#### ISSN 0002-306X. ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. 2019. Հ. LXXII, N4.

### ԸՆԴԵՐՔՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ

### Լ.Ս. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

# ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՄԲ ԼԵՌՆԱԲԱՐՁՈՒՆՔԱՅԻՆ ԲԱՑԱՀԱՆՔԻ ԿՈՂԵՐՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Լեռնային պայմաններում շահագործվող բացահանքերը, ժամանակի ընթացքում խորանալով, վերածվում են լեռնաբարձունքախորքային բացահանքերի։ Այստեղ, ձեռնարկության անվտանգ շահագործմանը ներկայացվող այլ պահանջների հետ միասին, արդիական խնդիր է բացահանքի վերջին աստհձանից տարածվող լեռնալանջի՝ բացահանքի կողի լարվածային վիձակի վրա ազդեցության բացահայտումն ու գնահատումը։ Աշխատանքում մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդով կոնկրետ օրինակով ցույց է տրվել Քաջարանի բացահանքի կողի լեռնային զանգվածում՝ դիտարկված կետերում, լեռնալանջից լրացուցիչ ազդող ուղղաձիգ և հորիզոնական նորմալ ու շոշափող լարումների փոփոխությունը, կախված լեռնալանջի՝ հորիզոնի նկատմամբ ունեցած թեքությունից։

**Առանցքային բառեր.** լեռնային բացահանք, աստիձան, լեռնալանջ, թեքություն, կող, նորմալ և շոշափող լարում, մաթեմատիկական մոդելավորում։

Ներածություն։ Ժամանակակից պայմաններում լեռնային բացահանքերի մշակման բարձր ինտենսիվությունը և արագ խորացումը հանգեցնում է տարածության մեջ դրանց ձների տեսանելի փոփոխության։ Լեռնալանջի վրա կառուցված բացահանքը ժամանակի ընթացքում կարող է խորանալ տեղանքի իշխող հորիզոններից ներքև, վերածելով բացահանքը լեռնախորքային կամ լեռնաբարձունքախորքային տիպի [1]։ Հարթավայրային պայմաններում գտնվող հանքավայրերի համեմատությամբ՝ լեռնալանջերի վրա կառուցված բացահանքերի վերջին աստի-Ճանի վերին նիշից, որպես կանոն, շարունակվում է բնական լեռնալանջի տարածումը, ինչը բացահանքի կողերում առաջացնում է լրացուցիչ լարվածություններ։ Այդպիսի լեռնային բացահանքերի կողերի կայունությունը գնահատելիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև բացահանքի կողի վերջին աստիՃանից տարածվող բնական լեռնալանջի ազդեցությունը, ինչը զգալիորեն կախված է վերջինիս հորիզոնի նկատմամբ ունեցած թեքության անկյունից։

Ներկայումս գործող նորմատիվային փաստաթղթերում բացահանքերի կողերում լեռնային ապարների լարվածությունը գնահատվում է այնպես, ինչպես ընդունված է հարթավայրային բացահանքերի պայմաններում [2]։

Լեռնաբարձունքախորքային տիպի բացահանքի պայմաններում, որտեղ բացահանքի վերին եզրից տարածված են տարբեր կազմությամբ ինժեներաերկրաբանական տարրեր, անհրաժեշտ է, «լանջային էֆեկտով» պայմանավորված, կատարել լեռնային բացահանքի կողերի լարվածային վիձակի գնահատում։ Անհրաժեշտ է նշել, որ կախված բացահանքի կողի և լանջի թեքման անկյունների հարաբերակցությունից՝ սահմանային լարվածային վիձակ կարող է առաջանալ ինչպես բացահանքի կողի բարձրությամբ, այնպես էլ դրանից վերև տարածվող լանջի երկարությամբ [3]։ Դրա համար հնարավոր սահքի մակերևույթներով բացահանքի կողի կայունության պաշարի գործակցի հաշվարկները կատարելիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել ինչպես բացահանքի կողի, այնպես էլ վերջինիս վրա «նստած» լեռնալանջի լեռնային ապարային զանգվածների երկրատեխնիկական պայմաններն ու ազդեցությունը։

