честота 40kHz и база  $4.10^{-2}m$ .

При обработката на експерименталния материал се използва понятието динамична (сеизмична) чувствителност  $r$ . В настоящата работа под динамична чувствителност се разбира отношението на съпротивленията на срязване  $\tau$ , съответно при динамичен  $\tau_{дин}$  и статичен  $\tau_{ст}$  режим на натоварване, в проценти:

$$(1) \quad r_z = (\tau_{дин} / \tau_{ст}) \cdot 100 \%$$

Този начин на изразяване на динамичната чувствителност според нас е по-удобен от вече предложения (Ил и е в, 1974), тъй като дава представа на какъв процент от стойността на статично определен показател може да се разчита при динамично натоварване. За практически нужди, доколкото в редица конкретни задачи якостта на срязване се характеризира с ъгъл на вътрешно триене и сцепление, е препоръчително изразяването на динамичната чувствителност чрез техните стойности, определени при динамично и статично натоварване.

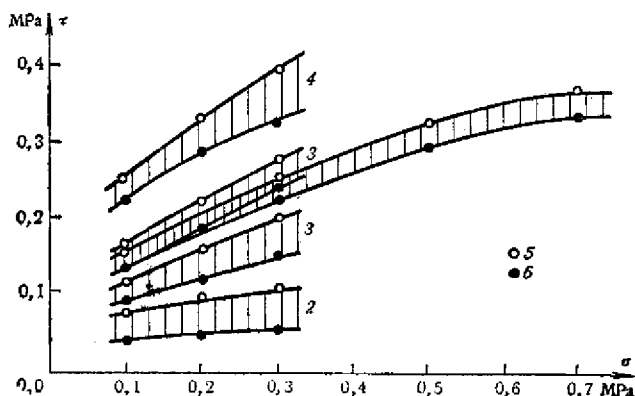
Таблица 1  
Table 1

Характеристика на инженерногеоложките разновидности  
Characteristics of the engineering geological varieties

Разновидност	1	2	3	4
Обект	Лом, кв. Буруна	Лом, кв. Буруна	София, кв. Слатина	Марияца-изток, р. Трояново-2
Название по БДС-676-75	прахова глина	прахова глина	прахова глина	прахова глина
Геоложки индекс	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Дълбочина на повърхността, m	45	80	7	50
Зърнометричен състав, %	2—0,1 mm	12,4	3,3	10,6
	0,1—0,005 mm	55,1	52,3	48,7
	<0,005 mm	32,5	44,4	40,7
Естествена обемна плътност $\rho_n$ , g/cm <sup>3</sup>	2,08	2,05	1,97	1,97
Специфична плътност $\rho_s$ , g/cm <sup>3</sup>	2,71	2,71	2,71	2,75
Обемна плътност на скелета $\rho_d$ , g/cm <sup>3</sup>	1,77	1,70	1,56	1,56
Коефициент на порите $e$	0,531	0,594	0,737	0,763
Естествено водно съдържание $W_n$ , %	17,40	22,10	26,35	26,00
Граница на протичане $W_L$ , %	35,05	41,40	55,92	53,10
Граница на източване $W_p$ , %	17,30	21,67	24,07	23,40
Показател на пластичност $I_p$ , %	17,75	19,73	31,85	29,70
Скорост на разпространение на надлъжни еластични вълни $V_p$ , m/s	870	920	1600	1450
Динамична чувствителност $r$ , %	$r_\tau = (\tau_{дин} / \tau_{ст}) \cdot 100$	88	83	72
	$r_\varphi = (\varphi_{дин} / \varphi_{ст}) \cdot 100$	88	77	68
	$r_c = (c_{дин} / c_{ст}) \cdot 100$	84	96	95

Досега са изследвани някои разновидности от софийски, ломски и източномарийски плиоценски басейн (табл. 1). Разновидност 1 включва кафявите прахови глинни от територията на Лом — кв. Буруна. Те имат голяма дебелина (до 40—50 m). Относителната еднородност на литоложкото тяло е свидетелство за сравнително спокоен тектонски режим. Плътностните

