

ԲՆԱԿԱՆ ԵՎ ԱՐՀԵՍՏԱԿԱՆ ԼԱՆՋԵՐ*

Պրոֆեսոր, ակադ. զիտ. դոկտոր Գեորգ ՏԵՐ-ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ**

ՌԵԶԵՄԵ: Լիսարոնում 1966 թ. կայացած ժալուային ապարների մեխանիկայի միջազգային հասարակության Առաջին կոնգրեսի ներկայացրած ընդհանուր զեկուցում, որը պարունակում է ժալուային ապարներում բնական և արհեստական լանջերի կայունության և ձևափոխության հարցի մասին գիտության այժմյան դրության ակնարկ և վեցերորդ թեմայով ներկայացած զեկուցումների վերլուծություն:

Ընդհանուր դիտողություններ

Բնական և արհեստական լանջերի հետ կապված պրոբլեմները գրավում են ժալուապարների և զրուտների մեխանիկայի մասնագետների աշխույժ հետաքրքրությունը: Հարկ չկա այստեղ բացատրելու դրա պատճառները: Շատ գիտնականներ և ինժեներներ, աշխարհի բոլոր երկրներում, հաճախ բախվում են այդ պրոբլեմի տարբեր ասպեկտների հետ:

Չնայած վերջին տասնամյակների ընթացքում շատ բան է արված այդ ուղղությամբ, բայց մենք դեռևս գտնվում ենք այն լեռան ստորոտին, որը պետք է մաղցենք:

Այս կոնգրեսին թեմայով ներկայացված էր 16 զեկույց, որոնք ստացվել էին ԱՄՆ-ից, Ավստրիայից, Բրազիլիայից, ԳԴՀ-ից, ԳՖՀ-ից, Իսրայելից, Հնդկաստանից, Պորտուգալիայից, ՍՍՀՄ-ից և Ֆրանսիայից: Այդ թեմայով լավագույնս հոգավածներ և զեկույցներ են հրապարակվել աշխարհի տարբեր երկրներում, որոնք նույնպես մասնակիորեն կբնարկվեն այստեղ:

Վերջին տարիներին լանջերի պրոբլեմի վերաբերյալ կարևոր զեկույցներ են ներկայացված խոշոր ֆորումներին՝ Գրուտների մեխանիկայի և հիմքաշինության միջազգային կոնգրեսներին (Փարիզ, 1961. Մոսկով, 1965), խոշոր ամբարտակների միջազգային կոնգրեսներին (Հոտմ, 1961. Էդինբուրգ, 1964) և ամենամյա Գեոմեխանիկայի սիմպոզիումներին Ջալցբուրգում:

* Լիսարոնում 1966 թ. կայացած ժալուային ապարների մեխանիկայի միջազգային հասարակության Առաջին կոնգրեսին ներկայացրած ընդհանուր զեկուցում (G. Ter-Stepanian. Natural and excavated slopes. Proceedings, First Congress, International Society for Rock Mechanics, Lisbon 1966, 3:426—442): Կոնգրեսի նիստերին ընդհանուր զեկույցողի բացակայության պատճառով, զեկույցումը կարգացվեց 1966 թ. սեպտեմբերի 28-ին ինժ. Էնրիկե Տամեցի (Մեքսիկա) կողմից: Հեղինակն հարգացվեց 1966 թ. սեպտեմբերի 28-ին ինժ. Էնրիկե Տամեցի (Մեքսիկա) կողմից: Հեղինակն հարգացվեց 1966 թ. սեպտեմբերի 28-ին ինժ. Էնրիկե Տամեցի (Մեքսիկա) կողմից: Հեղինակն հարգացվեց 1966 թ. սեպտեմբերի 28-ին ինժ. Էնրիկե Տամեցի (Մեքսիկա) կողմից:

** ՀՍՍՀ ԳԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի զեոմեխանիկայի բաժնի վարիչ:

Մեծ նշանակություն ունեցավ պրոֆ. Մյուլլերի (Müller, 1963a*) հիանալի մենագրության հրապարակումը, որտեղ տրված է ժայռապարների մեխանիկայի վերաբերյալ մեր գիտելիքների ներկա վիճակը: Լույս տեսած առաջին հատորում զգալի տեղ է հատկացված լանջերին վերաբերող բաժնին: ՍՍՀՄ-ում մեծ ուշադրություն է դարձվում լանջերի կայունության պրոբ-