Լեռնաբարձունքախորքային տիպի բացահանքերի կողերի կայունության բարձրացման նպատակով մի շարք հեղինակների աշխատանքներում առաջարկվում է կատարել լրացուցիչ ծավալներով լեռնային զանգվածի հեռացում, ինչը ակտիվ Ճնշման պրիզմայի բեռնաթափման հետ մեկտեղ հնարավորություն է տալիս համատեղել բացահանքի կողի վերին եզրը բնական լեռնալանջի սկզբնական նիշի հետ։

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը։ Լեռնաբարձունքային բացահանքերի կողերի կայունության որոշման համար գոյություն ունեցող հաշվարկային սխեմաները քիչ արդյունավետ են։ Այլ հավասար պայմաններում այն պայմանավորված է բացահանքի ամբողջ կողով լեռնային ապարների լարվածային վիձակի սակավ ուսումնասիրություններով, ինչպես նաև կողի հնարավոր փլուզման պրիզմայով հաշվարկային և փաստացի պարամետրերի զգալի տարբերություններով։ Ներկայումս մի շարք հետազոտություններում բացահանքի կողերի պարամետրերի ձշգրտման նպատակով առաջարկվում է կատարել բացահանքի կողի լեռնային ապարային զանգվածի լարվածա-դեֆորմացիոն վիձակի գնահատում [4-10]։

Բացահանքերի ժայռային շեպերի դեֆորմացիաների գնահատման համար բնական պայմաններում կատարվող հետազոտություններն ունեն առավել կիրառական նշանակություն։ Ներկայումս լայնորեն կիրառվում են լեռնային զանգվածի լարվածային վիճակի գնահատումը Ճնշումների չափման սարքերով [11]։

Մի շարք խոր բացահանքերում ժայռային ապարների շեպերի մարման անկյունների որոշման համար բնական փորձարկումների արդյունքներով կատարվել են անալիտիկ հետազոտություններ, որոնց մեջ հաշվի են առնվել ժայռային ապարային զանգվածի լարվածա-դեֆորմացիոն վիճակի փոփոխությունները և Ճեղքերի մեջ գրունտային ջրերի Ճնշումը [12]։

Անհրաժեշտ է նշել, որ բացահանքի կողերի կայունության որոշման ներկայումս հայտնի մեթոդները հիմնված են հարթ խնդիրների լուծման վրա և վերջին 40 տարիների ընթացքում գործնականում չեն կատարելագործվել [13]։ Այս պայմաններում, հարթ խնդրի մեջ լարվածության երեք բաղադրիչների փոխարեն, հաշվի է առնվում միայն ուղղահայաց բաղադրիչը, ինչը բնութագրում է վերևում տեղադրված ապարների քաշը, որը հանգեցնում է բացահանքի կողի թեքության անկյան նվազեցմանը։

Ֆիզիկական մոդելավորման մեթոդներով բացահանքերի կողերում և լցակույտերի շեպերում լարվածության զարգացման գործընթացների ուսումնասիրությունները թույլ են տվել հաղթահարել զգալի դժվարություններ, պայմանավորված բնական պայմաններում ընթացող լեռնային ապարների զանգվածի դեֆորմացման գործընթացի բոլոր բաղադրիչ տարրերի փոփոխության անմիջական դիտարկման հետ։ Լեռնային երկրատեխնիկական շինությունների շեպերի լարվածային վիճակի գնահատման համար կիրառվող ֆիզիկական մոդելավորման մի շարք մեթոդներից առավել տարածված է բնեռաօպտիկական մեթոդը, որը հիմնված է ֆոտոառաձգականության օրենքների վրա։ Դրանք թույլ են տալիս լեռնային աշխատանքների կատարման ազդեցություններից որոշել լեռնային ապարների զանգվածում լարվածությունների տեղաբաշխման բնույթը և ստանալ լարվածության դաշտի որակական և քանակական գնահատականը, ինչը կարևոր նշանակություն ունի բացահանքերի շեպերի ռացիոնալ պարամետրերի որոշման հաշվարկային սխեմայի ընտրության համար։

Հայտնի է նաև բևեռաօպտիկական մեթոդի հետ համատեղ օգտագործվող թենզոչափական ցանցի միջոցով ստացված չափումների արդյունքների կիրառմամբ լեռնային երկրատեխնիկական շինությունների ֆիզիկական մոդելավորման եղանակը [14]։