характеристики имат високи стойности — естествената обемна плътност  $\rho_n$  възлиза на 2,08—2,12 g/cm<sup>3</sup>, хумусното им съдържание достига до 0,2%, а скоростта на разпространение на надлъжни еластични вълни е сравнително малка (850—870 m/s). Зависимостта  $\tau=f(\sigma)$  (фиг. 1, крива 1) е определена



Фиг. 1. Зависимост  $\tau=f(\sigma)$

1 — разновидност 1 при  $W=19\%$ ; 2 — разновидност 2 при  $W=28\%$ ; 3 — разновидност 3 при  $W=25\%$ ; 3' — разновидност 3 при  $W=27\%$ ; 4 — разновидност 4 при  $W=26\%$ ; 5 — статично натоварване; 6 — динамично натоварване при максимално ускорение 1,78 m/s<sup>2</sup> и честота 9,51 Hz.

Fig. 1. Dependence  $\tau=f(\sigma)$

1 — variety 1 for  $W=19\%$ ; 2 — variety 2 for  $W=28\%$ ; 3 — variety 3 for  $W=25\%$ ; 3' — variety 3 for  $W=27\%$ ; 4 — variety 4 for  $W=26\%$ ; 5 — static loading; 6 — dynamic loading under maximal acceleration 1,78 m/s<sup>2</sup> and frequency 9,51 Hz

при водно съдържание  $W=19\%$ . Динамичната чувствителност, определена за якостта на срязване  $r_s$  е 88%, а за ъгъла на вътрешно триене  $r_\psi$  и кохезията  $r_c$  — съответно 88 и 84%.

Към разновидност 2 се отнасят зелените прахови глинни от ломския плиоценски басейн. Те залягат на сравнително голяма дълбочина — между 45 и 90 m, и дебелината им общо взето е постоянна и се характеризират с блестящи повърхнини. Естествената им обемна плътност е 2,04—2,05 g/cm<sup>3</sup>, а скоростта на разпространение на надлъжни еластични вълни е 900—950 m/s. Хумусното съдържание е до 0,5%. Като се отчете по-ниската обемна плътност и по-високата скорост на разпространение на надлъжните вълни в сравнение с горележащите отложения, могат, макар и доста условно, да се направят някои изводи относно генезиса и характера на структурните връзки. По всяка вероятност определен структуриращ фактор е възпрепятствувал нормалното гравитационно уплътняване. Такъв фактор би могло да бъде по-голямото количество органично вещество, още повече че процентното му съдържание корелира с обемната плътност на скелета и се увеличава с нарастване на дълбочината за сметка на карбонатите. Доказателство за това е и промяната в цвета на отложенията — в дълбочина светлоройните минерали намаляват. Изложеното дотук добре се свързва и с по-високото естествено водно съдържание и по-малката динамична чувствителност —  $r_s$  е 83%, а динамичните чувствителности, определени за ъгъла на вътрешно триене и сцеплението, са съответно 77 и 96%.

Означените като разновидност 3 софийски плиоценски глинни са светлосиви до светлосивозелени и се отнасят към горния хоризонт на плиоцена.

