

Լ.Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Վ.Վ. ՀՈՎԱԿԻՄՅԱՆ

**ԲԱՑԱՀԱՆՔԻ ԿՈՂԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԲՆԱԿԱՆ ԼԵՌՆԱԼԱՆՋԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՑՆ ԲԱՐՁՐՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Բնական լեռնալանջով բեռնված «Զանգեզուրի ՊՄԿ» ՓԲԸ Քաջարանի բացահանքի հարավարևմտյան կողմի պայմաններում եռաչափ ֆիզիկական մոդելավորմամբ որոշվել է բացահանքի կողմի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջի առավելագույն բարձրությունը, որի սահմաններում գտնվող լեռնային ապարային զանգվածն ազդում է բացահանքի կողմի ապարների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի վրա:

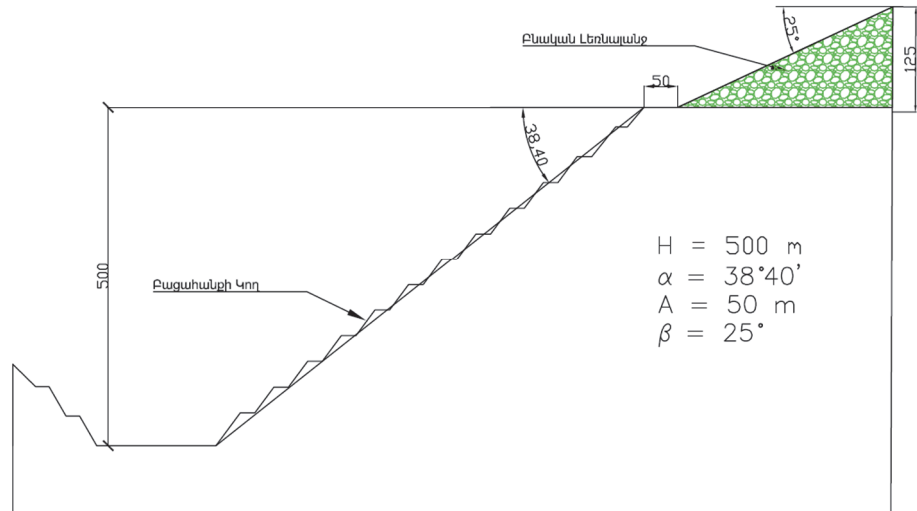
Խնդիրը լուծելու համար կիրառվել է մշակված եռաչափ մոդելավորման ստենդը՝ բաղկացած ստորին անշարժ և վերին շարժական պրիզմաներից: Ցույց է տրվել, որ դիտարկելով բացահանքի կողմը և դրանից վեր տարածվող բնական լեռնալանջը՝ որպես ապարային զանգվածի մեկ երկրամեխանիկական ամբողջություն, կայունության հաշվարկային ժամանակակից ծրագրով որոշվել է այդ երկրամեխանիկական ամբողջության հնարավոր սահքի մակերևույթը, որտեղ բացահանքի կողմը բնական լեռնալանջը հասնում է վերջինիս առավելագույն բարձրությունը բնորոշող մի կետում: Որոշվել է, որ բացահանքի վերին եզրից տարածվող լեռնալանջը իր ամբողջ բարձրությամբ չի ազդում բացահանքի ուսումնասիրվող կողմի ապարային զանգվածի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի և կայունության վրա:

Առանցքային բառեր. բնական լեռնալանջ, լեռնային բացահանք, բացահանքի կողմ, մոդել, տենզոսովիչ, պրիզմա, լարվածադեֆորմացիոն դաշտ:

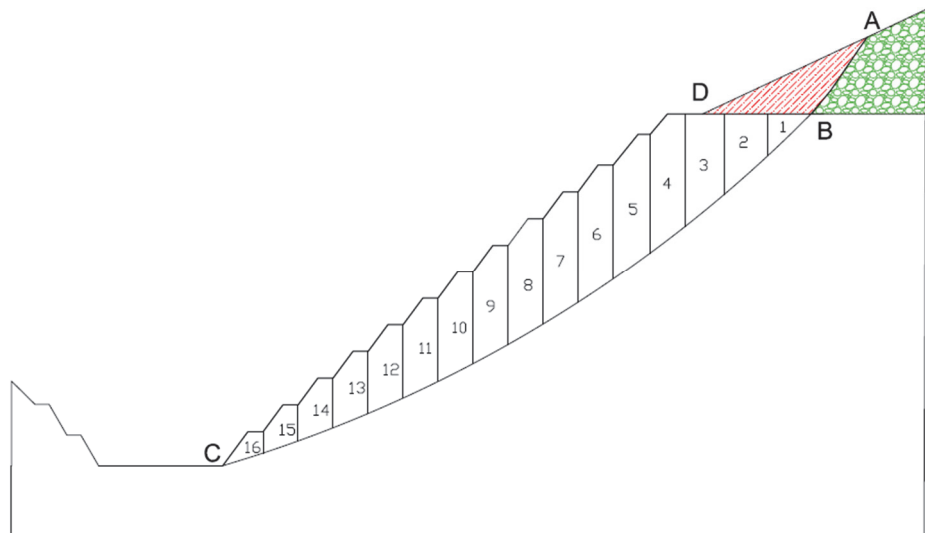
Ներածություն: Քաջարանի բացահանքի շուրջ 500 մ բարձրությամբ հարավարևմտյան կողմի վերջին աստիճանի վերին եզրագծից 50 մ հեռավորության վրա տարածվում է հորիզոնի նկատմամբ 25° թեքությամբ և 125 մ ընդհանուր բարձրությամբ բնական լեռնալանջը, ինչը ցույց է տրված նկ. 1-ում:

Բացահանքի կողմը և դրանից վեր տարածվող բնական լեռնալանջը դիտարկելով որպես ապարային զանգվածի մեկ երկրամեխանիկական ամբողջություն, կայունության հաշվարկային Geostudio ծրագրով որոշվել է վերջինիս հնարավոր սահքի մակերևույթը, ինչը բնական լեռնալանջը հասնում է վերջինիս առավելագույն բարձրությունը բնորոշող մի A կետում: Հնարավոր ABC սահքի մակերևույթից երևում է, որ բնական լեռնալանջը (նկ. 2՝ կանաչ գույնով տեղամասը) իր ամբողջ բարձրությամբ չի ազդում բացահանքի մերկացած կողմի կայունության վրա:

Բացահանքի մերկացած կողի կայունության վրա ազդում է միայն բացահանքի CD կողի վրա «նստած» և նրա լարվածադեֆորմացված վիճակի վրա ազդող բնական լեռնալանջից առանձնացված ABD եռանկյուն հիմքով պրիզմայաձև զանգվածը: Չափերը, համաձայն մոդելային հետազոտությունների կատարման համար ընտրված 1:500 մասշտաբի, կազմում են համապատասխանաբար 90 և 165 մ[1]:



Նկ. 1. Քաջարանի բացահանքի հարավարևմտյան կողի վրա «նստած» բնական լեռնալանջի փաստացի տեղադիրքը և երկրաչափական պարամետրերը



Նկ. 2. Բացահանքի կողի և լեռնալանջի ապարային երկրամեխանիկական զանգվածի հնարավոր սահքի մակերևույթի տեղադիրքը

ABC սահքի մակերևույթի կառուցման համար օգտագործվել է թեքությունների կայունության հաշվարկային Geostudio ծրագրային փաթեթի Մորգենշտերն-Փրայսի ժամանակակից տեսությունը, ինչը բավարարում է ստատիկայի հավասարակշռության բոլոր պայմաններին, հաշվի առնելով նաև թեքությունների կայունության հաշվարկային տարրական բլոկների միջև գոյություն ունեցող փոխադեցության շոշափող ուժերը [2]:

Մեթոդիկայի հիմնավորումը: Համաձայն ֆիզիկական մոդելավորման համար ընտրված երկրաչափական 1:500 մասշտաբի՝ նկ. 2-ում ցույց տրված եռանկյուն պրիզմայի ABD հիմքի չափերը մոդելում կազմում են, համապատասխանաբար, $AB = 0,18$, իսկ $BD = 0,33$ մ [3, 4]:

Հաշվարկների կատարման պարզության համար մոդելում ընդունելով պրիզմայի ABD հիմքը որպես ուղղանկյուն եռանկյուն, վերջինիս մակերեսը կկազմի.

