



## АНАЛИЗ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА ЛИТОЛОЖКИТЕ РАЗНОВИДНОСТИ В РУДНИК „ТРОЯНОВО-3“

Инж. Георги Владиславов, [g\\_vladislavov@r3.marica-iztok.com](mailto:g_vladislavov@r3.marica-iztok.com)  
Инж. Красимир Кадифейкин, [k\\_kadifeikin@r3.marica-iztok.com](mailto:k_kadifeikin@r3.marica-iztok.com)  
Инж. Стилян Стоянов, [stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com](mailto:stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com)  
Рудник „Трояново-3“, „Мини Марица-изток“ ЕАД

### РЕЗЮМЕ

Основната производствена дейност в открития рудник „Трояново-3“ включва мероприятия по добив и транспорт на полезното изкопаемо (лигнитни въглища) и мероприятия за обезпечаване на добива. Добивният и откривните хоризонти на работните бордове и стъпалата на неработните бордове в откритите рудници на Източномаришкия басейн са изградени от литоложки разновидности, характеризиращи се с различни свойства във вертикалния терциерен профил. За гарантиране на изпълнението на производствената програма на рудника е необходимо осигуряване на надежност (носимоспособност, експлоатационна годност и дълготрайност) на земната основа при експлоатационни и сеизмични въздействия.

### AN ANALYSIS OF LITHOLOGICAL VARIETIES BEARING STRENGTH AT TROYANOVO-3 MINE

Eng. Georgi Vladislavov, [g\\_vladislavov@r3.marica-iztok.com](mailto:g_vladislavov@r3.marica-iztok.com), Eng. Krasimir Kadifeikin,  
[k\\_kadifeikin@r3.marica-iztok.com](mailto:k_kadifeikin@r3.marica-iztok.com), Eng. Stilyan Stoyanov, [stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com](mailto:stilian.stoianov@r3.marica-iztok.com)  
Troyanovo-3 Mine, Mini Maritsa Iztok EAD

### ABSTRACT

The main production activity at Troyanovo-3 opencast mine includes operations related to minerals (lignite) extraction and transportation, and operations for ensuring extraction. The extraction level and overburden removal levels of the operational flanks and the benches of the non-operational flanks at the opencast mines of Maritsa Iztok coal field are built of lithological varieties, characterized by various properties in the vertical Tertiary profile. In order to guarantee the mine production programme implementation, it is necessary to provide reliability (bearing strength, operability and durability) of the ground base when there are operational and seismic impacts.

Полето на рудник „Трояново-3“ заема южната част на Източномаришкия въглищен басейн. Откривните хоризонти от работните и неработните бордове в откритите рудници на Източномаришкия басейн са изградени от глини, характеризиращи се с различни свойства във вертикалния терциерен профил. Транспортирането на получената в резултат на добивната дейност непродуктивна глинеста маса до вътрешните и външното насипища се осъществява чрез гумено-лентов транспорт, чиито трасета са разположени върху технологичните площадки на стъпалата. Откосите на тези стъпала много често се деформират и разрушават в резултат на специфичните особености на глинестите разновидности (наличие на мрежа от микро и макропукнатини, релаксационния ефект при разтоварването на масива, потенциални деформационни повърхнини на древни свлачища, сравнително ниски якостни характеристики на глините и др.), както и от динамичното въздействие, което оказват транспортните съоръжения. В тази връзка представляват интерес тези свойства на глините, които са установени при статичен и динамичен режим на срязване. Получените характеристики се явяват база при извършването на стабилитетни изчисления за стъпалата и на техните параметри (височина и ъгъл на наклона), както и при оразмеряването на площадките с цел осигуряване на безопасна работа и транспорт. При решаване на редица технологични задачи, от



съществено значение за теорията и практиката е определянето наносещата способност на литоложките разновидности.