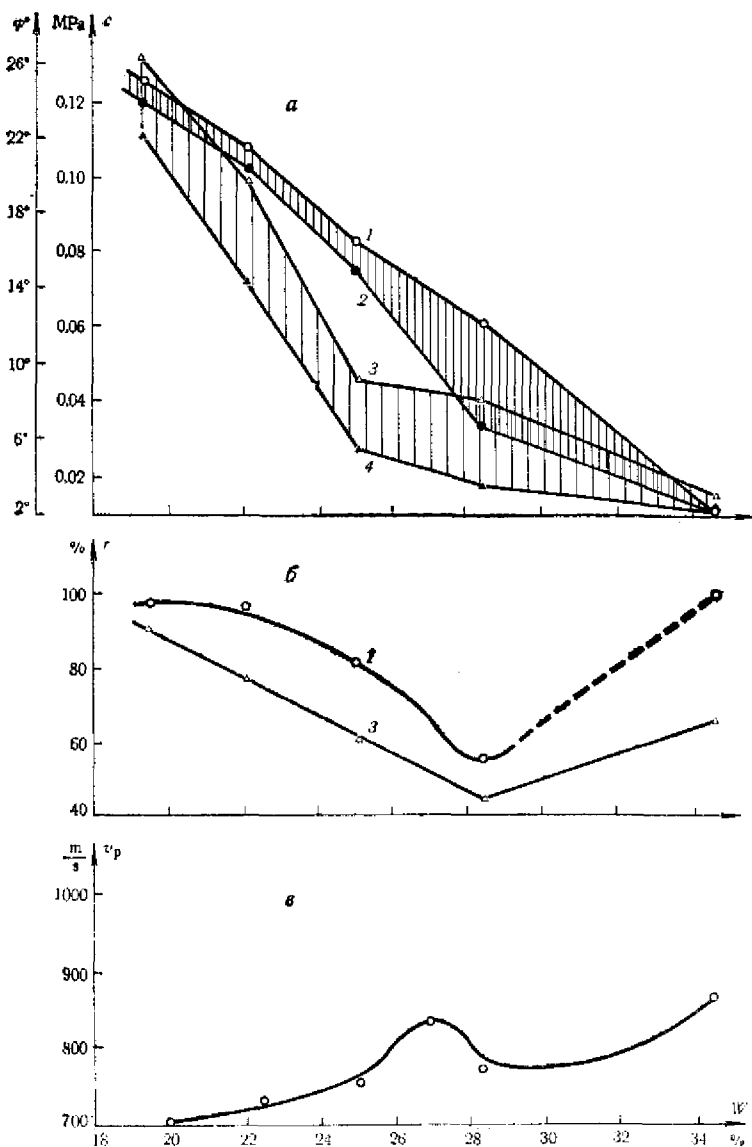
Динамичният тектонски режим е причина за голямата нееднородност на тези отложения. По показател на пластичност и зърнометричен състав се отнасят към праховите глини. В състава на глинестата фракция преобладават хидрослюдите, но се срещат и монтморилонитови минерали (Петров и Илчева, 1960). В състава на по-едрите фракции освен кварц се срещат и слюди — главно мусковит, както и скални късчета — андезит, пегматит и др. На места се срещат и карбонатни струпувания. Разновидност 3 се характеризира с високи скорости на разпространение на надлъжните вълни (1600 m/s) и естествена обемна плътност (1,97 g/cm<sup>3</sup>). Като се имат пред вид по-високите плътностни характеристики на горележащите отложения, следва, както и при разновидност 2, да се предположи действието на структуриращ фактор. Динамичната чувствителност за якостта на срязване, определена при нормално напрежение 0,3 МПа, е най-малка от динамичните чувствителности за другите разновидности — 72%. Това следва да се обясни с наличието на неустойчиви фазови контакти, част от които се разрушават при динамично натоварване. Опити за определяне на якостта на срязване са правени при водно съдържание  $W$  25 и 27% (фиг. 1, криви 3' и 3). Динамичната чувствителност за ъгъла на вътрешно триене, определена при естествено водно съдържание, е 68%, а за кохезията — 95%.

Разновидност 4 обхваща мазните синьозелени прахови глини от надвъглищния комплекс на източномаришкия плиоценски басейн. Това са висококолонидни глинести седименти, изградени предимно от смесенослойни монтморилонит-хидрослюдени минерали и монтморилонит (Демирев и др., 1980). Хумусното им съдържание е до 2—3%. Скоростите на разпространение на надлъжни вълни са високи (1450—1500 m/s). Динамичната чувствителност за  $r_c$  е 83%, а за  $\varphi$  и  $c$  — 81 и 86%. Зависимостта  $\tau=f(\sigma)$  е изведена за водно съдържание  $W=26\%$  (фиг. 1, крива 4).

За построяване на диаграмите на срязване са изпитани представителни образци от описаните разновидности. Надеждността на резултатите наред с контролиране на водното съдържание и скоростта на надлъжните вълни на всяко пробно тяло е осигурена и чрез предварителното определяне на специфичното съпротивление на пенетрация  $R_p$  (СНиП II-15-74) с помощта на лабораторен пенетрометър. По този начин е спазено изискването за максимална инвариантност на условията за провеждане на опита и в рамките на възможното е отстранено влиянието на случайни фактори.

