

CERCETAREA FACTORILOR DE BAZĂ CARE DETERMINĂ REZISTENȚA PĂMÂNTURILOR ARGILO-NISIPOASE

V. Polcanov, dr.ing., conf.univ., N. Funieru
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

În Moldova construcții se efectuează în condiții geologico-tehnice foarte dificile care, în special, sunt condiționate de răspândire largă a pământurilor argilo-nisipoase cu grosimea mare a straturilor. Distrugerea echilibrului natural al mediului geologic însoțită de inundarea terenurilor de fundare și aplicarea sarcinilor adăugătoare, care apar în limitele șantierelor, formează calități și proprietăți noi a pământurilor. Ca urmare, se schimbă și capacitatea portantă a terenurilor de fundare. De aceea, pentru proiectanți este foarte important de a determina corect valorile caracteristicilor fizico-mecanice ale pământurilor, care sunt implicate în domeniul acțiunii ingineresti.

În articolul sunt prezentate rezultatele cercetărilor proprietăților fizico-mecanice ale pământurilor argilo-nisipoase din diferite regiuni a Republicii Moldova.

1. ARGUMENTAREA CERCETĂRILOR EFECTUATE

Materialele existente faptice arată, că în Republica Moldova cercetările rezistenței, între care, și luarea în considerare proprietăților reologice ale pământurilor, care alcătuiesc majoritatea taluzurilor și versanților, se referă la două tipuri de pământ argilos: 1 – argile pestrițe ghemuite, boțite, care aproape complet au schimbat structura sa inițială, cu fisurația verticală, cu oglinzi de alunecare înclinate, des situate; 2 – argile suriu-verzi, sure, albastre întunecate cu încluziuni de nisip pe suprafața de stratificație care au păstrat structura și textura sa inițială. Aceste pământuri alcătuiesc majoritatea taluzurilor și versanților din Republica Moldova. Întrebările legate de studiul rezistenței pământurilor argilo-nisipoase nu sunt expuse destul de bine.

Ca urmare, în literatură informativă și tabele regionale lipsesc valorile caracteristicilor reologice: coeziunii structurale, pragului de fluid, ș.a. Este locul de remarcat, că anume aceste parametre determină posibilitatea de manifestare a deformației de fluid la

pământuri și reducerea rezistenței în timp, ceea ce permite prognoza rezistenței îndelungate și determinarea exactă a capacității portante a terenurilor de fundare.

2. REZULTATELE CERCETĂRILOR

Partea principală a încercărilor de studiu a fost efectuată la catedra de Geodezie, cadastru și geotehnică a Universității Tehnice a Moldovei. Rezultatele încercărilor efectuate au fost completate cu datele surselor din arhiva institutului „Moldghiproautor”.
Preventiv au fost cercetate proprietățile fizice ale pământurilor argilo-nisipoase studiate. Pe baza diagramelor de risipire a indicilor fizici n-a fost stabilită schimbarea proprietăților fizice în funcție de adâncimea. A fost evidențiată mărirea neînsemnată a densității, micșorarea umidității și consistenței a probelor de pământ din regiunile de sud a Republicii Moldova. S-a manifestat încă o dispersiune destul de mare a determinărilor valorilor caracteristicilor fizice ale pământurilor studiate (tabelul 1).

Tabelul 1. Valorile indicilor fizici ale pământurilor argilo-nisipoase

Regiunea Moldovei	Densitatea scheletului ρ_s , g/cm^3	Densitatea ρ , g/cm^3	Umiditatea w , %	Indicele de plasticitate, I_p , %	Indicele de lichiditate I_L , <i>unit. relativa</i>
Nord	2,69	$\frac{1,95}{1,65 - 2,15}$	$\frac{25}{15 - 45}$	$\frac{14}{7 - 17}$	$\frac{0,6}{-0,6 - 0,7}$
Centru	2,72	$\frac{1,95}{1,6 - 2,2}$	$\frac{25}{15 - 25}$	$\frac{15}{10 - 17}$	$\frac{0}{-0,6 - 0,6}$
Sud	2,70	$\frac{2,00}{1,7 - 2,2}$	$\frac{15}{15 - 25}$	$\frac{11}{15 - 17}$	$\frac{-0,1}{-0,6 - 0,3}$

Proprietățile de rezistență au fost studiate cu ajutorul aparatului de forfecare directă. Au fost construite diagramele de risipire care au evidențiat dispersiunea mare a rezultatelor încercărilor, ce poate fi explicată, în primul rând, cu diapazonul larg al consistenței eșantioanelor încercate (tabelul 2).