Глините са образувани от наслявяване на прахообразни скални частици, съединени помежду си със земни колоиди. Земните колоиди свързват отделните части на почвата по такъв начин, че последната добива качества, свършено различни от качества на несвързаните почви. Твърдите скални частици, свързани с колоидното вещество, образуват фрагментарни клетъчни форми. Молекулярната притегателна сила в точките на допирането, явяваща се равна на собственото тегло на скалните прахообразни скални частици, способства да се запази разположението на същите и на колоидното вещество при последващо натоварване от отложени върху тях нови частици. При бавните нови наслявявания по-долу лежащите отложени частици се приближават една към друга, като намиращата се при така образуваните клетки от скални частици и колоидни водна маса се изтласква навън, чрез което се получава бавно уплътняване на глинестото наслявяване. По-голямата част от товара на новите наслявявания се поема от твърдия скелет на структурните агрегати, а по-малката се предава върху водната маса, намираща се в клетките, което предизвиква бавното изтласкване на водата от тях. Докато при несвързаните почви устойчивостта се дължи изключително на триенето на отделните частици, при глината сцеплението между тях представлява главната съпротивителна способност на почвата. Съпротивлението, дължащо се на триенето между отделните частици на глината е по-голямо при сухи глини и силно намалява с увеличаване на влажността на почвата. Сухите глини имат съпротивление на триене приближаващо се до това на несвързаните почви. С увеличаване на влагата това съпротивление постепенно намалява. Под действие на натоварването глината се подлага на бавна компресия, при което намиращата се в нея вода излиза извън състава на глината и с намаляване на своя обем увеличава своята носимоспособност. Този процес се извършва толкова по-бавно, колкото водопродимостта на глината е по-малка. Дебелите глинести пластове се компресират по-бавно, отколкото тънките, или отколкото глинести пластове, пресечени от пясъчни, или чакълести прослойки с по-голяма водопрпускливост. При бързото увеличаване на специфичното натоварване глината може да премине границата на максималната си носимоспособност, тъй като процесът на компресиране на глинестата маса и заедно с него и на увеличаващата се способност да носи натоварвания (увеличаване на почвената носимоспособност) е много по-бавен, отколкото развитието на външното натоварване. Тогава се предизвиква странично изтласкване на глинестата маса под фундаментите, или контакта между земна основа и външен товари последващи от това внезапни големи слягания, или пропадания. Специфичното натоварване на малките, свързани с колоидното вещество плоскости на прахообразните скални частици е многократно по-голямо от това на специфичния товар, разпределен върху целия глинест пласт. Ако се премине границата на тяхната носимоспособност, те се слягат, като товарът в по-голямата си част се предава върху течната компонента (водна съставляваща), намираща се в средата на клетъчната фрагментация, преди тя да може да изтече поради малката водопрпускливост и да се уплътни глинестото наслявяване. Това предаване на по-голямата част от товара върху течната водна маса във вътрешността на глината има за последствие разрушаването на носещата глинеста клетъчна структура и глината променя консистенцията си, като се превръща в пластична маса, която се изтласква от двете страни на товарната плоскост. Това явление се явява винаги когато увеличаването на специфичното натоварване на глината става по-бързо, отколкото способността и да бъде уплътнена чрез намаляване на съдържаната в нейната вътрешност вода.

В рудник Трояново-3 границата между Трояновското въгленосно ниво (миоцен) и Гледачевската свита (плиоцен) се визира от емерзионна повърхнина. Тя се е образувала при засушаване, следствие на изплитняване краищата на басейна и протичане на окислителни и денудационни процеси в сивочерните глини и карбонатните конкреции. Дебелината и е променлива и достига до 2,5 m.

Преобладаващият дял в строежа на Гледачевската свита имат глините (75 - 80 %). В основата и те са пластични, със сравнително висока влажност, а нагоре в разреза делът на пясъчливата компонента нараства. Глините са сивозелени в по-ниските нива, а нагоре в разреза променят цвета си по пукнатини и на петна, или са изцяло белезникави, жълти, или жълтокафяви, поради протекли изветрителни процеси.

От инженерно-геоложка гледна точка надвъглищния комплекс се разглежда като хетерогенна, многопластова среда, състояща се от повече, или по-малко издържани глинесто пластове с включения



между тях, или в тях, по-песъчливи отложения като прослойки, лещи и др. неиздържани пространствено, с различна големина и форма, твърди (скални) включения.

Възникналите проблеми, свързани с устойчивостта в откритите рудници и затруднената работа на ТМО в процеса на експлоатацията им налагат допълнителни изследвания, произтичащи от специфичните, сложни и недоизяснени условия - променливи в пространството свойства, състав и структура на седиментите.