От получените за изследваните глини зависимости между нормалните и тангенциалните напрежения при статичен и динамичен режим на натоварване се установява в едни случаи намаляване на кохезията, в други на ъгъла на вътрешно триене, а в трети — и на двата показателя. Така при ломските прахови глини — разновидност 1 (фиг. 1), ъгълът на вътрешно триене не се променя забележимо и по-малката стойност на якостта на срязване при динамично натоварване се обуславя от намаляване на сцеплението. Софийските светлосивозелени глини — разновидност 3 — при водно съдържание 25% реагират на динамичното натоварване чрез намаляване на ъгъла на вътрешно триене при запазване стойността на сцеплението, а при  $W=27\%$  се намаляват стойностите и на двата показателя. За разновидности 3 и 4 намаляването на якостта на срязване се определя както от ъгъла на вътрешно триене, така и от кохезията. Оттук следва и изводът, че абсолютизирането на всеки един от параметрите на якостта на срязване като определящ фактор за нейното намаляване при динамично натоварване е лишено от основание.

За изясняване на механизма на ефектите, наблюдавани при динамично срязване на свързани строителни почви, са проведени серия опити върху

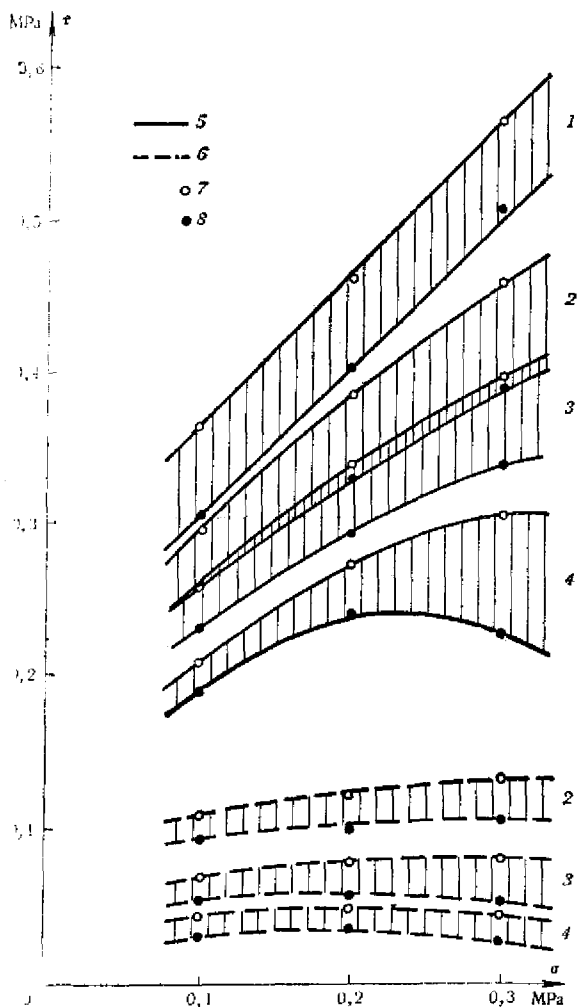


Фиг. 2

*a* — изменение на ъгъла на вътрешно триене  $\varphi$  и сцеплението *c*; *b* — динамични чувствителности; *c* — скорост на разпространение на надлъжни еластични вълни в зависимост от изменението на водното съдържание; 1 — сцепление при статично натоварване; 2 — сцепление при динамично натоварване; 3 — ъгъл на вътрешно триене при статично натоварване; 4 — ъгъл на вътрешно триене при динамично натоварване

Fig. 2

*a* — change of the angle of internal friction  $\varphi$  and cohesion *c*; *b* — seismic sensibility; *c* — longitudinal elastic waves velocity, depending on the water-contents; 1 — cohesion under static loading; 2 — cohesion under dynamic loading; 3 — angle of internal friction under static loading; 4 — angle of internal friction under dynamic loading



Фиг. 3. Зависимост  $\tau=f(\sigma)$  за разновидност 4 при различно водно съдържание  $W$

1 — при  $W=17\%$ ; 2 — при  $W=23\%$ ; 3 — при  $W=26\%$ ; 4 — при  $W=31\%$ ; 5 — ненарушена структура; 6 — нарушена структура; 7 — статично натоварване; 8 — динамично натоварване

