

ПРОГНОЗИРАНЕ НА ЯКОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ГЛИНИ ПРИ ПРОМЯНА НА ВОДНОТО СЪДЪРЖАНИЕ

Виолета Иванова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, wivanova@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Предложен е графичен метод за определяне якостта на срязване на глинести разновидности в диапазон от водни съдържания – от границата на източване до пълно водонасищане. Резултатите от изследването дават възможност за прогнозиране на якостно-деформационното поведение на глините при различни вертикални натоварвания и изменение на влажностния режим.

PROGNOSTICATION OF CLAY STRENGTH BEHAVIOR IN CASE OF WATER CONTENTS VARIATION

Violenta Ivanova

University of Mining and Geologi "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, wivanova@abv.bg

ABSTRACT. Graphical method for determination of shear strength in clay varieties in the range of water contents – from the flow limit to fully water logging, is proposed. The investigation results give the possibilities for strength-deformation prognostication of its behavior in case of different vertical loading and moisture regime variation.

Откритият начин на добив на въглища в рудниците на "Марица изток" ЕАД се съпътства с изграждане на насипища, в които се насипват глините от откривните хоризонти. Насипищните глинени не са естествено отложени седименти. Геотехническите им свойства са влошени вследствие нарушаване на естествената структура от изземване с роторния багери, транспортиране с гуменолентов транспорт и отсипване с насипообразуватели. В процеса на изграждане насипищата периодично се овлажняват от атмосферните води, което допълнително влошава механичните свойства на глините и понижава носещата им способност, въпреки предвиденото изкуствено уплътняване на насипищния масив.

Формирането на геотехническите свойства на насипищни глинени материали е сложен и динамичен процес, зависещ от инженерногеоложките, хидрогеоложките и климатичните условия, както и от възприетите минно-технологични схеми. То зависи от състава, структурата и свойствата на глините в ненарушения масив на откривката, от технологията на изземване, транспортиране и насипване, от атмосферните условия, както и от възможностите за уплътняване под собствен товар във времето на престояване. И най-вече, тъй като това са глинени материали, основен фактор за формиране на свойствата им е *водата*.

Необходимостта от прогнозиране якостното поведение на насипищни глинени при различно водно съдържание

възникна при изследване и прогнозиране на носещата им способност спрямо роторния багер, предвиден за вторичното им изземване като откривка във вътрешното насипище на рудник "Трояново 1" [1].

За определянето на геотехническите свойства на насипищните глинени са прокарани 20 бр. сондажа на дълбочина до 7 m, от които са взети 41 бр. проби. Изследванията са направени според БДС. Определени са зърнометричният състав, естественото водно съдържание, физичните, физикохимичните, якостните и деформационните свойства. Според получените резултати глините са обособени в четири разновидности: черни, пъстри прахови, пъстри прахови с твърди включения и прахови глинени с преобладаваща пясъчна фракция. Осреднените показатели за състава, физичните и физикохимичните им свойства са представени в таблица 1.

Според показателя на пластичност и зърнометричния състав глинестите разновидности се класифицират по БДС като прахови глинени и глинени. Обособяването на отделна разновидност *глинени с преобладаваща пясъчна фракция* извън класификацията по БДС ($I_p = 22 > 17 \%$) се налага поради наличието на голямото количество пясъчна фракция в тези глинени (около 50% фракция с $d > 0,10\text{mm}$) и особено им якостно поведение, което е разгледано по-нататък.

Таблица 1: Осреднени показатели за състава, физичните и физикохимичните свойства на глините от насипището

Брой проби n	ρ_n g/cm ³	ρ_s g/cm ³	ρ_d g/cm ³	W_n %	n %	e –	W_L %	W_p %	I_p %	I_c %	W_f %	S_r –	>0.10 mm %	0.10÷ 0.005 mm %	<0.005 mm %
Черни глини															
5	1.73	2.76	1.20	43.5	56.4	1.29	71	32	39	0.69	46.9	0.92	8	32	60
Пъстри прахови глини															
16	1.90	2.77	1.50	27.1	45.9	0.85	50	23	27	0.84	30.9	0.87	17	39	44
Пъстри прахови глини с твърди включения															
6	1.89	2.79	1.48	27.8	46.9	0.88	48	23	25	0.81	31.8	0.87	18	42	40
Прахови глини с преобладаваща пясъчна фракция															
14	1.94	2.74	1.59	21.8	41.7	0.71	40	18	22	0.83	26.5	0.82	46	27	27
Осреднено за всички глини															
41	1.89	2.76	1.49	27.4	45.9	0.86	49	22	26	0.81	31.5	0.86	25	34	40