Тъй като изследванията са правени основно за нуждите на стабилитетните изчисления, особено внимание е обръщано на якостните и деформационните свойства, преди всичко на глините от междупластието на възлицата, по което става свличането. Съставът и свойствата на отложенията в надвъзлицния комплекс не са достатъчно добре изучени и обобщени. Това налага детайлно изследване на свойствата и състава и натрупване на достатъчно данни за пълното характеризиране и класификация на отложенията от надвъзлицния комплекс.

Основните глинести литоложки разновидности, които са анализирани, са глина жълтокафява, изграждаща геоложкия профил във високите хоризонти и глина синя, залягаща на по-ниски стратиграфски нива.

Физико-механичните изчислителните показатели на якостните свойства на срязване в масива на жълтокафявата глина са представени в Табл. 1.

Табл. 1

ПОКАЗАТЕЛ	ОЗНАЧЕНИЕ	ДИМЕНСИЯ	СТОЙНОСТ
Водно съдържание	$W_n$	%	17.93
Влага	$W'$	%	15.10
Обемна влажност	$n_w$	%	31.16
Максимално водно съдържание	$W_r$	%	18.90
Степен на водонасищане	$s_r$	-	0.94
Обемна плътност	$\rho_n$	$g/cm^3$	2.07
Обемна плътност на скелета	$\rho_d$	$g/cm^3$	1.76
Специфична плътност	$\rho_s$	$g/cm^3$	2.63
Обемно тегло	$\gamma_n$	$kN/m^3$	20.3
Обемно тегло на скелета	$\gamma_d$	$kN/m^3$	17.3
Специфично тегло	$\gamma_s$	$kN/m^3$	25.8
Обем на порите	$n$	-	0.33
Коефициент на порите	$e$	-	0.50
Обемна плътност във водонаситено със-е	$\rho_r$	$g/cm^3$	2.09
Обемно тегло във водонаситено състояние	$\gamma_r$	$kN/m^3$	20.5
Обемна плътност под вода	$\rho_w$	$g/cm^3$	1.09
Обемно тегло под вода	$\gamma_w$	$kN/m^3$	10.7
Показател на пластичност	$I_p$	%	17.22
Показател на консистенция	$I_c$	-	0.90
Коефициент на консистенция	$I_L$	-	0.10
Граница на протичане	$W_L$	%	33.09
Граница на източване	$W_P$	%	15.87
Ъгъл на вътрешно триене	$\varphi$	deg	18.74
Кохезия	$c$	$kN/m^2$	26.42
Напрежение от набъбване	$\sigma'$	MPa	0.036
Свободно набъбване	$\sigma$	%	1.07



Физико-механичните изчислителните показатели на якостните свойства на срязване в масива на синята глина са представени в Табл. 2.

Табл. 2

ПОКАЗАТЕЛ	ОЗНАЧЕНИЕ	ДИМЕНСИЯ	СТОЙНОСТ
Водно съдържание	$W_n$	%	13.10
Влага	$W'$	%	11.58
Обемна влажност	$n_w$	%	24.82
Максимално водно съдържание	$W_r$	%	13.89
Степен на водонасищане	$s_r$	-	0.95
Обемна плътност	$\rho_n$	g/cm <sup>3</sup>	2.14
Обемна плътност на скелета	$\rho_d$	g/cm <sup>3</sup>	1.89
Специфична плътност	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.57
Обемно тегло	$\gamma_n$	kN/m <sup>3</sup>	21.0
Обемно тегло на скелета	$\gamma_d$	kN/m <sup>3</sup>	18.5
Специфично тегло	$\gamma_s$	kN/m <sup>3</sup>	25.2
Обем на порите	$n$	-	0.26
Коефициент на порите	$e$	-	0.36
Обемна плътност във водонаситено със-е	$\rho_r$	g/cm <sup>3</sup>	2.16
Обемно тегло във водонаситено състояние	$\gamma_r$	kN/m <sup>3</sup>	21.2
Обемна плътност под вода	$\rho_w$	g/cm <sup>3</sup>	1.16
Обемно тегло под вода	$\gamma_w$	kN/m <sup>3</sup>	11.4
Показател на пластичност	$I_p$	%	11.96
Показател на консистенция	$I_c$	-	0.99
Коефициент на консистенция	$I_L$	-	0.01
Граница на протичане	$W_L$	%	24.95
Граница на източване	$W_P$	%	12.99
Ъгъл на вътрешно триене	$\varphi$	deg	26.33
Кохезия	$c$	kN/m <sup>2</sup>	12.43
Напрежение от набъбване	$\sigma'$	MPa	0.022
Свободно набъбване	$\sigma$	%	1.02