Fig. 3. Dependence  $\tau=f(\sigma)$  for a variety 4 for a different water-contents  $W$

1 — for  $W=17\%$ ; 2 — for  $W=23\%$ ; 3 — for  $W=26\%$ ; 4 — for  $W=31\%$ ; 5 — non disturbed structure; 6 — disturbed structure; 7 — static loading; 8 — dynamic loading

един и същи материал (зелените прахови глини от Лом, разновидност 2) при различно водно съдържание. Срязването е извършено при относително ненарушена структура на пробните тела. Различните стойности на водното съдържание са постигнати чрез набъбване под различен нормален товар в уплътнителен апарат тип „Маслов“. Зависимостите  $r_{\text{н}}=f(W)$  и  $r_{\text{с}}=f(W)$  (фиг. 2, а) позволяват за всяка стойност на водното съдържание да се определят динамичните чувствителности на ъгъла на вътрешно триене  $r_{\varphi}$  и на кохезията  $r_c$  (фиг. 2, б).

Изследванията показваха, че за конкретната разновидност повече се променя ъгълът на вътрешно триене и по-малко сцеплението. И за двата показателя е характерна една и съща критична влажност  $W_{кр}=28,40\%$ , при която техните динамични чувствителности се характеризират с най-малки стойности, т. е. влошаването на якостните свойства е най-силно изразено. Следва да се подчертае и факта, че динамичната чувствителност, определена за ъгъла на вътрешно триене, се изменя в зависимост от водното съдържание приблизително по линеен закон, докато за сцеплението функцията се апроксимира с полином от по-висок порядък. Освен това за стойности на водното съдържание, близки до критичната, се наблюдава екстремум и на кривата  $V_p=f(W)$  (фиг. 2, в).

За определяне ролята на фазовите контакти за динамичното поведение на глините е определена якостта на срязване при нарушена и ненарушена структура за различни стойности на водното съдържание (фиг. 3). Динамичното натоварване при ненарушена структура и твърда консистенция ( $W=17\%$ ) предизвиква намаляване на якостта на срязване, което се изразява в намаляване на сцеплението за сметка на нарушаване на част от по-неустойчивите фазови контакти (фиг. 3, криви 1). С увеличаване на водното съдържание и съответно на дебелината на дифузните слоеве около колоидните частички и количеството на водата в поровото пространство се намалява и ъгълът на вътрешно триене в резултат и от мобилизиране под действието на динамичното натоварване порен натиск. Това е особено ясно изразено при среднопластична консистенция ( $W=31\%$ ) за нормално напрежение  $0,3 \text{ МПа}$  (фиг. 3, криви 4). Динамичните чувствителности за якостта на срязване ( $\sigma_n=0,3 \text{ МПа}$ ) намаляват с увеличаване на водното съдържание (табл. 2) както при нарушена, така и при ненарушена структура. За

Таблица 2  
Table 2

Водно съдържание	$W_n, \%$	17	23	26	31
Динамична чувствителност за якост на срязване при нормално напрежение $0,3 \text{ МПа}$ , %	нарушена структура	—	78	61	52
	ненарушена структура	91	85	83	75

една и съща влажност те са по-малки за нарушените образци. Това е лесно обяснимо, като се има пред вид, че при динамично натоварване се разрушават само част от по-неустойчивите фазови контакти, докато при предварително нарушена структура те въобще липсват. Значителното намаляване на якостта на срязване на нарушени пробни тела (до  $50\%$ ) при динамични въздействия със сравнително слаба интензивност поставя редица проблеми, свързани с антисейзмитното осигуряване на насипните съоръжения.