Означенията в таблицата са както следва: ρ_n – обемна плътност; ρ_s – специфична плътност; ρ_d – обемна плътност на скелета; W_n – естествено водно съдържание; n – обемна порителност; e – коефициент на порителност; W_L – горна граница на пластичност; W_p – долна граница на пластичност; I_p – показател на пластичност; I_c – показател на консистенция; W_f – максимално водно съдържание; S_r – степен на водонасищане. В последните три графа е представен зърнометричният състав, съответно на пясъчливата, праховата и глинестата фракции.

Обособените по-горе глинести разновидности не са издържани по площ и в интервала на изследваната дълбочина. Не се наблюдават и по-издържани прослойки от определен вид глини, нито някаква закономерност в промяната на свойствата им.

Според обемната плътност на скелета ρ_d [2] черните глини са недоуплътнени. Всички останали глини са със средна степен на уплътненост, като глините с повишена пясъчна фракция са най-уплътнени (табл. 1).

В естествено състояние всички глинести разновидности, с изключение на черните, са в твърдопластична консистенция. Черните глини имат консистенция на границата твърдопластична-среднопластична (табл. 1). Степента на водонасищане на глините $S_r < 1$, т.е. те не са водонаситени и могат да поемат допълнително още вода. При водонасищане до максимално водно съдържание W_f всички глини, без изключение, ще преминат в среднопластична консистенция – показателят им на консистенция намалява до $I_c = 0.60 \div 0.70$, което ще влоши якостните им свойства и съответно носещата им способност.

Якостта на срязване на глините е определена в едноплоскостен апарат според БДС. Глините с по-ниска якост са изследвани на по-малки вертикални натоварвания ($\sigma_n = 0.5; 1.0$ и $1.5 \cdot 10^5$ Pa), а тези с по-висока – по стандартната схема – при $\sigma_n = 1.0; 2.0$ и $3.0 \cdot 10^5$ Pa. При всеки опит са определяни обемната плътност и водното съдържание след срязване. Анализът на резултатите

показва нехомогенността на повечето от глините, дори и в интервала на опробваната около 40 cm сондажна ядка. В резултат стойностите на якостта на срязване не винаги съответства на приложения вертикален товар и определянето на якостните показатели за всяка отделна проба не винаги е възможно. Това налага определянето им да става по разновидности, чрез осредняване по метода на най-малките квадрати. Според якостта на срязване т глините са разпределени в три разновидности: *черни глини, прахови пластични глини* (включват пъстрите прахови и пъстрите прахови глини с твърди включения) и *прахови глини с преобладаваща пясъчна фракция* (от таблица 1). В таблица 2 са дадени обемните тегла и нормативните (средни) и изчислителни стойности на ъгъла на вътрешно триене φ и кохезията c , необходими за изчисляване на носещата способност на глините спрямо специфичното натоварване от багера. γ_φ и γ_c са частичните коефициенти на сигурност, съответно за ъгъла на вътрешно триене и кохезията, получени при определяне на изчислителните якостни показатели. Статистическата обработка на частните стойности за якостта на срязване при различни вертикални натоварвания е извършена с коефициент на вероятност $t_\alpha = 0.95$ при минимална едностранна осигуреност.