Tabelul 2. Valorile indicilor de rezistență a pământurilor argilo-nisipoase

Regiunea Moldovei	Diapazonul schimbării a rezistenței la forfecare τ_f , kPa pentru presiunea $\sigma_n=200$ kPa	Unghiul de frecare interioară, φ , grade	Coeziunea totală C_w , kPa	Coeziunea structurală C_c , kPa	Coeziunea primară Σ_w , kPa
Nord	39-222	11	60	40	20
Centru	70-385	14	120	60	60
Sud	45-294	17	120	70	50

Pentru a studia caracterul rezistenței a pământurilor cercetate au fost prelucrate rezultatele ale mai multor de 800 de încercări la forfecare a probelor de pământ cu suprafață naturală de forfecare și suprafață pregătită de forfecare.

Ecuatiile, care caracterizează rezistența pământurilor argilo-nisipoase, se exprimă prin următoarele relații: $S_1=0,19\sigma+60$ kPa – regiunea de nord, $S_2=0,25\sigma+120$ kPa – regiunea centrală, $S_3=0,30\sigma+120$ kPa – regiunea de sud.

Băzindu-se pe conceptul lui prof. N.N.Maslov [1,2] și rezultatele încercărilor pe probe de pământ cu suprafața pregătită de forfecare, coeziunea totală (C_w) a fost împărțită în două componente: coeziune structurală (C_c) și coeziune primară (Σ_w) (tabelul 2). Aceasta ne-a dat posibilitatea de a alcătui ecuațiile care caracterizează rezistența pământurilor cercetate cu coeziunea structurală complet distrusă: $S_{res1}=0,19\sigma+20$ kPa; $S_{res2}=0,25\sigma+60$ kPa; $S_{res3}=0,30\sigma+50$ kPa.

Pentru un studiu mai detaliat a reducerii posibile a rezistenței în funcție de consistență a fost efectuată pregătirea specială a selecțiunii și prelucrarea ulterioară ei folosind metoda „densitate-umiditate”.

A fost stabilit, că influența consistenței se manifestă, în mare măsură, în intervalul care depășește consistența plastic vârtoasă. La

consistența tare aceasta influență practic nu se manifestă. De aceasta cauză nu a fost obținută dependența rezistenței în funcție de consistență pentru pământurile din regiunea de sud ($I_L = -0,1$).

Analiza detaliată a indicilor fizici ale probelor de pământ din regiunile centrale și de nord a dat posibilitatea de a prelucra datele din selecțiunea totală. În fine, au fost obținute dependențe matematice ale parametrilor de rezistență în funcție de consistență (fig. 1), care pot fi folosite la rezolvarea problemelor ingineresti pentru constatare preventivă.

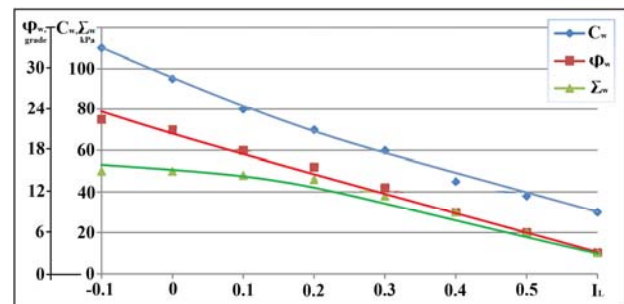


Figura 1. Diagramele dependențelor parametrilor de rezistență în funcție de consistența ale pământurilor argilo-nisipoase cu plasticitate latentă.