Интерпретацията на опитните резултати се затруднява поради известното несъответствие между реалното напрегнато състояние на строителна почва в процеса на срязването и математичния модел, който го описва посредством геометричните показатели — ъгъл на вътрешно триене и кохезия. Все пак, като се има пред вид строежът и преобладаващият тип структурни връзки (Сергеев, 1978), може да се допусне, че механизмът на намаляване на якостта на срязване се свежда до следното: част от предадената под



форма на динамично натоварване енергия се преобразува в осцилация на колоидните частички около равновесното им положение. Вследствие на различните маси, еластичните и плътностните характеристики на твърдите частици, водата от дифузния слой и водата от поровото пространство се получават локални концентрации на напрежение, чието разпределение в обема на строителната почва има статистически характер и довежда до нарастване на порния натиск. Тук логично възниква въпросът, доколко напрегнатото състояние в касетата на срязващия апарат отговаря на напрегнатото състояние в реалния почвен масив. Следва да се подчертае, че сам по себе си този проблем не се решава еднозначно от различните автори. Затова в настоящата работа се обръща внимание само на един негов аспект — дали срязването при комбинирано статично и динамично нормално и срязващо напрежение, каквото на практика се получава в описаната конструкция едноплоскостен апарат, е еднопосочно с явленията и процесите, възникващи в земната основа под действието на интензивни сеизмични (динамични) въздействия. В литературата се засягат две основни становища (К р а с н и к о в, 1981). Първото, че масивът се премества като самостоятелно тяло и второто, че се преместват елементарни обеми. От инженерногеоложка гледна точка по-приемливо е второто становище, доколкото строителните почви се разглеждат като сложна многофазна система. Разбира се, подобно разглеждане е коректно, когато се отнася за почви с висока степен на водонасичане. При неводонаситените, както вече беше обърнато внимание, намаляването на якостта на срязване се свежда до нарушаване на крехките контакти. Приемането на хипотезата за преместване на елементарни обеми под действие на динамичното натоварване позволява до известна степен да се абстрахираме от размерите на изследвания образец, които в конкретния случай са несъизмеримо по-големи от споменатите елементарни обеми. Изложеното дава основание да се смята, че няма принципна разлика между напрегнатото състояние на пробата в касетата и напрегнатото състояние, с което се характеризира на практика почвеният масив при динамични натоварвания. Разбира се, изложеното е вярно за първите няколко десетки цикъла на натоварване и за малки стойности на срязващото напрежение. Доколкото прилагането на настоящата методика има за цел сравняване на якостите на срязване при статично и динамично натоварване при съблюдаване на еднакви други условия, тя е достатъчно коректна.

Възприетото становище, че намаляването на якостта на срязване при динамично натоварване е във връзка с увеличаването на порния натиск, до голяма степен обяснява и характера на зависимостите  $r_{\varphi}$ ,  $r_c = f(W)$  (фиг. 2, б). С увеличаване на водното съдържание нарастват дебелината на дифузния слой и съответно разстоянията между частиците. При същото количество получена енергия осцилациите ще се характеризират с по-големи амплитуди и ще възникнат по-големи инерционни сили. В резултат на това ще нарастнат броят и големината на местните концентрации на напрежение, а оттам и порния натиск. Триенето между частиците е пропорционално на нормалната сила или в конкретния случай на ефективното напрежение, за което има основание да се предполага, че се изменя по линеен закон във функция от водното съдържание, тъй като неговата стойност се определя от нарастването на инерционните сили вследствие на увеличените амплитуди на частиците. Известно е, че ускорението е пропорционално на първата степен на амплитудата при константна честота на трептене. Това изяснява линейният характер на зависимостта  $r_{\varphi} = f(W)$ .

От друга страна, енергетичният уровень на водно-колоидните връзки е степенна функция на разстоянието между частиците. Доколкото сцепле-

нието може да се отъждестви със структурните връзки, динамичната чувствителност, определена за кохезията, ще се изменя нелинейно по отношение на водното съдържание — последица от по-големите амплитуди на трептене.

След достигане на определена критична стойност на водното съдържание разстоянията между частиците стават достатъчно големи и нарастването на порния натиск вследствие на инерционните сили се оказва незначително в сравнение с мобилизирания порен натиск в процеса на самото срязване. Поради това и разликата между стойностите на ъгъла на вътрешно триене, определени при статични и динамични условия на натоварване, намалява.

Големите разстояния между частиците отслабват в значителна степен енергията на водно-колоидните връзки, при което допълнителното раздалчаване, причинено от осцилациите, не оказва съществено влияние. За достатъчно големи стойности на водното съдържание разликата между  $s_{\text{дн}}$  и  $s_{\text{ст}}$  клони към нула (фиг. 2, а).