Якостните показатели на глините при максимално водно съдържание W_f и при водно съдържание отговарящо на границата на източване W_p са определени графично, като за целта са изведени са зависимостите $\tau = f(W_n)$ (W_n е

Таблица 2. Нормативни и изчислителни геотехнически показатели на насипищните глини при естествено водно съдържание

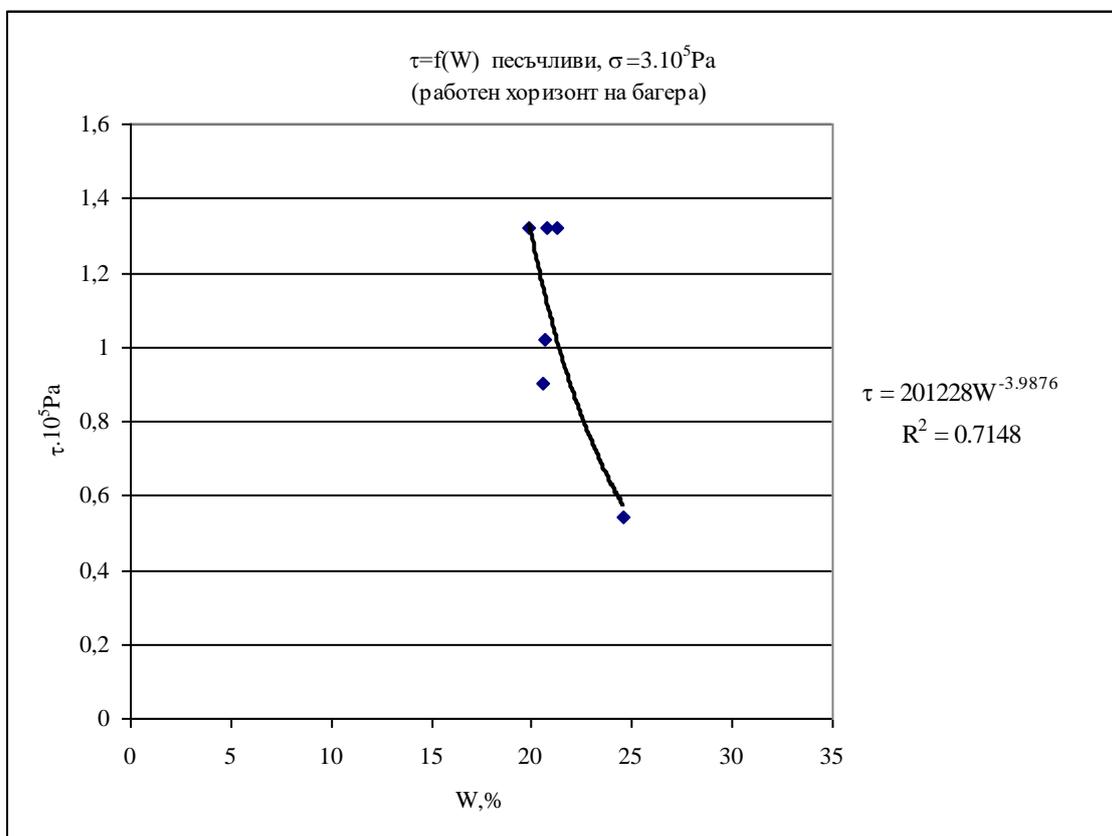
Глинести разновидности	Геотехнически показатели		
	φ^n / φ^m	c^n / c^m kPa	γ kN/m ³
черни глини	0,73 / 0 ($\gamma_\varphi=0$)	34 / 17 ($\gamma_c=2$)	17,3
прахови пластични глини	9,6 / 7,4 ($\gamma_\varphi=1,34$)	25 / 22 ($\gamma_c=1,14$)	19,0
прахови глини с преобладаваща пясъчна фракция	15,1 / 9,6 ($\gamma_\varphi=1,67$)	28 / 20 ($\gamma_c=1,43$)	20,1

водно съдържание след срязване) при различни вертикални натоварвания σ_n . Чрез уравненията на описващите ги линии са определени съпротивленията τ при съответното средно естествено водно съдържание след срязване W_{cp} , при границата на източване W_p и при максимално водно съдържание W_r и са представени зависимостите $\tau = f(\sigma_n)$ при съответните водни съдържания. От тях са определени графично нормативните стойности на ъгъла на вътрешно триене φ и кохезията c при съответните водни съдържания (W_p , W_n и W_r). Изчислителните стойности за φ и c при W_p , W_n и W_r са определени чрез използване на коефициентите на сигурност, определени непосредствено при определянето на якостните показатели в естествено състояние.