În conformitate cu teoria fizico-tehnică de fluaj a terenului caracteristica reologică de bază este pragul de fluaj τ_{lim} , care poate fi determinat analitic prin formula: $\tau_{lim}=\sigma_n tg\varphi_w+C_c$. Trebuie de remarcat, că în majoritatea cazurilor condițiile locale nu ne dă posibilitatea de a folosi direct expresia teoretică a pragului de fluaj pentru pământuri cu structura naturală. Referitor la cazul considerat acesta este legat cu încluziuni de mare măsură a carbonaților și cu particularitățile coeziunii structurale care încă nu sunt studiate complet. Legăturile rigide ale coeziunii structurale pot avea caracterul ionic; pot fi determinate prin legături de cimentare și de cristalizare etc. În toate cazurile ele au un caracter ireversibil. Totuși, cum demonstrează cercetările acad. V.D.Cazarnovschi, coeziunea primară a pământurilor argiloase de consistență dură și semidură la fel poate să condiționeze caracterul ireversibil rigid al deformației de forfecare. Așadar, este posibil, că coeziunea primară poate determina, într-o măsură anumită, valoarea pragului de fluaj. Și până acum întrebarea aceasta rămâne nerezolvată. Cu alte cuvinte, nu trebuie de crezut pe deplin schemelor teoretice. Aceasta înseamnă, că valoarea de calcul a pragului de fluaj trebuie să fie determinată experimental. Trebuie de remarcat, că rezultatele determinării experimentale a pragului de fluaj a pământurilor argilo-nisipoase din Moldova practic

lipsesc. Numai niște probe unice au fost cercetate în laboratoarele din Moldova, Dnepropetrovsc, Odesa. Cu toate acestea, din cauza lipșirii programului unic complex, au fost rezolvate niște probleme separate speciale. Nici nu există unitatea părerilor despre metoda încercărilor. În limitele cercetărilor prezentate valoarea coeziunii structurale (C_c) a fost stabilită pe baza rezultatelor încercărilor cu probe de pământ cu suprafața pregătită de forfecare. Pe baza dependențelor matematice obținute referitor la consistența de calcul pentru regiunile evidențiate expresiile pentru pragul de fluaj sunt: $\tau_{lim1}=0,19\sigma+20$ kPa; $\tau_{lim2}=0,31\sigma+40$ kPa; $\tau_{lim3}=0,34\sigma+60$ kPa.

La efectuarea cercetărilor prezentate pământurile argilo-nisipoase brun-roșietice au fost incluse într-o grupă specială (elementul geologotehnic EGT). Studiul lor a fost efectuat în timpul reconstruirii autodrumului Balcani-Chișinău cu scopul argumentării științifice a valorilor de calcul ale caracteristicilor de rezistență necesare pentru asigurarea stabilității îndelungate a taluzurilor. În laborator au fost cercetate probe de pământ prelevate dintr-un debleu de pe o zonă de drum.

În stare naturală probele de pământ cercetate se caracterizează prin umiditatea naturală cam mică, care se majorează cu mărirea adâncimii de la 12% până la 24%. Umiditatea mai mare de 20% a fost evidențiată la adâncimea mai mare de 8 m. De la adâncimea 8 m și mai jos se manifestă mărirea densității: $\rho=1,85-1,92$ g/cm³ – până la 8 m; $\rho=1,92-1,97$ g/cm³ – mai jos de 8m; și gradului de umiditate până la 0,84. Valorile indicelui porilor se schimbă fără oarecare caracter matematic și variază în limitele 0,60–0,73. Cu mărirea adâncimii se manifestă mărirea valorilor limitei superioare de plasticitate de la 35% până la 50%; indicelui de plasticitate (de la 15% până la 30%) și indicelui de lichiditate de la (-0,45) până la (+0,08). Pământurile stratului cercetat până la 18 m se află în stare tare.

În conformitate cu datele cercetărilor rețelei geodezice și încercărilor de laborator ale eșantioanelor din stratul argilos – argilo-nisipos ipotetic au fost evidențiate patru varietăți de pământ care corespund nivelelor de adâncime: 1m–3m, 3m–7m, 7m–15m, mai adânc de 15m.

Toate pământurile cercetate sunt mai puțin sau mai mult carbonizate. Cu toate că valorile indicelui de plasticitate sunt puțin mărite, stratul cercetat până la adâncimea 15 m poate să aparțină la pământuri argilo-nisipoase grele. Nu este exclus, că valoarea ridicată a indicelui de plasticitate I_p până la 22% se explică cu existența montmorilonitului în minerale argiloase.