Физико-механичните и якостни показатели на двете литоложките разновидности са определени на база резултатите от лабораторен анализ на земни проби от сондажни проучвания.

Класификация на литоложките разновидности:

- по показател на пластичност ( $I_p$ ) - пясъчливи глини;
- по показателя на консистенция ( $I_c$ ) и коефициента на консистенция ( $I_L$ ) - почви в твърдопластична консистенция;
- по степента на водонасищане ( $s_r$ ) двете разновидности се класифицират като „много влажна почва“;
- по степен на уплътненост:



по обемна плътност на скелета ( $\rho_d$ ) по Горькова - пясъчливи глини с висока степен на уплътненост;

по показател на уплътненост ( $k_d$ ) и коефициент на порите ( $e$ ) по Приклонски - средна степен на уплътненост (съответства на пластично състояние);

- по коефициента на уплътняване ( $a$ ) - с повишена слегаемост.

Носещата способност на глините от различните разновидности е определена чрез обемните тегла и изчислителните показатели за якостните им характеристики, като е взето предвид специфичното натоварване от багерите, представено в Табл. 3.

Определени са:

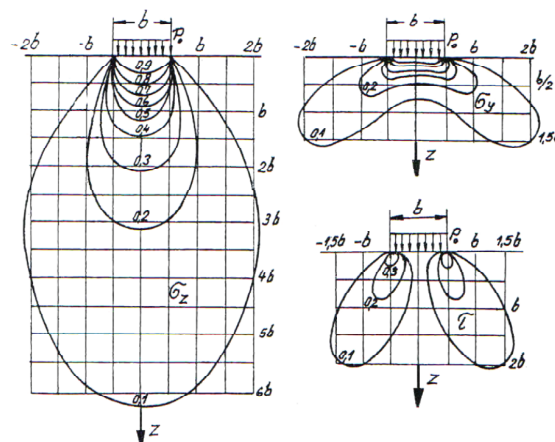
- средното специфично натоварване от багерите,  $p$ , [kPa]
- критичните натоварвания при разрушаване на глините,  $R_{гр}$ , [kPa]
- ръбовото критично натоварване под веригите на багера,  $P_{p,кр}$ , [kPa]
- максималната дълбочина на разпространение на пластичните зони,  $Z_{max}$ , [m]
- допустимото натоварване,  $p_{1/4}$ , [kPa].

Табл. 3

Багер	Средно специфично почвено натоварване $p$ , [kPa]
A <sub>2</sub> Rs-B-12500+100+BRs	77
A <sub>2</sub> Rs-B-6300.95+BRs	78
BRs 1400.37/50.1	86
SchRs2000.28/3.0+VR	89
SchRs2000.28/3.0	98
ERs710	110
SchRs1301.26/5.0	120
SchRs1200.20-24.12/4.0	130
SchRs 470.15/3.5.0	180

От гледна точка на земната механика багерите трябва да бъдат възприемани като динамични, неравномерно разпределени, ексцентрични ивични товари, действащи върху земната повърхност ( $t=0$ ). За да могат да се извършат изчисленията за носещата способност на глините, приемаме натоварването от багерите за равномерно.

Разпределението на напреженията, които създават такива товари в земната основа показва, че при ограничаване на изследването до напрежения, които представляват 1/10 от натоварването  $p_0$ , вертикалните напрежения  $\sigma_z$  достигат до дълбочина  $6b$ , хоризонталните  $\sigma_y$  - до  $1,5b$ , а тангенциалните  $\tau$  - до  $2b$  (Фиг. 1).