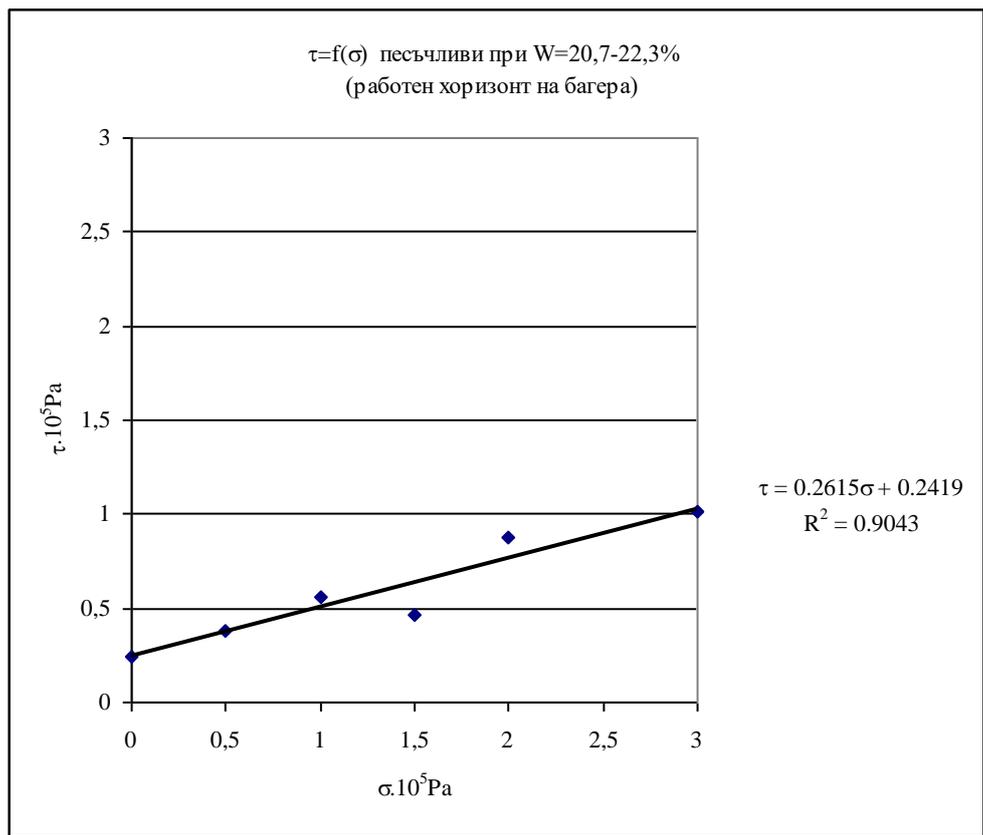
Анализът на резултатите от изследването за графично определяне на нормативните якостни показатели в диапазон от водни съдържания (W_p , W_n и W_r) показва значими резултати само за праховите глини с преобладаваща пясъчна фракция. Якостните показатели на праховите глини не се влияят особено много от промяната на водното съдържание. Това може да се обясни с факта, че те са срязвани в при водни съдържания, обхващащи почти целия диапазон $W_p \div W_r$, докато при тези с преобладаваща пясъчна фракция опитите за определяне на якостните им свойства са извършени в тесен диапазон от водни съдържания ($W_{ncp} = 21-22\%$) съпадащ с W_n , а максималното им водно съдържание W_r е значително по-високо $W_r = 26,5\%$. Това предполага екстраполация в зависимостта $\tau=f(\sigma)$ за пясъчливите глини.

За графичното определяне на нормативните якостни показатели в диапазон от водни съдържания, първо се търсят зависимостите $\tau=f(W)$ при съответните вертикални напрежения σ (W е средното водно съдържание след срязване при съответното σ). На фигура 1 е даден пример за $\tau=f(W)$ при $\sigma=3 \cdot 10^5 \text{Pa}$ за пясъчливите глини. Чрез уравнението на кривата, описваща с най-голям коефициент на корелация зависимостта, се определя якостта на срязване τ при средното водно съдържание след срязване, при границата на източване W_p и при максимално водно съдържание W_r . Това се прави за всички вертикални напрежения, след което по метода на най-малките квадрати се получават правите линии, от които се определят ъгълът на вътрешно триене и кохезията при естествено водно съдържание (фиг. 2) и при W_p и W_r (фиг. 3). Стойностите за якостта на срязване τ при различните вертикални напрежения σ са получени чрез осредняване на τ за съответната стойност на σ . С това се обяснява малката разлика за стойностите на φ и c в сравнение с получените при обработката на цялата съвкупност (фиг. 4). От фигура 5 се вижда, че кохезията от $0,88 \cdot 10^5 \text{Pa}$ при W_p , спада до $0,05 \cdot 10^5 \text{Pa}$ при W_r .