Stratul de sus al pământurilor argilo-nisipoase până la adâncimea 3 m are culoare mai deschisă, este mult carbonizat și se caracterizează cu umiditatea mai redusă. Porțiunea de jos a stratului studiat (mai adânc de 15 m) este prezentată de către argile brun-roșietice. Proprietățile de rezistență ale diversităților de pământ evidențiate au fost cercetate în aparatul de forfecare directă folosind metoda forfecării rapide pentru trei valori ale presiunilor verticale: 100, 200, 300 kPa. În afară încercărilor cu probe de pământ cu structura naturală au fost efectuate și încercările cu probe de pământ cu suprafața pregătită de forfecare și cu suprafața umezită pregătită de forfecare. În total au fost efectuate 71 de încercări la forfecare.

Particularitățile textur-structurale ale pământurilor se determină mult caracterul de deformare în procesul de forfecare ceea ce, într-un șir de cazuri, complică alegerea valorii sarcinii inițiale critice necesare pentru construirea diagramelor de forfecare și stabilirea valorilor indicilor de calcul la rezistență, luând în considerație factorul de timp. De aceasta cauză, alegerea limitelor de rezistență a fost efectuată folosind diagramele construite pe baza valorilor tensiunilor inițiale critice care au fost determinate din graficele funcțiilor $\tau=f(\lambda)$. Aceasta a dat posibilitatea de a obține valorile caracteristicilor de rezistență (ϕ, C) care diferă de valorile obținute folosind sarcini admisibile limite.

Rezultatele încercărilor la forfecare demonstrează că, chiar în limitele unei presiuni de compresibilitate, deformația critică se află în limitele 1,5 – 5,8mm. Existența microzonelor de slăbire și, în special, oglinzilor de alunecare, în mare măsură predetermină valoarea deformației critice de forfecare. Așa, pentru probele de pământ prelevate din adâncimea 12m cu oglinzile de alunecare evidențiate valoarea deformației critice este 1,5mm (la presiunea $\sigma=100$ kPa). Este interesant, că în intervalul presiunilor 100–300 kPa deformația critică practic nu depinde de presiunea de îndesare. Pentru probe de pământ cu suprafața pregătită de forfecare valorile deformației critice se schimbă de la 0,6mm până la 1,7mm. În medie, la $\sigma=100$ kPa, aceste valori corespund deformației critice a probelor de pământ cu oglinzi de alunecare evidențiate.

Probele de pământ prelevate dintr-o adâncime de 2–3m cu umiditatea 11–13% și indicele de lichiditate (-0,50) au rezistența mai ridicată ($S=0,23\sigma+130$, kPa), care, bineînțeles, poate se reduce în procesul de exploatare a debleului, mai ales la schimbarea regimului de umezire în zonă de aerajie.

La cercetarea monolitului prelevat dintr-o adâncime de 6m, cu toate că zonele vizibile de slăbire lipsesc, au fost fixate eforturi minime de forfecare. Ecuația obținută a diagramei de forfecare are forma $S=0,23\sigma+50$, kPa. Ecuația această practic coincide cu ecuația obținută pentru suprafața pregătită de forfecare: $S=0,25\sigma+50$, kPa. Acest fenomen poate fi explicat prin pierderea coeziunii structurale datorită existenței microzonelor de slăbire într-o zonă frământată, care posibil se formează în taluzul debleului existent.

Ecuațiile de rezistență aproximative pentru probe de pământ din intervalul adâncimilor 7–15m au forma: $S=0,29\sigma+100$, kPa. Ecuațiile anologice au fost obținute folosind diagramele de forfecare a probelor de pământ cu suprafețe pregătite de forfecare și cu suprafețe umezite pregătite de forfecare (tabelul 3).

Trebuie remarcat, că existența zonelor de slăbire practic nu influențează asupra valorilor eforturilor de distrugere în încercări la forfecare pentru probe de pământ prelevate din adâncimea 12–15m. Este evident, că aceasta poate fi explicată prin carbonizarea mărită a probelor de pământ. Totuși, la alegerea schemei de calcul pentru determinarea stabilității îndelungate a taluzurilor trebuie luată în considerație existența zonelor posibile de slăbire în adâncimile remarcate.