Հետազոտության արդյունքները։ Մեր կողմից առաջարկվում է լեռնաբարձունքախորքային բացահանքերի կողերում լարվածությունների զարգացման և տեղաբաշխման հետազոտման խնդրի լուծումն իրականացնել մաթեմատիկական մոդելավորմամբ, օգտագործելով "*Geostudio 2018 R2*" ծրագրի վերջնական տարրերի մաթեմատիկական մեթոդը։ Ժամանակակից համակարգչային տեխնիկայի օգտագործումը նպաստել է ոչ գծային խնդիրների լուծման եղանակների արագ զարգացմանը, որոնք փաստորեն վերածվում են գծային խնդիրների բազմակի կրկնության։ Դա թույլ է տվել վերջնական տարրերի մեթոդը արդյունավետ կերպով կիրառել գրունտների և լեռնային ապարների մեխանիկայում։

Վերջնական տարրերի մեթոդի ժամանակակից ծրագրերը ներկայացնում են բազմաթիվ գործընթացների մաթեմատիկական մոդելավորում, որոնք ընթանում են բազմատեսակ մեխանիկական հատկություններ և բեռնման պայմաններ ունեցող գրունտներում [15, 16]։

Նշված խնդրի լուծումը հանգեցվում է լեռնաբարձունքախորքային բացահանքի կողում գտնվող կամայական վերցված A, B, C, D և E հինգ կետերում հորիզոնական (σ<sub>x</sub>), ուղղահայաց (σ<sub>y</sub>) և շոշափող (τ<sub>xy</sub>) լարումների մեծությունների որոշմանը՝ հաշվի առնելով լեռնային բացահանքի կողի վերջին հորիզոնի վերին նիշի վրա «նստած» լեռնալանջի լեռնային ապարների զանգվածի բաղադրիչի լրացուցիչ ազդեցությունը։ Այս խնդրի լուծման հիմնական տարբերությունը նախկինում կատարված հետազոտություններից այն է, որ լեռնաբարձունքախորքային բացահանքի կողի վրա կամայական վերցված A, B, C, D և E կետերը դիտարկվել են ոչ թե բացահանքի կողի մակերևութի վրա, այլ կողի ապարային զանգվածի մեջ՝ 50 մ քայլով, 50...250 մ խորություններում [L]։

Ստորև, «Զանգեզուրի ՊՄԿ» ՓԲԸ Քաջարանի բացահանքի օրինակով, որտեղ հարավ-արևմտյան կողի վերջին աստիձանից տարածվում է լեռնալանջը, մաթեմատիկական մոդելավորման վերջնական տարրերի մեթոդով կատարվել է բացահանքի կողի A, B, C, D և E կետերում լարվածային վիձակի գնահատում։

Ելակետային տվյալները բերված են աղ. 1- ում։

Աղյուսակ 1

25 in wan in Jpn	Ապարների բնութագրիչներ			
որբորուլունությո	տեսակարար	տեսակարար Պուասսոնի	դեֆորմացիայի	
սալասասպոլ	կշիոը, ρ <sub>ժ</sub> , <i>կՆ/վ</i> ³	գործակիցը, v	մոդուլը, E, <i>ՄՂա</i>	
Բացահանքի կողը	25	0,28	$1,42 \times 10^{4}$	
Լեոնալանջը	26	0,24	2,14× 10 <sup>4</sup>	

Հետազոտվող տեղամասերի ապարների բնութագրիչները

Բացահանքի հարավ-արևմտյան կողի սխեմատիկ տեսքը, երբ դրա վրա «նստած» լեռնալանջն ունի հորիզոնական դիրք, բերված է նկ. 1- ում։



Հաշվարկային տիրույթը. 1-ին տարբերակ, լանջի թեքության անկյունը 0º է. Վերջնական տարրերի ցանց. 29637 հանգույցներ; 29303 տարրեր

Նկ. 1. «Զանգեզուրի ЛՄԿ» ФАС բացահանքի հարավ-արևմտյան կողի լարվածային վիճակի գնահատման ելակետային տվյալներ

Բացահանքի կողի խորությամբ լեռնային զանգվածում ուղղահայաց (σ<sub>y</sub>), հորիզոնական (σ<sub>x</sub>) և շոշափող (τ<sub>xy</sub>) լարումների տարածման էպյուրները, երբ լեռնալանջն ունի հորիզոնական դիրք, ցույց են տրված նկ. 2 - ում։