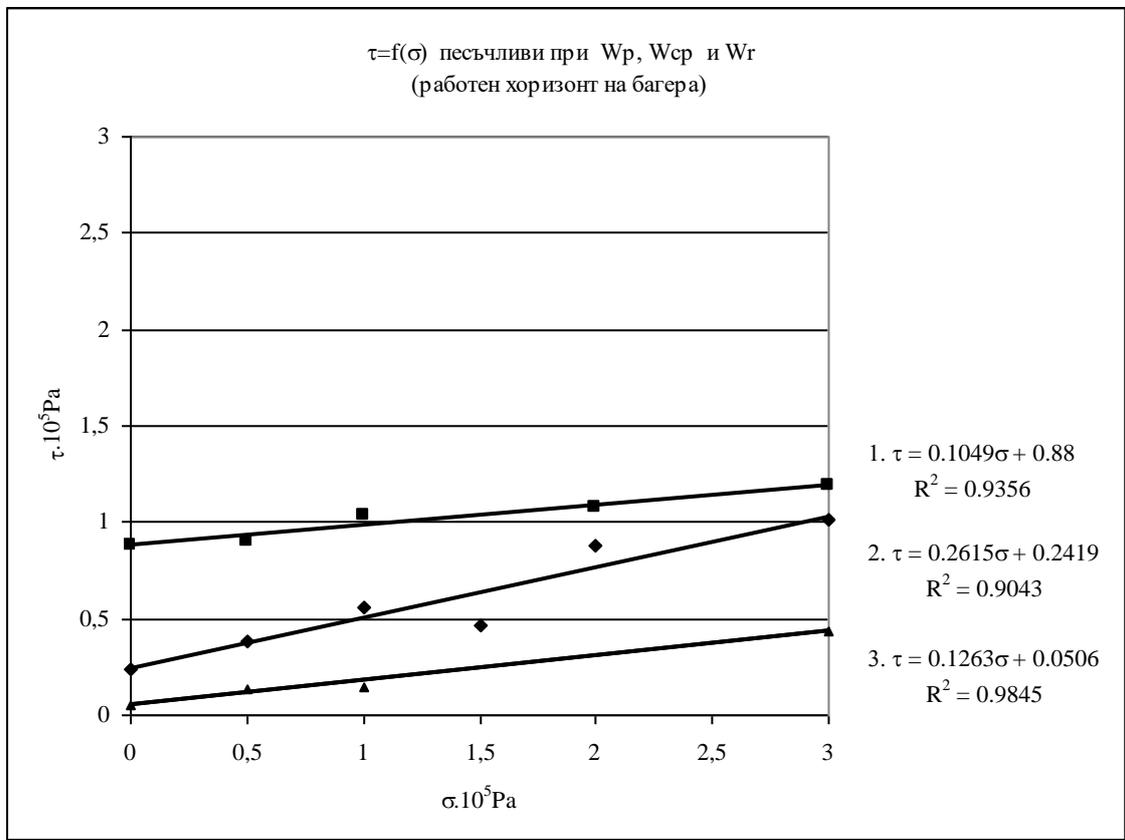
Праховите глини са срязвани при широк диапазон от водни съдържания ($W_{ncp}=26-32\%$), доближаващ се до максималното водно съдържание $W_r=34\%$, поради което якостните им показатели не се влияят чувствително от водата. Зависимост между кохезията и водното съдържание за праховите глини не може да се установи. При тях, с увеличаване на водното съдържание от W_p през W_n до W_r , намалява ъгълът на вътрешно триене – съответно от 12° на 9° на 5° (фиг. 6).