Înainte de încercări la forfecare o porțiune de probe de pământ a fost umezită în cutii cu nisip umed în timp de la 3 până la 33 de zile pentru a stabili gradul de influență a umezirii adăugătoare posibile asupra rezistenței pământurilor studiate, ca și a constata caracterul dependenței rezistenței lor în funcție de consistență. Aceasta a dat posibilitatea de a lărgi diapazonul consistenței de la starea tare până la starea plastică. Totodată umiditatea probelor de pământ cercetate după umezire adăugătoare era 21–28%.

Folosind rezultatele ale 81 de încercări la forfecare a probelor de pământ care după saturarea de apă aveau valoarea gradului de umiditate apropiată de 1: pentru umiditatea $w=28\%$ la adâncimea $h=1-3m$, pentru $w=24-26\%$ la adâncimea $h=3-15m$, pentru $w=28\%$ la adâncimea $h=15m$, au fost obținute valorile rezistenței corespunzătoare a probelor de pământ cu structură naturală, cu suprafața pregătită de forfecare și suprafața umezită pregătită de forfecare (tabelul 3).

Ca rezultat, după umezire adăugătoare are loc micșorarea rezistenței din cauza scăderii bruște a coeziunii, reducerea căruia practic până la valoarea minimă (10 kPa), se înregistrează în încercări la forfecare cu probe de pământ cu suprafața pregătită de forfecare. În încercări pe

probe de pământ cu suprafața umezită pregătită de forfecare cu coeziune minimă se micșorează și valoarea unghiului de frecare interioară.

Tabelul 3. Rezultatele cercetărilor proprietăților de rezistență ale pământurilor argilo-nisipoase brușetice.

Condițiile încercărilor	Adâncimea prelevării monoliților de pământ h, m	Indicele de lichiditate, I_L		Parametrele de rezistență a probelor de pământ încercate la forfecare.			
		natural	după umezire	la umiditatea naturală		după umezire adăugătoare	
				φ , grade	C , kPa	φ , grade	C , kPa
1*	1–3	-0,50	0,38	13	130	13	20
	6	-0,30	0,17	13	50	16	44
	7–15	-0,08		16	100		
2*	1–3	-0,50	0,38	15	80	13	10
	6	-0,30	0,17	14	50	16	10
	7–15	-0,08		15	50		
3*	1–3	n-a fost determinat		13	30	9	10
	7–15	n-a fost determinat		10	20	12	9

Nota. 1*–Forfecarea probelor de pământ cu structura naturală; 2* – forfecarea probelor de pământ cu suprafața pregătită de forfecare; 3*– forfecarea probelor de pământ cu suprafața umezită pregătită de forfecare.

Pentru probe de pământ argilo-nisipos prelevate din adâncimea 3–15m a fost efectuată încercarea pentru a obține dependența rezistenței la forfecare în funcție de consistență. Cu acest scop, preventiv au fost construite diagramele punctuale de risipire de tupul $\tau=f(I_L)$. Analiza lor a confirmat, că pentru umiditatea naturală în intervalul consistenței tare în primul rând se manifestă influența factorului de discretizare care reflectă particularitățile textur-structurale ale pământurilor și gradul de distrugere a coeziunii structurale din cauza existenței zonelor naturale de slăbire, care determină caracterul de deformare rocilor de argilă rigidă și care bate influența densității, umidității și consistenței asupra rezistenței în masivul pământului.

Factorul consistenței, care reflectă rolul coeziunii primare în coeziunea totală și în coeficientul de viscozitate, începe să se manifeste la schimbarea consistenței a probelor de pământ de la stare tare până la stare semidură și plastic-vârtoasă, și, în mare măsură, determină caracterul de deformare a pământurilor în stare plastică. Am avut o posibilitate de a construi diagrama de dependență aproximativă $\tau_{lim}=f(I_L)$ numai pentru probe de pământ cu suprafața pregătită de forfecare, care modelează pierderea coeziunii structurale, adică care exclude influența factorului de discretizare. Folosind metoda "densitate-umiditate" propusă de către prof. N.N.Maslov [1,2] au fost obținute dependențe aproximative ale unghiului de frecare interioară (φ) și coeziunii primare (Σ_w) în funcție de consistență (I_L) (fig.2).