Фиг. 1. Линии на еднакви нормални и тангенциални напрежения от равномерно разпределен ивичен товар



### Определяне на носещата способност на глините

Гранично (разрушително) натоварване -  $R_{гр}$

За да се определи носещата способност на глините е необходимо да се изчисли граничното (разрушително) натоварване на земната основа  $R_{гр}$ .

$$R_{гр} = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot S_q \cdot i_q + \gamma \cdot b \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot i_\gamma \quad [kPa] \quad (1)$$

където:

$c$  - кохезията на глините, [kPa]

$q = \gamma \cdot t = 0$  - геоложки товар на повърхността ( $t = 0$ ), [kN/m<sup>2</sup>]

$\gamma$  - обемно тегло на глините, [kN/m<sup>3</sup>]

$b$  - широчина на веригата на багера, [m]

$a$  - дължина на веригата на багера, [m]

$i_c = i_q = i_\gamma = 1$  - коефициенти за отчитане влиянието на изчислителния хоризонтален товар

$N_c$ ,  $N_q$  и  $N_\gamma$  - коефициенти за носещата способност, които зависят от ъгъла на вътрешно триене:

$$N_q = e^{\pi \cdot tg \varphi} \cdot tg^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot cotg \varphi \quad (3)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot tg \varphi \quad (4)$$

$S_c$ ,  $S_q$  и  $S_\gamma$  - коефициенти за отчитане влиянието на формата на основната плоскост. За правоъгълна форма на основната плоскост:

$$S_c = \frac{S_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad (5)$$

$$S_q = 1 + \frac{b}{a} \cdot sin \varphi \quad (6)$$

$$S_\gamma = 1 - 0,3 \frac{b}{a} \quad (7)$$

За да се отчете динамичното въздействие на багерите при работа, е целесъобразно да се приеме динамичен коефициент  $\eta_d = 1,4$ . Разрушителното натоварване при динамично въздействие при работа на багерите е:

$$R_{гр \, д} = R_{гр} / \eta_d = R_{гр} / 1,4 \quad (8)$$

Получените гранични (разрушителни) натоварвания на земната основа  $R_{гр}$  за двете различните глинести разновидности от багерите са дадени в Табл. 4.

Табл. 4

Багер	глина жълтокафява		глина синя	
	$R_{гр}$ , [kPa]	$R_{гр \, д}$ , [kPa]	$R_{гр}$ , [kPa]	$R_{гр \, д}$ , [kPa]
BRs 1400.37/50.1	465	332	455	325
SchRs2000.28/3.0+VR	426	304	425	304
SchRs2000.28/3.0	426	304	425	304
ERs710	434	310	431	308
SchRs1301.26/5.0	428	306	427	305
SchRs1200.20-24.12/4.0	428	306	427	305



Ръбово критично натоварване -  $P_{p \text{ кр}}$  (по Fröhlich)

Натоварването на земната основа с равномерен ивичен товар с определена големина води до образуване на пластични зони (зони с нарушени глини) в ръбовете му. Ръбовото критично натоварване е това натоварване, надвишаването на което предизвиква зараждането на пластични зони. Свързаните почви могат да понесат товар до размера на  $p_{p \text{ кр}}$  без да се появяват пластични зони, дори ако товарът е поставен на повърхността им ( $t = 0$ ).

$$P_{p \text{ кр}} = \frac{\pi(\gamma \cdot t + P_e)}{\cotg\varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)} + \gamma \cdot t \quad (9)$$

При  $t = 0$  уравнение (9) има следния вид:

$$P_{p \text{ кр}} = \frac{\pi \cdot c \cdot \cotg\varphi}{\cotg\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi} \quad (10)$$

където:

$c$  - кохезията на глините, [kPa]

$t$  - дълбочина от повърхността, [m]

$q = \gamma \cdot t = 0$  - геоложки товар на повърхността ( $t = 0$ ), [kN/m<sup>2</sup>]

$\gamma$  - обемно тегло на глините, [kN/m<sup>3</sup>]

Стойностите на  $P_{p \text{ кр}}$  за двете литоложки разновидности при статично и динамично натоварване са показани в Табл. 5.