По всяка вероятност стойността на критичната влажност  $W_{\text{кр}}$  се обуславя от протичането на сложни физико-химични процеси. Състоянието и свойствата на една многофазна система, каквато според съвременните представи е реалната строителна почва, във всеки момент от нейното съществуване се определят от динамичното равновесие между отделните фази. Увеличаването на водното съдържание довежда до установяване на ново равновесие, в резултат на което свойствата на строителната почва се променят. Енергията на водно-колоидните връзки се определя от полярността на водната молекула. При наличие на тънък дифузен слой около колоидната частица вследствие на високите термодинамичен потенциал плътността на водата е относително постоянна. При по-голямо водно съдържание обединяването на отделни водни молекули както от външната част на дифузния слой, така и от поровото пространство се обуславя от водородната връзка. Този тип връзка е изключително непостоянна и благодарение на нея в отделни микрообеми вода възникват определени асоциати, които бързо се нарушават от топлинното движение. По такъв начин пространственото подреждане има статистически характер и довежда до значителни флукуации на плътността. Допуска се (К л а с с е н, 1969), че във водата съществуват едновременно най-малко две различни структури с различно взаимодействие между молекулите в тях. Едната се характеризира със скелетно подреждане на водните молекули, а другата — с плътна опаковка. Установено е (К л а с с е н, 1968), че при слаби вибрационни, ултразвукови и други въздействия стават резки промени в структурата на водата — скелетната структура може да премине в плътна и обратно. Обяснението на това явление се затруднява и от обстоятелството, че във водата винаги има достатъчно количество йони и структурата ѝ до голяма степен се определя от взаимодействието на нейните молекули с тях, още повече, че енергията на това взаимодействие много пъти превъзхожда енергията на връзката между водните молекули. Увеличаването на водното съдържание на строителната почва естествено довежда и до промяна на концентрацията на свободните йони. Това наред с други специфични условия под действие на динамичното натоварване може да доведе при определена стойност на водното съдържание до скокообразно преминаване на плътна опакованата структура на водата в скелетна. Известно основание за такова тълкуване дава характерът на зависимостта  $V_p = f(W)$  (фиг. 2, в). В изследвания интервал скоростта на надлъжните еластични вълни се увеличава с нарастване на водното съдържание и рязко намалява след достигане на критичната влажност. Първоначалното нарастване може да

се обоснове с преобладаването на плътната структура при по-тънък дифузен слой и висока концентрация на свободните йони. Тъй като определянето на скоростта на надлъжната еластична вълна на практика става чрез ултразвук, под действие на ултразвук е възможно скокообразно преминаване от една към друга структура. Влиянието на структурата на водата върху якостните свойства на строителните почви най-вероятно се изразява в увеличаване на разстоянията между колоидните частички и следователно в отслабване на водно-колоидните връзки.

Изложеното дотук има за цел да се навлезе в същността на процесите и явленията, които довеждат до промяна в якостните свойства на свързаните строителни почви при динамичен режим на натоварване, както и да насочи вниманието върху сложността и многообразието на тези процеси и явления.

В заключение могат да се направят следните изводи.

— Якостта на срязване на изследваните образци прахови глинни при водно съдържание близо до естественото, определена при динамичен режим на натоварване, е по-ниска от статично определената с 10 до 30%.

— Намалването на съпротивлението на срязване се обуславя както от намаляване на ъгъла на вътрешно триене, така и от намаляване на кохезията. За изследваните разновидности се отчита намаляване на стойностите на ъгъла на вътрешно триене с 12—40%, а на кохезията с 5—15%.

— Съществуват критични стойности на водното съдържание, при които относителното намаляване на якостта на срязване е най-силно изразено. За ломските прахови глинни критичната стойност възлиза на 28,40%, а намаляването на ъгъла на вътрешно триене и на кохезията при тази влажност е съответно с 56 и 45%.

— Относителното намаляване на якостта на срязване е по-голямо при изпитване на образци с нарушена структура в сравнение с тези с ненарушена при еднакви други условия. За източномаришките плиоценски глинни якостта на срязване намалява със 17% при ненарушена структура и с 40% при нарушена.