ա) ապարներում Y առանցքով նորմալ լարումների  $\sigma_y$  (կ $\eta$ ա), իզագծերը



բ) ապարներում X առանցքով նորմալ լարումների б\* (կՂա), իզագծերը



q) ապարներում X, Y առանցքներով շոշափող լարումների т<sub>ху</sub> (կՊա), իզագծերը

Նկ. 2. Բացահանքի կողի տարբեր խորություններում «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում σ<sub>ν</sub>, σ<sub>x</sub> առանցքներով նորմալ և շոշափող τ<sub>xy</sub> լարումների տեղաբաշխման էպյուրները, երբ բացահանքի կողի վերին նիշից տարածվող լեռնալանջի թեքությունը հորիզոնի նկատմամբ θ<sup>0</sup> է Գլխավոր լարումների տեղաբաշխումը «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում հետազոտվող խորությունների վրա բերված է նկ. 3- ում։

Խնդրի նույն դրվածքով՝ "*Geostudio 2018 R2*", որոշվել են բացահանքի հարավ-արևմտյան կողի մեջ ըստ խորության դիտարկված «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում նորմալ և շոշափող լարումների մեծությունները՝ լեռնալանջի հորիզոնի նկատմամբ տեղադրման 15, 30 և 45<sup>°</sup> անկյունների դեպքում։



Ul. 3. 4] humin pupped to the pupped of the

Բացահանքի կողի խորությամբ լեռնային զանգվածում ուղղահայաց (σ<sub>y</sub>), հորիզոնական (σ<sub>x</sub>) և շոշափող (τ<sub>xy</sub>) լարումների էպյուրները, երբ լեռնալանջի թեքությունը հորիզոնի նկատմամբ կազմում է 30º, ցույց են տրված նկ. 4 - ում։

Գլխավոր լարումների տեղաբաշխումը «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում հետազոտվող խորություններում բերված է նկ. 5- ում։



ա) ապարներում Y առանցքով նորմալ լարումների 🗸 (կՊա), իզագծերը



բ) ապարներում X առանցքով նորմալ լարումների  $\sigma_x$  (կ $\mathfrak{I}$ ա), իզագծերը



q) ապարներում X, Y առանցքներով շո2ափող լարումների  $\tau_{xy}$  (կ $\mathfrak{I}$ ա), իզագ $\delta$ երը

Նկ. 4. Բացահանքի կողի տարբեր խորություններում «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում σ<sub>y</sub>, σ<sub>x</sub> առանցքներով նորմալ և շոշափող τ<sub>xy</sub> լարումների տեղաբաշխման էպյուրները, երբ բացահանքի կողի վերին նիշից տարածվող լեռնալանջի թեքությունը հորիզոնի նկատմամբ 30<sup>0</sup> է



Բացահանքի կողի վրա «նստած» ապարային լեռնալանջի հորիզոնի նկատմամբ թեքության բոլոր դիտարկված տարբերակներով «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում ուղղաձիգ և հորիզոնական ( $\sigma_v$  և  $\sigma_x$ ), ինչպես նաև շոշափող ուղղություններով  $\tau_{xy}$  լարումները բերված են, համապատասխանաբար, աղ. 2-4 –ում։

Աղյուսակ 2

Լեռնալանջի թեքության (α) տարբեր արժեքների դեպքում					
ուղղաձիգ լարումները, σ <sub>y</sub> , <i>կՊա</i>					
	Կետերը	$\alpha = 0^{\circ}$	$\alpha = 15^{\circ}$	$\alpha = 30^{\circ}$	$\alpha = 45^{\circ}$
	A(0, -50)	2233,7	2515,6	2698,0	2819,8
	B(0, -100)	3720,3	3981,5	4167,1	4303,4
	C(0, -150)	5133,9	5411,5	5607,4	5761,5
	D(0, -200)	6534,3	6832,2	7061,1	7233,5
	E(0, -250)	7915,1	8249,8	8507,9	8698,6

"А", "В", "С", "D" և "Е" կետերում ուղղաձիգ ուղղությամբ նորմալ լարումները

#### Աղյուսակ 3

Կետերը	$\alpha = 0^{\circ}$	$\alpha = 15^{\circ}$	$\alpha = 30^{\circ}$	$\alpha = 45^{\circ}$
A(0, -50)	1949,3	2615,5	3087,8	3340,3
B(0, -100)	2380,9	2930,4	3293,5	3509,9
C(0, -150)	2779,7	3233,7	3539,5	3729,3
D(0, -200)	3128,5	3480,1	3734,0	3894,2
E(0, -250)	3414,4	3665,0	3853,7	3978,9