	$c$ , [kPa]	$\varphi$ , [deg]	$\gamma$ , [kN/m <sup>3</sup> ]	$P_{p \text{ кр}}$ , [kPa]	$P_{p \text{ кр д}}$ , [kPa]
глина жълтокафява	26,42	18,74	20,3	144	103
глина синя	12,43	26,33	21,0	87	62

Определяне на максималната дълбочина на пластичните зони -  $Z_{\text{max}}$

Максималната дълбочина на разпространение на пластичните зони под ръбовете на товара се получава с уравнението:

$$z_{\text{max}} = \frac{p - \gamma \cdot t}{\pi \cdot \gamma} \left[ \cotg\varphi - \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) \right] - \frac{P_e}{\gamma} - t \quad (11)$$

където:

$p$  - специфичното натоварване от багера, [kPa]

$t = 0$ , [m]

$\varphi$  в малките скоби - [rad]

За да се получи максималната дълбочина на пластичните зони при динамичен товар, трябва да се умножи специфичното натоварване от багера ( $p$ ) с динамичен коефициент  $\eta_d = 1,4$ .

От направените изчисления е видно, че пластични зони под багерите няма да се образуват (максималната дълбочина на пластичните зони  $Z_{\text{max}}$  при статичен и динамичен товар = 0 m).

Допустимо натоварване -  $p_{1/4}$  (по СНиП 2.02.01 - 83)

При изследваното равномерно разпределено натоварване под ръбовете на веригите на багерите ще се образуват пластични зони с дълбочина  $z = 0,25 \cdot b$ , при наличие на които багерът може да работи в безаварийни експлоатационни условия.

$$p_{1/4} = \frac{\pi(0,25 \cdot \gamma \cdot t + c \cdot \cotg\varphi)}{\cotg\varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)} + \gamma \cdot t \quad (12)$$



Резултатите от изчисленията за максималната допустимите натоварване ( $p_{1/4}$ ) за статичен и динамичен товар са представени в Табл. 6.

Табл. 6

Багер	глина жълтокафява		глина синя	
	$p_{1/4}$	$p_{1/4}$ д	$p_{1/4}$	$p_{1/4}$ д
BRs 1400.37/50.1	170	121	138	98
SchRs2000.28/3.0+VR	174	124	145	103
SchRs2000.28/3.0	174	124	145	103
ERs710	172	123	141	101
SchRs1301.26/5.0	167	119	132	94
SchRs1200.20-24.12/4.0	167	119	132	94

*Изводи:*

1. За гарантиране на изпълнението на производствената програма на рудника е необходимо осигуряване на надежност (носимоспособност, експлоатационна годност и дълготрайност) на земната основа при експлоатационни и сеизмични (динамични) въздействия.
2. Физико-механичните и якостни показатели на изследваните две литоложките разновидности (глина жълтокафява и глина синя) са определени на база резултатите от лабораторен анализ на земни проби от сондажни проучвания.
3. От извършените изчисления и проверка за носещата способност на глините се установява, че в условията на работа в рудник „Трояново-3“ безаварийната експлоатация е възможна само при спазване на технологичната последователност, описана в паспортите за работа на ТМО.
4. От голямо значение за носещата способност на глините е тяхната влажност и структурна цялост. При увеличаването на влажността, особено съпътствано с нарушаване на целостта им, води до преминаване в мекопластична консистенция и рязко влошаване на якостните и деформационни свойства. Всички мерки, които могат да доведат до намаляването на водата в глините и на забоя, ще доведат до подобряване условията на работа на ТМО. Това изисква технологичните площадки, на които се провеждат минно-добивни мероприятия, да бъдат добре отводнени и дренирани.

*Използвана литература*

1. Георгиев, Г. и кол., 1981, Методическо ръководство за стабилитетни изчисления на работни, подсипвани и неподсипвани неработни бордове и откоси на насипищата на рудниците в Източномаришкия басейн
2. Иванов, И., П. Гечев, 1965, Върху устойчивостта на откосите в откритите рудници на Източномаришкия лигнитен басейн
3. Златанов, П., 1981, Опростен метод за построяване на потенциална повърхнина на плъзгане в еднороден откос
4. Фисенко, Г., 1965, Устойчивост бортов, карьеров и отвалов
5. Наредба № 1 от 1.09.1996 г. за проектиране на плоско фундиране, обн., ДВ, бр. 85 от 8.10.1996 г.
6. Алексиев А. и кол., 1989, Наръчник по земна механика и фундиране.