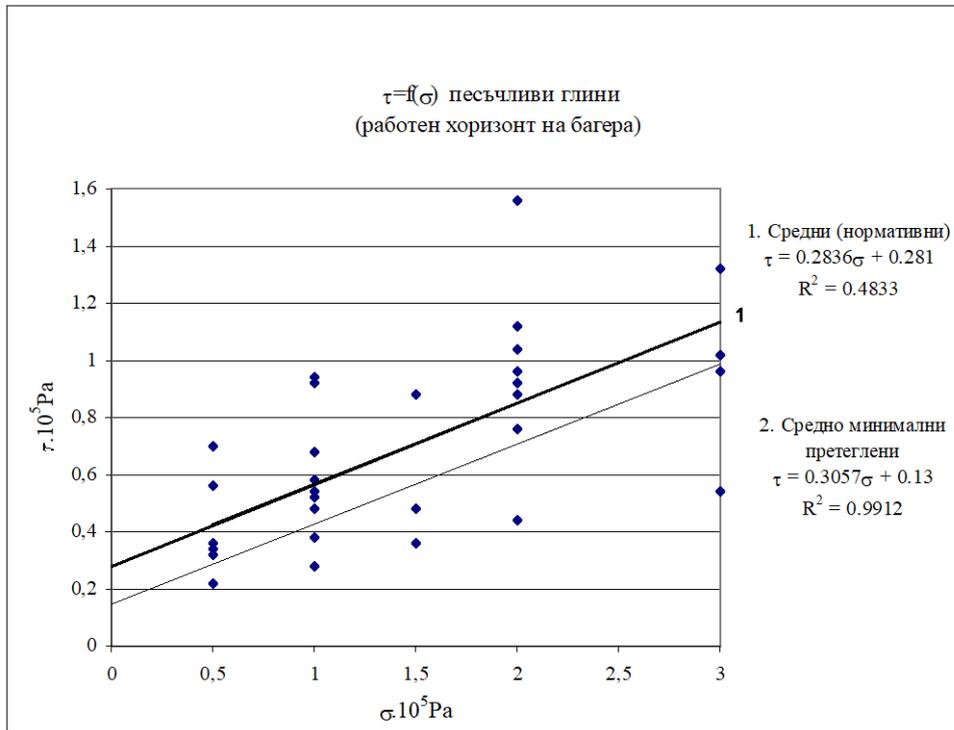
Фиг.1 Зависимост $\tau=f(W)$ при $\sigma=3 \cdot 10^5 \text{Pa}$ за глините с преобладаваща пясъчна фракция



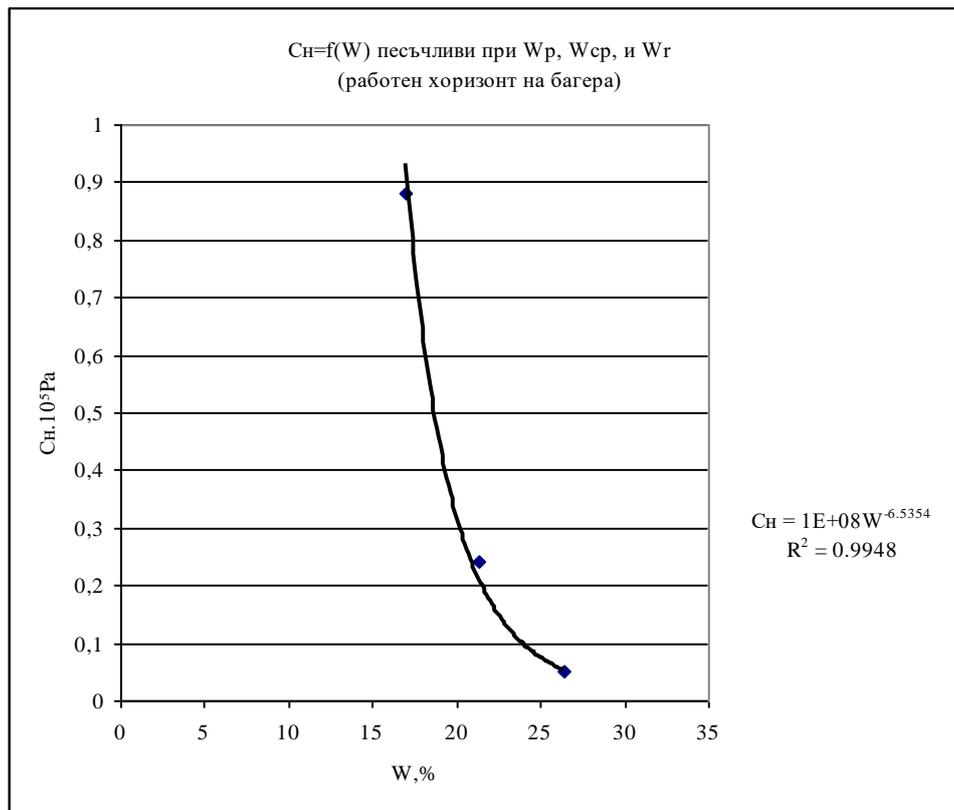
Фиг.2 Зависимост $\tau=f(\sigma)$ при $W=20,7-22,3\%$ за глините с преобладаваща пясъчна фракция