"A", "B", "C", "D" և "E" կետերում հորիզոնական ուղղությամբ նորմալ լարումները Լեռնալանջի թեքության (α) տարբեր արժեքների դեպքում հորիզոնական

Աղյուսակ 4

"A", "B", "C", "D" և "E" կետերում շոշափող լարումները

լարումները, $\tau_{xy}$ , $\eta \eta u$				
Կետերը	$\alpha = 0^{\circ}$	$\alpha = 15^{\circ}$	$\alpha = 30^{\circ}$	$\alpha = 45^{\circ}$
A(0, -50)	816,76	1076,1	1244,0	1355,6
B(0, -100)	857,41	1122,6	1300,4	1418,3
C(0, -150)	900,87	1187,9	1382,9	1508,9
D(0, -200)	959,36	1271,7	1486,3	1621,8
E(0, -250)	1054,3	1390,4	1625,5	1773,1

Un. 2...4 – h տվյալներից երևում է, որ լեռնալանջի թեքության ( $\alpha$ ) մեծացմանը զուգընթաց՝ ապարային զանգվածում մեծանում են լարումները։ Համեմատությունը ցույց է տալիս, որ լեռնալանջի թեքության  $\alpha = 30^{\circ}$  և  $\alpha = 0^{\circ}$  և բացահանքի կողից 100  $\iota$  խորության դեպքերում ուղղաձիգ և հորիզոնական լարումները  $\sigma_v$  և  $\sigma_x$  մեծանում են, համապատասխանաբար, 12 և 38,3, իսկ շոշափող  $\tau_{xy}$  լարումները՝ 51,6 %- ով։

Բացահանքի հարավ-արևմտյան կողի մեջ ըստ խորության մաթեմատիկական մոդելավորմամբ ստացված արդյունքներով մշակվել են կախվածություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս դիտարկված «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում որոշել նորմալ և շոշափող լարումների մեծությունները, կախված լեռնալանջի՝ հորիզոնի նկատմամբ ունեցած թեքության անկյուններից ( $\alpha = 0...45^{0}$ ): Մշակված կախվածությունները ցույց են տրված նկ. 6-8- ում։



*Նկ. 6. Բացահանքի կողում ուղղաձիգ ուղղությամբ դիտարկված կետի (0,0)* կոորդինատներով անցնող նորմալ լարումների  $\sigma_v$  փոփոխությունը



Նկ. 7. Բացահանքի կողում ուղղաձիգ ուղղությամբ դիտարկված կետի (0,0) կոորդինատներով անցնող հորիզոնական նորմալ լարումների σ<sub>x</sub> փոփոխությունը



*Նկ. 8. Բացահանքի կողում ուղղաձիգ ուղղությամբ դիտարկված կետի (0,0)* կոորդինատներով անցնող  $\tau_{xy}$  շոշափող լարումների փոփոխությունը

#### Եզրակացություն.

1."*Geostudio 2018 R2*" ծրագրի վերջնական տարրերի մաթեմատիկական մոդելավորմամբ կատարվել է Քաջարանի բացահանքի հարավ-արևմտյան կողի ապարային զանգվածում վերցված կետերում լարվածային վիձակի փոփոխության գնահատում՝ կախված բացահանքի վերջին աստիձանից տարածվող լեռնալանջի՝ հորիզոնի նկատմամբ ունեցած թեքության անկյուններից։

2.Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ լեռնալանջի թեքության անկյան (*α*) մեծացմանը զուգընթաց բացահանքի կողի ապարային զանգվածում ուղղաձիգ և հորիզոնական ուղղությամբ նորմալ, ինչպես նաև շոշափող լարումները մեծանում են։

3.Մշակվել են գրաֆիկական կախվածություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս բացահանքի կողում դիտարկված «A», «B», «C», «D» և «E» կետերում որոշել նորմալ և շոշափող լարումների մեծությունները, կախված լեռնալանջի՝ հորիզոնի նկատմամբ ունեցած թեքության անկյուններից ( $\alpha = 0...45^{\circ}$ ):

### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- 1. Манукян Л.А. Разработка основ сооружения и безопасной эксплуатации отвалов и хвостохранилищ горнорудного производства: Дис. ...докт. техн. наук / НГИА.- Ереван, 2008.- 328 с.
- Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов, уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / ВНИМИ.- Л., 1972.- 162 с.
- 3. Галустьян Э.Л. Устойчивость бортов и отвалов нагорных карьеров // Горный журнал.- 1991. №8.- С. 27-31