## Л и т е р а т у р а

- Б а л у ш е в, Б. 1947. *Земна механика (механика на почвите)*. С., 447 с.
- Д е м и р е в, А. н. и др. 1980. Минерален състав на плиоценските глинни от източномаришкия плиоценски басейн. — *Инж. геол. и хидрогеол.*, 10, 3—11.
- Е р м о л а е в, Н., Н. С е н и н. 1968. Сопротивление грунтов сдвигу при колебаниях. — *Осн. ф-ти и мех. грунтов*, 1, 17—24.
- Ж и н к и н, Г., Н. П р о к у д и н. 1975. Результаты лабораторных исследований прочностных характеристик глинистых грунтов при динамических нагрузках. — *Сб. тр. ЛИИЖТ-а*, вып. 387, 3—40.
- И в а н о в, И. в. 1964. Върху методиката за определяне якостта на глините при срязване с оглед устойчивостта им в откритите минни изработки. — *Тр. върху геол. на Бълг.*, 3.
- И л и е в, И. л. 1974. Влияние на геоложкия строеж на склоновете върху тяхната сеизмоустойчивост. — *Изв. Геол. инст., сер. Инж. геол. и хидрогеол.*, 13, 149—159.
- К л а с с е н, В., 1968. К вопросу изменчивости свойств воды при ее перемещении. — В: *Новые методы повышения эффективности обогащения полезных ископаемых*. М., Наука.
- К л а с с е н, В. 1969. К вопросу о структурных особенностях воды. — *Обогащение угля и химическая переработка*, XXV, вып. 2.
- К р а с н и к о в, Н. 1970. *Динамические свойства грунтов и методы их определения*. Л., Стройиздат, 239 с.

- Красников, Н. 1981. *Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов*. М., Энергоиздат, 198 с.
- Окамото, Ш. 1980. *Сейсмостойкость инженерных сооружений*. М., Стройиздат, 342 с.
- Петров, П., Л. Илиева. 1960. Физикомеханични свойства на кватернерните и плиоценовски отложения в територията на София. — *Изв. Геол. инст., сер. Инж. геол. и гидрогеол.*, 2.
- Сергеев, Е.в. 1978. *Инженерная геология*, М., Изд-во Моск. ун-та, 384 с.
- СНиП II — 15—74. 1975. *Нормы проектирования*. М., Стройиздат.
- Могамі, Т., К. Кубо. 1953. The behavior of soil during vibration. — In: *Proc. of III-SMFE*.
- Seed, H. 1960. Soil strength during Earthquakes. — In: *Proc. of II-WCEE*.

Одобрена на 18. V. 1981 г.

Accepted May 18, 1981

## Shear Strength of Pliocene Silty Clays at Static and Dynamic Loading

*Boris Konstantinov*

(Summary)

The shear strength of silty clays is determined in a direct shearing apparatus type "Maslov" with a vibratory table added. The experiments are performed with a vibratory acceleration values of  $1.78 \text{ m/s}^2$  and frequency of 9.51 Hz. In all specimens is measured too the velocity of the longitudinal elastic waves distribution. The shearing is performed at natural values of density and water content of the samples. The object of investigation have been silty clays from Sofia, Lom, and East Maritsa pliocene basins. During the processing of the experimental data the index dynamic (seismic) sensitivity,  $r$ , is utilized. The dynamic sensitivity is defined as a relation between the dynamic and static shear resistances, in per cent:  $r = (\tau_{\text{dyn}}/\tau_{\text{st}})100$ .

The results obtained show that for the clays studied the shear strength in dynamic conditions is 10 to 30 per cent lower than the determined value in static conditions. Experiments have been made for shear strength determinations at different water content values of the same material — silty clays from Lom's pliocene basin. A critical water content value of the relative shear strength decreasing is established. At the same water content an increasing of the longitudinal distribution velocity of the elastic ways is observed. The dynamic sensitivity expressed for the angle of internal friction is following a linear changing dependence on the water content, and expressed for the cohesion — a non-linear one. The effects of the shear strength decreasing are more expressed for samples having an undisturbed structure.