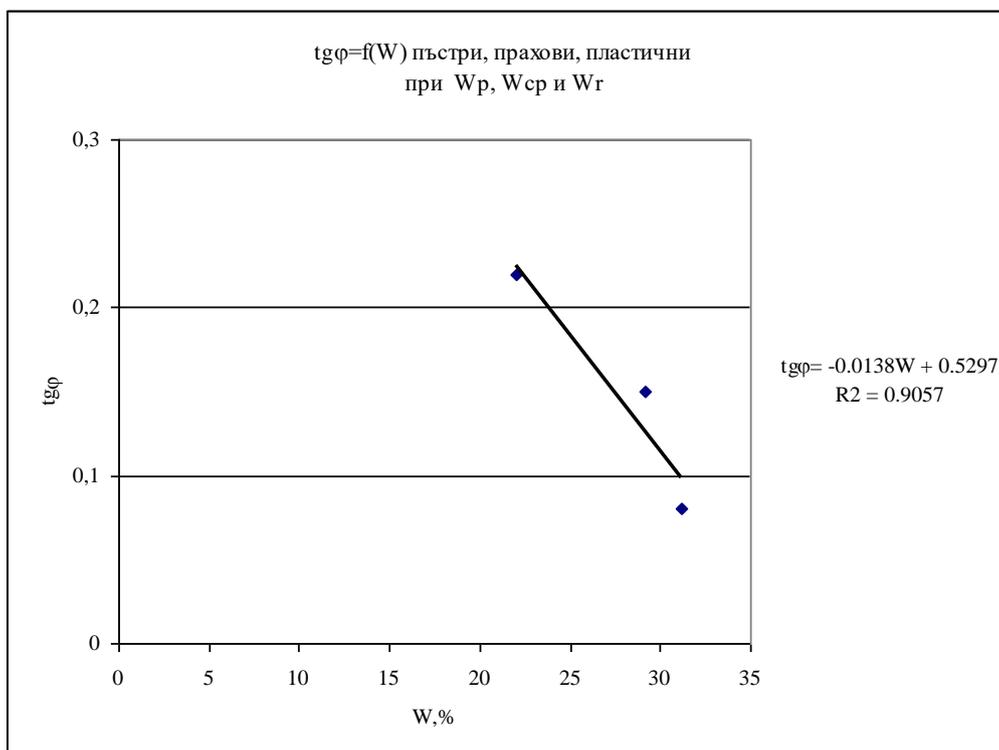
Фиг.3 Зависимост $\tau=f(\sigma)$ при $W_p(1), W_{cp}(2)$ и $W_r(3)$ за глините с преобладаваща пясъчна фракция



Фиг.4 Зависимост $\tau=f(\sigma)$ за определяне на средните нормативни (1) и средно минималните претеглени (2) якостни показатели



Фиг.5 Зависимост $C_H=f(W)$ при W_p , W_{cp} и W_l за глините с преобладаваща пясъчна фракция



Фиг.6 Зависимост $tg\varphi=f(W)$ при W_p , W_{cp} и W_r за праховите пластични глин

В таблица 3 са дадени нормативните и изчислителни якостни показатели на праховите пластични и праховите глин с преобладаваща пясъчна фракция при естествено водно съдържание W_n , граница на източване W_p и максимално водонасищане W_r , получени чрез графична обработка.