- 4. **Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Ялымов Н.Г.** Проблемы проектирования и эксплуатации рудников в горных районах // Горный журнал. 2002. №10. С. 38 40.
- 5. Галустьян Э.Л. Управление устойчивостью бортов карьера при открытой и открыто-подземной разработке крутопадающих залежей // Горный журнал.-2003.- №6.- С. 35 – 38.
- 6. **Зобнин В.И., Бахарев Г.П., Малютин В.И.** Деформация бортов нагорных карьеров // Горный журнал.-1992.- №7.- С. 13-16.
- 7. Саркулов Т.С. Оценка устойчивости бортов карьера по данным натурных наблюдений // Горный журнал.- 2006.- №6.- С. 22-24.
- 8. **Яковлев В.Л., Бурыкин С.И., Ворошилов Г.А**. Проблемы освоения нагорных месторождений Полярного Урала // Горный журнал.- 2001.- №10.- С. 47 49.
- Song Weiding, Du Irahuna, Xia Zhengping, Ma Pengjiao. Stability analysis of the Daye worked out quarry board. Beijing Keji daxue xuebao //I Univ. Sci. and Technol. Beijing.- 2005.- №4.- P.385-389.
- 10. Yang Xue-giang, Stolled D.E.F. Cuo Pei-Jun. Two-dimensional and threedimensional stability asalyses under pressure on top surface of slope. // Liu Zu-de Yantu Gongcheng xuebao =Chin. I. Geotechn. Eng.- 2006.-28, №5.- P. 639-649.
- Методические особенности наблюдений за деформациями скальных откосов железорудных карьеров / В.Г. Зотеев, Н.А. Ворошилов, А.В. Мелихов, В.В. Якунин и др. //Новые методы и технические средства производства маркшейдерских работ: Матер. конф. маркшейдеров КМА (сентябрь 1975г.) / ВИОГЕМ.– Белгород, 1975.– С. 150-152.
- 12. Зотеев В.Г., Фролов А.Ф. Теория и практика устойчивости бортов карьеров и отвалов // Горный журнал.- 1987. №2.- С. 27-31.
- 13. Быковцев А.С., Беленко А.П., Сытенков В.Н. Определение рациональной формы борта глубоких карьеров // Горный журнал.- 1999.- №2.- С. 33-35.
- 14. Демин А.М., Шушкина О.И. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах. – М.: Недра, 1978. – 159 с.
- 15. Фадеев А.В. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.
- Beskos D.E. Boundary element methods in geomechanics // Boundary Elem. X. Southampton etc.- Berlin, 1988.- Vol. 4.-P. 3-28.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան։ Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.06.2019։

#### Л.С. БАЛАСАНЯН

# ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В БОРТАХ НАГОРНО-ГЛУБИННОГО КАРЬЕРА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С увеличением глубины эксплуатируемые в нагорных условиях карьеры с течением времени превращаются в карьеры нагорновысотно-глубинного типа. Наряду с другими требованиями, предъявляемыми к безопасной эксплуатации горного предприятия, актуальное значение имеет задача выявления и оценки влияния на напряженное состояние борта карьера склона горы распространенного выше последнего уступа карьера. В статье, в зависимости от наклона к горизонту склона горы, на конкретном примере в рассмотренных точках горного массива борта Каджаранского карьера методом математического моделирования показаны изменения вертикальных, горизонтальных и касательных напряжений.

*Ключевые слова:* нагорный карьер, уступ, склон горы, уклон, борт, нормальное и касательное напряжения, математическое моделирование.

### L.S. BALASANYAN

## ESTIMATING THE STRESSED STATE IN THE PIT EDGES OF OPEN PIT AND DEPTH MINES BY THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING

With an increase in the depth, mines that are exploited in the upland conditions turn into mines and deep-type mines over time. Here, along with other requirements imposed on the safe operation of a mining enterprise, the task of identifying and assessing the impact on the stress state of a pit's slope on a mountain slope prevalent above the last ledge of the pit is very revelant. In the article, depending on the slope of the mountain slope to the horizon, the changes in vertical, horizontal and tangential stresses on a concrete example are shown by mathematical modeling at the considered points in the ridge massif of the Kajaran quarry.

*Keywords:* highland quarry, ledge, mountainside, slope, side, normal and shear stress, mathematical modeling.