$$S_{ABD}^{մոդել} = 0,18 \times \frac{0,33}{2} = 0,0297 \text{ մ}^2: \quad (1)$$

Մոդելում ABD եռանկյուն հիմքով և 1 մ բարձրությամբ պրիզմայի զանգվածը կլինի՝

$$V_{ABD}^{մոդել} = S_{ABD}^{մոդել} \times \gamma_{մոդել} \times l, \quad (2)$$

որտեղ $\gamma_{մոդել}$ – մոդելում ընտրված համարժեք նյութի ծավալային զանգվածն է, հավասար 1700 կգ/մ^3 [2, 3], l – մոդելում լեռնալանջի ABD եռանկյուն հիմքով պրիզմայի բարձրությունը, մ:

Բացահանքի կողի վրա ազդող բնական լեռնալանջի զանգվածը մոդելում ընդունելով որպես համարժեք նյութ, կլինի՝

$$V_{ABD}^{մոդել} = 0,0297 \times 1700 \times 1 = 50.5 \text{ կգ}: \quad (3)$$

Հետազոտության արդյունքները: Լեռնային բացահանքի կողի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի վրա կողի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջի ազդեցության ուսումնասիրման ծավալային ֆիզիկական մոդելային հետազոտություններում բացահանքի հարավարևմտյան կողի վրա ազդող բնական լեռնալանջի զանգվածի (3) արտահայտությամբ որոշված համարժեք նյութի քանակով բեռնվում է եռաչափ մոդելի վերին շարժական հիմնակմախքը:

Բացի Քաջարանի լեռնային բացահանքի հարավարևմտյան կողի վերջին աստիճանից վեր տարածվող բնական լեռնալանջի տարածման գոյություն ունեցող փաստացի երկրաչափական պայմաններից, մոդելավորման աշխատանքներում դիտարկվել են նաև լեռնալանջի տարածման տարբեր սցենարներ [4]: Փաստացի և դիտարկվող սցենարների համար բացահանքի կողի համարժեք նյութում մոդելային հետազոտություններով լարվածությունների գրանցման համար կատարվող աշխատանքների հերթականությունը հետևյալն է:

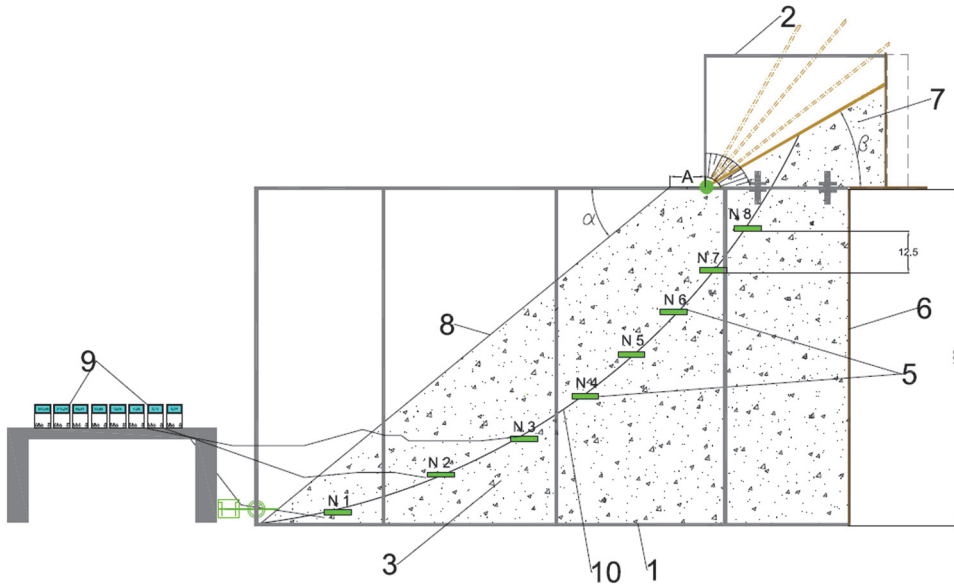
Եռաչափ ֆիզիկական մոդելային ստենդի ստորին անշարժ հիմնականախթում (1) համարժեք նյութից կառուցվում է բացահանքի հետազոտվող կողի մոդելը (8), ինչը ցույց է տրված նկ. 3-ի վրա և դրա վրա տեղադրվում է վերին շարժական պրիզման (2): Վերջինիս մեջ լցվում են բնական լեռնալանջի տարածման տարբեր երկրաչափական պարամետրերով սցենարների համար (3) արտահայտությամբ որոշված համարժեք նյութի զանգվածները (7): Յուրաքանչյուր սցենարի պայմանների դեպքում որպես մեկ երկրամեխանիկական մարմին ընդունված հետազոտվող կողի և լեռնալանջի հնարավոր փլուզման մակերևույթի երկայնքով (10) մոդելի ստորին հիմնականախթի (1) համարժեք նյութում (3) 12,5 սմ բարձրությամբ տեղադրվում են №1-8 տենզոսվիչները (5), ինչը ցույց է տրված նկ. 3-ում [3]: Վերևում նկարագրված մեթոդով դիտարկված բնական լեռնալանջի տարածման սցենարների համար ֆիզիկական մոդելավորման հետազոտություններով բացահանքի կողի մոդելային թեքությունում (8) տվիչներով գրանցվում են ստորին անշարժ և վերին շարժական պրիզմաներում լցված համարժեք նյութերի զանգվածներից առաջացող լարվածությունները:

Բացահանքի կողի վերին եզրից տարածվող տարբեր երկրաչափական պարամետրերով բնական լեռնալանջից բացահանքի կողի ապարներում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի մոդելային հետազոտություններով ուսումնասիրման արդյունքները բերված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

Մոդելային հետազոտությունների արդյունքները

Սցենարներ	Բացահանքի կողի վերին նիշից հաշված՝ լեռնալանջի տարածման հեռավորությունը, A, սմ	Լեռնալանջի թեքությունը՝ հորիզոնի նկատմամբ, <i>սստ.</i>	Լեռնալանջի դիտարկված հնարավոր բարձրությունը բացահանքում, սմ	Լեռնալանջի կողի վրա ազդող զանգվածը մոդելում, կգ	Լեռնալանջի՝ ազդեցության առավելագույն բարձրությունը մոդելում, սմ	Լեռնալանջի բացարձակ բարձրությունը մոդելում, սմ
1	0	10	56	23,0	7,3	9,9
2	25	15	72	29,6	10,6	14,4
3	50	20	97	43,2	15,4	19,4
4	75	25	125	50,5	18,0	25,0
5	10	30	155	64,5	23,0	31,0
6	150	35	188	80,2	28,6	37,6
7	150	38,4	212	93,1	33,2	42,4
8	150	45	268	121,8	43,4	53,6
9	150	50	318	159,8	57,0	63,6



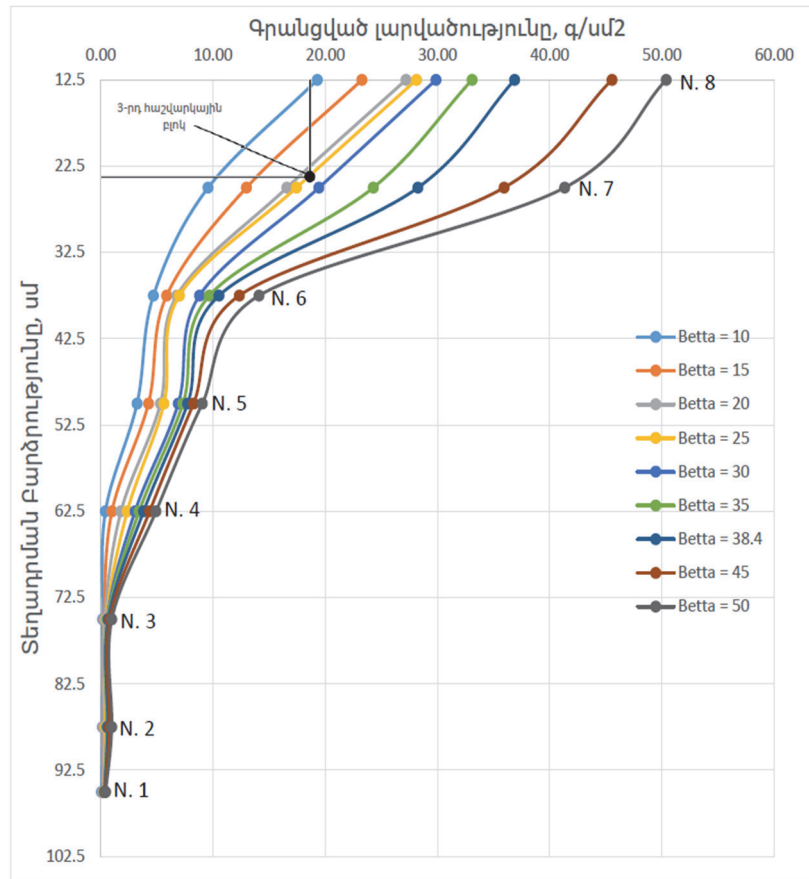
Նկ. 3. Բացահանքի կողի մոդելում սահքի մակերևութի երկայնքով տենզոտվիչների տեղադրման սխեման