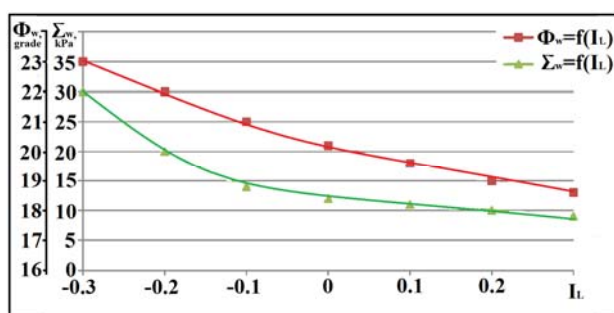


Fig. 2. Diagramele de dependență unghiului de frecare interioară (φ_w) și coeziunii primare (Σ_w) în funcție de consistență (I_L) ale pământurilor argilo-nisipoase brun-roșietice.

Analiza lor arată, că mărirea consistenței în mare măsură influențează asupra micșorării coeziunii primare. La consistența naturală $I_L=-0,20$ pentru stratul de pământ din intervalul adâncimii de la 3 m până la 15m unghiul de frecare interioară și coeziunea primară sunt egale corespunzător $\varphi=22^\circ$, $\Sigma_w=20$ kPa; după saturarea cu apă la $I_L=0,17$, $\varphi=19^\circ$, $\Sigma_w=10$ kPa. Caracterul dependențelor $\varphi, \Sigma_w=f(I_L)$ demonstrează posibilitatea de o micșorare anumită a unghiului de frecare interioară și valoare practic neschimbată a coeziunii primare, care practic coincide cu valoarea coeziunii remanente a argilelor neogen-quadernare, predispușe alunecărilor de teren de pe teritoriul Moldovei, a argilelor neogene de pe teritoriul Odesei și Caucazului.

Este evident, că schimbarea rezistenței în timp depinde nu numai de regimul de umiditate (consistența) și de condiții de lucru a terenurilor de fundare. În lipsa tensiunilor tangențiale mari în condiții de consolidare a terenurilor de fundare sub fundații trebuie de așteptat îmbunătățirea caracteristicilor de rezistență. Invers, existența

tensiunilor tangențiale poate duce la dezvoltarea proceselor de alunecare a taluzurilor care nu au căpătat stare limită de stabilitate. La taluzuri debleurilor și construcțiilor artificiale un rol important joacă procesele repetate de umezire-uscarea. Rezultatele cercetărilor au fost folosite la elaborarea recomandărilor pentru reconstruire a unui sector autodrumului Chișinău-Balcani. În special, a fost propusă clasificarea debleurilor după condiții geologice, au fost folosite secțiunile geologice de stabilitate echivalentă a taluzurilor, care au fost construite luând în considerare particularitățile reologice ale pământurilor, au fost argumentate măsurile de asigurarea stabilității îndelungate a taluzurilor debleurilor.

CONCLUZII

În condiții tehnico-geologice specifice ale teritoriului Moldovei este necesar de luat în considerație particularitățile regionale. Totodată, este important studiul caracterului rezistenței pământurilor argiloase și schimbarea lui sub influența diferitor factori.

Pe baza teoriei fizico-tehnice de fluaj au fost evidențiate parametrele reologice ale pământurilor argilo-nisipoase. A fost stabilită influența consistenței asupra valorilor caracteristicilor de rezistență a pământurilor.

Pentru alegerea preventivă a indicilor de calcul care caracterizează rezistența pământurilor argilo-nisipoase pot fi folosite dependențe obținute. Cu toate acestea, pentru asigurarea capacității portante cu o rezervă anumită de stabilitate este necesar de a continua cercetările particularităților reologice ale diferitelor tipuri de pământ argilo-nisipos. Aceasta va da posibilitatea de a preciza ecuațiile rezistenței îndelungate, care condiționează alegerea valorilor de calcul rezistenței pământurilor.

Bibliografie

1. Timofeeva T.A., Polcanov V.N. *Issledovanie dlitelinoj prochnosti sarmatskikh glin Moldavii// Izvestiya VUZov – Stroitel'stvo. Nr.7-8, pag.145-147, 1982.*
2. Polcanov V.N. *Rol' reologicheskix processov v razvitiu opolznej na territorii Moldovy. Chișinău. TUM, 176s.,2013.*
3. Maslov N.N. *Fiziko-tekhničeskaya teoriya polzuchesti glinistyx gruntov v praktike stroitel'stva. M.: Strojizdat. 176s.,1984.*

Recomandat spre publicare: 22.04.2015.