Таблица 3. Нормативни и изчислителни якостни показатели на насипишните глин при естествено водно съдържание W_n , граница на източване W_p и максимално водонасищане W_r получени чрез графична обработка

Глинести разновидности	Якостни показатели					
	$\varphi^H / \varphi^H [^\circ]$ при			$c^H / c^H [kPa]$ при		
	$W_n, \%$	$W_p, \%$	$W_r, \%$	$W_n, \%$	$W_p, \%$	$W_r, \%$
прахови пластични глин $W_n=26\div 32\%$; $W_p=22\%$; $W_r=31\%$	8°42' 6°16'	12°15' 9°05'	4°42' 3°26'	23/ 20	27/ 23	29/ 25
прахови глин с преобладаваща пясъчна фракция $W_n=21\div 22\%$; $W_p=17\%$; $W_r=26\%$	15°50' 9°38'	5°59' 3°26'	7°12' 4°34'	24/ 17	88/ 62	5/ 4

И при двете глинести разновидности при водонасищане ъгълът на вътрешно триене намалява около 50%. Кохезията на праховите пластични глин слабо нараства, докато за тези с преобладаваща пясъчна фракция спада приблизително с 80% (табл. 2 и табл.3). Носещата способност на глините зависи в много по-голяма степен от кохезията, отколкото от ъгъла на вътрешно триене [3], поради което при възможност за водонасищане носещата способност на пясъчливите глин ще намалее приблизително 5 пъти [1].

Различията в поведението на пясъчливите и праховите глин при различни водни съдържания може да се обясни с ролята на глинестата фракция. При праховите глин тя е повече и с увеличаване на водното съдържание намалява триенето (ъгълът на вътрешно триене намалява), докато при пясъчливите глин с увеличаване на водното съдържание отслабва контакта между частиците на пясъчната фракция, атакуват се точковите контакти, и вследствие на това намалява кохезията. Всички тези

обобщения трябва да се тълкуват с известна условност, тъй като са изведени на базата на цялата съвкупност от различни глинести проби.

Заклучение

1. Основен фактор за якостно-деформационното поведение на глините е количеството на водата в тях. Нарушаването на структурата им при естествено водно съдържание влошава якостните им свойства, а когато това е съпроводено и с увеличаване на водното съдържание до максималното за глините, то якостните им показатели, и съответно носещата им способност, може да спадне неколкостранно.

2. Предложеният графичен метод за прогнозиране на якостните показатели на насипишни глин (с нарушена естествена структура) при различни водни съдържания (в частност при водонасищане) може да се прилага когато има достатъчен (от гледна точка на статистическата

обработка) брой данни за якостните им характеристики и висок коефициент на корелация на зависимостта $\tau = f(\sigma)$.

3. При водонасищане ъгълът на вътрешно триене на неорганичните насипищни глини намалява около 50%, а кохезията на глините с преобладаваща пясъчна фракция спада приблизително с 80%. В резултат носещата способност на праховите глини ще намалее слабо, но за пясъчливите глини тя ще спадне приблизително 5 пъти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова, В. (2006). *Изследване на геотехническите свойства и носещата способност на насипищните глини по маршрутния път и работния хоризонт на*

багер Rs 470 във вътрешното насипище на рудник "Трояново 1". Отчет по НИС към МГУ "Св. Ив. Рилски", София.

2. Горькова, И. и др. (1961). *Природа прочности и деформационные особенности глинистых пород в зависимости от условий формирования с увлажнением.* Изд. АН СССР, том XXIX.

3. *Норми за проектиране на плоско фундиране.* 1995.

4. Иванова, В. (1999). *Геотехнически свойства на надвъздушния комплекс и влиянието им върху производителността на роторните багери в Източно-маришкия възлищен басейн.* Дисертация за присъждане на научно-образователна степен "доктор".

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Подземно строителство", МТФ