Վերը նշված պայմանների դեպքում բացահանքի հարավարևմտյան կողի կայունության մոդելային հետազոտություններում մոդելի ստորին հիմնակմախքում $h = 12,5, 25, 37,5, 50, 62,5, 75, 87,5$ և 100 սմ խորություններում համարժեք նյութի մեջ տեղադրված տվիչներով կատարվել է մոդելի վերին հիմնակմախքում ձևավորված բնական լեռնալանջի զանգվածի ազդեցությունից մոդելում տեղադրված տվիչներով ուղղաձիգ լարվածությունների արժեքների գրանցում:

Նկ. 4-ում բերված են Քաջարանի բացահանքի հարավարևմտյան կողի վերին եզրից 50 սմ հեռավորությունից տարածվող բնական լեռնալանջի տարածման փաստացի և հորիզոնի նկատմամբ տարբեր թեքություններով անկյունների դեպքում ծավալային ֆիզիկական մոդելավորումից ստացված արդյունքները: Վերջիններս որոշվել են մոդելում տարբեր մակարդակների վրա տվիչներով գրանցված լարվածությունների արժեքների հիման վրա:

Մոդելի ստորին հիմնակմախքում տեղադրված տվիչներով գրանցված լարվածությունները σ_u որոշվում են տվիչների կողմից գրանցված մոդելի ստորին հիմնակմախքում բացահանքի կողի և վերին շարժական պրիզմայում լեռնալանջի համարժեք նյութերի զանգվածների գումարային արժեքների և բացահանքի կողի համարժեք նյութի զանգվածների տարբերության $(P_{h.p.} + P_{l.m.} - P_{h.p.})$ և տվիչների մակերեսի (S) հարաբերությունից [1].

$$\sigma_u = \frac{P_{h.p.} + P_{l.m.} - P_{h.p.}}{S} :$$



Նկ. 4. Քաջարանի բացահանքի հարավ-արևմտյան կողմի վերին նիշից 50 մ հեռավորությունից տարածվող բնական լեռնալանջի փաստացի թեքության և տարբեր անկյունների դեպքում սվիչներով գրանցված լարվածությունների բաշխվածությունը

Կատարված եռաչափ ֆիզիկական մոդելային հետազոտությունների հիման վրա բնական ABD լեռնալանջի ազդեցությունից Քաջարանի բացահանքի հարավ-արևմտյան կողմի կայունության որոշման համար մեր կողմից մշակված է նոր մեթոդ: Վերջինիս համաձայն՝ կողմի և փլուզման հարթության միջև պարփակված և հայտնի հաշվարկային մեթոդների կիրառման դեպքում բացահանքի կողմի տարրական բլոկների բաժանված զանգվածներին, ըստ խորության, գումարվում են ծավալային ֆիզիկական մոդելավորումից ստացված հետազոտությունների արդյունքները, որոնք հաշվի են առնում կողմի վերին նիշից տարածվող բնական լեռնալանջի ազդեցությունը [4]:

Աղ. 2-ում բերված են Քաջարանի բացահանքի հարավարևմտյան կողմի վերին եզրագծից 50 մ հեռավորությունից տարածվող և 25° թեքությամբ բնական

լեռնալանջի կայունության հաշվարկային պարամետրերը՝ համաձայն մշակված նոր մեթոդիկայի [4]:

Աղ. 2-ից երևում է, որ բացահանքի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջը միջկողային լեռնային ապարային զանգվածի վրա առաջացնում է լրացուցիչ բեռնվածքներ, և հետևաբար՝ հաշվարկային տարրական մի շարք բլոկներում ավելացնում է վերջիններիս զանգվածը: Ֆիզիկական մոդելավորումից ստացված տվյալների հիման վրա ցույց է տրվել, որ Քաջարանի բացահանքի հարավարևմտյան կողմի վրա բնական լեռնալանջի ազդեցությունը գործում է մինչև բացահանքի կողմի 240 մ խորությունը:

Աղյուսակ 2

Քաջարանի բացահանքի հարավարևմտյան կողմի վերին եզրագծից 50 մ հեռավորությունից տարածվող և 25⁰ թեքությամբ բնական լեռնալանջի կայունության հաշվարկային պարամետրերը

Բլոկի համարը	Բլոկի լայնությունը, a , $մ$	Բլոկի բարձրությունը, h , $մ$	Ծավալային զանգվածը, $Υ$, $տ/մ^3$	Բլոկի զանգվածը, P , $հազ. տ$	Բլոկի հիմքի թեքման անկյունը, $φ$, $սստ.$	$\sin φ$	Բլոկի հիմքում սահքի տանող ուժը, $T_{սահ.}$, $հազ. տ$	$\cos φ$	Բլոկի հիմքում սահքի պահող ուժը, N , $հազ. տ$
1	68,85	30,41	2,31	4,84 ^{+16²37}	45	0,70	3,39	0,70	3,39
2	54,95	87,4	2,31	11,09 ^{+12.75}	42	0,67	7,43	0,74	8,21
3	55,81	139,75	2,31	18,02 ^{+8.54}	40	0,64	11,53	0,76	13,69
4	49,54	179,16	2,31	20,50 ^{+2.96}	38	0,61	12,51	0,79	16,20
5	52,59	181,19	2,31	22,01 ^{+2.76}	36	0,58	12,77	0,81	17,83
6	49,95	176,92	2,31	20,41 ^{+2.29}	34	0,56	11,43	0,83	16,94
7	49,64	171,01	2,31	19,61 ^{+1.54}	32	0,53	10,39	0,85	16,67
8	49,71	163,19	2,31	18,74 ^{+0.92}	31	0,51	9,56	0,86	16,12
9	49,83	153,49	2,31	17,67 ⁺⁰	29	0,48	8,48	0,87	15,37
10	49,61	141,86	2,31	16,26 ⁺⁰	27	0,45	7,32	0,89	14,47
11	49,76	128,62	2,31	14,78 ⁺⁰	26	0,44	6,51	0,90	13,31
12	49,68	113,58	2,31	13,03 ⁺⁰	24	0,40	5,21	0,91	11,86
13	49,73	96,94	2,31	11,14 ⁺⁰	23	0,39	4,34	0,92	10,25
14	49,91	78,65	2,31	9,07 ⁺⁰	21	0,35	3,17	0,93	8,43
15	49,7	58,6	2,31	6,73 ⁺⁰	19	0,32	2,15	0,95	6,39
16	57,39	37,23	2,31	4,94 ⁺⁰	18	0,30	1,48	0,95	4,69

Եզրակացություններ.

1. Մշակվել է բացահանքի ապարային զանգվածի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի վրա ազդող բացահանքի կողի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջի առավելագույն բարձրության որոշման եղանակ՝ բացահանքի կողը և դրանից վեր տարածվող բնական լեռնալանջը դիտարկելով որպես ապարային զանգվածի երկրամեխանիկական մեկ ամբողջություն:

2. Մշակվել է տվյալների բանկ, որը հնարավորություն է տալիս լեռնալանջի տարբեր թեքությունների դեպքում համարժեք նյութում տեղադրված տվիչներով որոշել մոդելի ստորին հիմնականախքում լարվածությունների արժեքները: Տվիչների վրա միայն բնական լեռնալանջի ազդեցությունից լարվածությունները որոշելու համար մոդելի ստորին անշարժ հիմնականախքում և շարժական վերին պրիզմայում լցված համարժեք նյութի գումարային զանգվածից հանվում է ստորին հիմնականախքում լցված համարժեք նյութի զանգվածը՝ այն բաժանելով տվիչի մակերեսի վրա:

3. Ծավալային ֆիզիկական մոդելավորմամբ «Զանգեզուրի ՊՄԿ» ՓԲԸ Քաջարանի հարավարևմտյան կողի բարձրությամբ որոշվել են այն սահմանները, որտեղ լեռնալանջի ապարային զանգվածն ազդում է բացահանքի կողի ապարների լարվածադեֆորմացված վիճակի վրա: Ազդեցության սահմանները որոշվել են բացահանքի հարավարևմտյան կողի վերին նիշից վեր տարածվող լեռնալանջի տարբեր թեքություններով անկյունների և կողի վերին աստիճանից մինչև լեռնալանջի սկիզբը եղած հեռավորության դեպքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Հովակիմյան Վ.Վ.** Լեռնային բացահանքի տեկտոնական խզումներով թուլացած կողի կայունության երկրամեխանիկական հիմնավորումը. Սեղմագիր տ.գ.թ. ստենախոսության- Երևան. - 2023.- 25 էջ:
2. **Stacey T.R.** Stability of Rock Slopes In Mining and Civil Engineering Situations / CSIR Report ME 1202.- South Africa, 1973.- 217 p.
3. **Манукян Л.А., Баласанян Л.С.** Модельные исследования влияния размеров кусков пород и влажности на характеристики движения горной массы при перепуске по породоскатам//Сборник статей по материалам LII Международной н-т конференции “Инновационные подходы в современной науке”.- 2019.- 16 (52).- С. 38-41.
4. **Մանուկյան Լ.Ա., Հովակիմյան Վ.Վ.** Բնական լեռնալանջով բեռնված լեռնային բացահանքի կողում լարվածությունների գրանցման ֆիզիկական եռաչափ մոդելավորման ստենդի մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. սերիա.- Երևան, 2022. - Հ. LXXV, N 2.- Էջ. 230-238:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 27.12.2023:

Л.А. МАНУКЯН, В.В. ОВАКИМЯН

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ВЛИЯНИЯ
ЕСТЕСТВЕННОГО СКЛОНА ГОРЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТА
НАГОРНОГО КАРЬЕРА**

В условиях юго-западного борта Каджаранского карьера ЗАО “Зангезурский ММК”, нагруженного естественным склоном горы, трехосным физическим моделированием определена максимальная высота естественного склона горы, простирающегося от верхней бровки борта карьера, в пределах которого масса горных пород влияет на напряженно-деформированное состояние борта карьера.

С целью решения поставленной задачи использован трехмерный модельный стенд, состоящий из нижней неподвижной и верхней подвижной призм. На основе проведенных исследований, принимая борт карьера и простирающийся от верхней его бровки естественный склон как одно геомеханическое целое, с помощью современной расчетной программы расчета устойчивости определена возможная поверхность скольжения борта, пересекающая естественный склон в точке, характеризующей его максимальную высоту. Показано, что простирающийся от верхней бровки борта карьера естественный склон со своей полной высотой не влияет на напряженно-деформированное состояние и устойчивость исследованного борта карьера.

Ключевые слова: естественный склон, нагорный карьер, борт карьера, модель, тензодатчик, призма, напряженно-деформированное поле.

L.A. MANUKYAN, V.V. NOVAKIMYAN

**DETERMINING THE MAXIMUM HEIGHT OF IMPACT OF THE
NATURAL MOUNTAIN SLOPE ON THE STABILITY OF THE OPEN-PIT
WALL**

By implementing 3D physical modeling investigations, the maximum height of the non-exposed mountain slope extending over the last bench of the open-pit overall slope in loading conditions, as an example of the South-West wall of the Qajaran open-pit mine “Zangezur MMC” CJSC is considered, in which the extended rock masses affect the stress-strain state of the inter-wall rock mass.

The problem is solved by using the constructed 3D physical modeling stand consists of lower immobile and upper moveable prisms. By considering the open-pit wall and the non-exposed mountain rock mass as one geomechanical environment, assessing the critical slip surface by using the well-known stability analysis software, the maximum height of the mountain slope is determined. It is shown that the natural mountain slope, extending above the last bench of the open-pit wall does not impact on the stress-strain field, and hence the stability, of the inter-wall rock mass of its overall height.

Keywords: natural mountain slope, open-pit mine, open-pit wall, model, strain-gauge, stress-strain field.