լեմներին: Վերջին տասնամյակի ընթացքում հաջորդաբար հրատարակվել են այդ թեմայի վերաբերյալ երեք մենագրություններ, որոնց հեղինակներն են այդ թեմայի վերաբերյալ երեք մենագրություններ, որոնց հեղինակներն են պրոֆ. Մասլովը (Маслов, 1955), Մալյուշցկին (Малюшцкий, 1957) և, պրոֆ. Մասլովը (Маслов, 1955), Ֆիսենկոն (Фисенко, 1965): Այդ աշխատությունները վերջին ժամանակներս, Ֆիսենկոն (Фисенко, 1965): Այդ աշխատությունները սխառնամամուրված ձևով ընդգրկում են ժայռապարներում լանջերի կայունության համար անհրաժեշտ տեսական և գործնական տվյալներ: Պրոֆ. Մասլովի մենագրությունը հիմնավորված է հիդրոտեխնիկական շինարարու-

թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-

թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-

թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-

թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-
թյան բնագավառում ձեռք բերված փորձի վրա, իսկ մյուս երկու մենագրու-

փլվում են: Շատ դեպքերում լանջերի դանդաղ ձևափոխությունների փաստը կարող է որոշվել միայն մանրակրկիտ չափումներից հետո:

Լանջերի ձևափոխությունները տարբերվում են կառույցների ձևափոխություններից, քանի որ վերջիններս զլխավորապես լինում են առաձգական, ակրնիարթային և փոքր: Լանջերի ձևափոխությունները շատ դեպքերում ընթանում են դանդաղ հոսքի կամ սողքի ձևով, ժամանակի ընթացքում հասնելով զգալի մեծությունների: Լանջի ձևափոխությունն ամենից առաջ ռելոգիական խնդիր է: Դրա վրա ազդող զլխավոր գործոններն են լանջի մարմնի լարված վիճակը, ապառների ձևափոխման հատկությունները և ժամանակը: Այս խնդրին մոտեցման երկու ձևերը որոշ չափով կապված են միմյանց հետ, քանի որ շատ դեպքերում լանջերի դանդաղ ձևափոխությունները հանդիսանում են փուլումաներ նախորդող նախապատրաստական փուլերը (Терцаги, 1958): Վայոնի արհավիրքը ժայռային սողանքի էվոլյուցիայի առավել վառ օրինակներից մեկն է (Мюллер, 1967):

Կոնգրեսի կազմկոմիտեի առաջադրած դասակարգման համապատասխան այս թեմային վերաբերող հոգվածները բաժանվում են չորս խմբի՝ 1) լարումների բաշխումը, 2) լանջերի կայունությունը, 3) լանջերի ձևափոխությունը (վարքի դիտում), 4) լանջերի կայունացումը:

ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՇԽՈՒՄԸ

Ի հակադրություն ինժեներական մտածելակերպի սովորական ընթացքին, որտեղ կոնստրուկցիայի վերլուծությունը սկսվում է ուժերի բաշխումից, զրուստների մեխանիկայի կամ ժայռապարների մեխանիկայի մասնագետը, վերլուծելով լանջի պայմանները, գործնականապես ոչինչ չգիտի լանջի լարված վիճակի մասին: Նույնիսկ պարզագույն հարթ խնդրի՝ չբեռնավորված, մեկ թեք հորթությունից և դրան հարող երկու հորիզոնական հարթություններից կազմված լանջի և համասեռ առանձգական նյութի դեպքի համար լարումների բաշխման լուծումը այնքան էլ պարզ և մատչելի չէ, չնայած էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների կիրառումը հեշտացնում է այդ աշխատանքը: Շատ դեպքերում իրադրությունը համապատասխանում է բարդացված պրոֆիլ, երկրաբանական բարդ կառուցվածք և ճեղքվածքային ջրերի ճնշման ցանց ունեցող լանջի մարմնում լարված դրություն տարածական խնդրին: Առավել խճճված դեպքերում վերլուծությունը պետք է հաշվի առնի նաև հորիզոնական լարումների ռեգիոնալ դաշտը, հողահանման հետևանքով առաջացած մակածված լարումների ցանցը և այլն:

Պարզ է, որ ռեգիոնալ հորիզոնական լարումների բաշխումը երկրաբանորեն ժամանակակից վրաշարժերի շրջանում պետք է տարբերվի դիտվողից ռիֆտային հովիտների կազմավորման գոտիներում, որ ներկայումս զարգացող տնտիկլինալներում դա նույնը չէ ինչ սինկլինալներում, որ սյունաձև բաղալուսներում լանջերը տարբերվում են ապառների հորիզոնական շերտավորմամբ լանջերից և այլն:

Պրոֆ. Տերցագին (Терцаги, 1964a) վերլուծելով ժայռապարներում լարումների ճշգրիտ չափումների արդյունքները, որը կատարված էր Հաստի կողմից Շվեդիայի հանքերում, տվել է դրանց ընդհանրացված մեկնաբանումը: Մայրահեղ 1000 մետր խորություն վրա սահմանված են հորիզոնական լարում-

ների բարձր նշանակությունները, որոնք էապես գերազանցում են ժաժկող շերտերի ճնշմանը: Դա կարող է վերագրվել երկրագնդի կեղևի երկրաբանորեն ժամանակակից ծովանը՝ Սկանդինավիայում: Հավանական է, որ երկրագնդի կեղևի մեծ մասը գտնվում է շատ բարձր հորիզոնական սեղմման վիճակում և որ այդ լարման դաշտը կարող է դառնալ երկրաբանական և գեոֆիզիկական բազմաթիվ անբացատրելի երևույթների պատճառ (Хаст и Нильсон, 1967):

Պրոֆ. Ջենինգսը և Բլեկը (Jennings and Black, 1963) կատարել են հորիզոնական ռեգիոնալ լարումների դաշտի վերաբաշխման հետևանքով տեղի ունեցող մակածված լարումների մանրակրկիտ վերլուծություն: Այդ դաշտը մեծ ազդեցություն է գործում հանքերի մոտի լարումների ցանցի վրա: Աշխատության մեջ ցույց է տրված կողային մակածված լարումների ազդեցությունը լանջերի կայունության վրա: Դրան կարելի է ավելացնել այդ լարումների ակունհայտ ազդեցությունը լանջերի սողքի վրա:

Պրոֆ. Ֆիննը (Finn, 1966) ներկայացրել է արժեքավոր զեկույց լանջերի ստատիկ և դինամիկ լարումների մասին: Ցույց են տրված սկզբնական լարված վիճակի փոփոխությունները բեռնավորման կամ բեռնաթափման էքսկավացիայի կամ երկրաշարժերի ազդեցության հետևանքով: Չնայած ստացված լուծումները վերաբերվում են համասեռ իզոտրոպիկ նյութերին, էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների կիրառումը հնարավոր է դարձնում խնդրի հետագա բարդացմանը:

Դր. Ֆոլբերտը (Folberth, 1965) առաջարկեց ժայռային կառուցվածքը փոխարինել ուղղանկյուն բազմահարկ շինարարական ֆերմայով և վերլուծել այն էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների օգնությամբ: Ստացված ճիշդերը, որոնք գործում են ֆերմայի հանգույցներում, հետազայում վերափոխվում են օրթոգոնալ լարումների: Այդ մեթոդը թույլ է տալիս հետազոտել ժայռային բարդ կառուցվածքները:

Ժայռապառնների և գրունտների մեխանիկայի տարրեր պրոբլեմների մաթեմատիկական վերլուծության բարդության հետևանքով մոդելների վրա տարվող հետազոտությունները շարունակում են մնալ ուսումնասիրման լաչնորեն տարածված մեթոդներից մեկը:

Գրունտների մեխանիկայի տարրեր խնդիրների լուծման համար, բազմաթիվ գիտնականներ դիմել են մոդելների կիրառմանը: ՍՍՀՄ-ում այդ փորձերն սկսել են պրոֆ. Պակրովսկին՝ երեսնական թվականներին (Покровский, 1935):

Այս բնագավառում առաջատար տեղը պատկանում է Պորտուգալիայում Բաղաբացիական շինարարության ոլորտային լաբորատորիայում տարվող աշխատանքներին:

Ռոչան (Rocha, 1955, 1957) ձևակերպել է նմանության պայմանները գրունտների համար և ցույց է տվել գրունտների մեխանիկայի խնդիրների լուծման հնարավորությունը մոդելների վրա՝ տարրեր զեպերի համար: Մեթոդի հետագա զարգացումը հնարավորություն տվեց ուսումնասիրել վիճակն՝ ընդհուպ մինչև փլուզումը, սեյսմիկ գործողությունը և այլն (Rocha, 1965): Բաղաբացիական շինարարության ազդային լաբորատորիայում մոդելների վրա կատարված կարևորագույն փորձերը զխավորապես հիմնված են այդ տեսական հետազոտությունների վրա:

Մոդելավորման տեսության մեջ արժեքավոր ավանդ ներդրեց պրոֆ. Նազարովը (Назаров, 1965), որը հետազոտեց ձևափոխված կարծր մարմնի մեխանիկական նմանության պրոբլեմը, օգտագործելով զուտ ֆիզիկական պատկերացումները: Սկզբունքորեն սահմանված է ընդարձակ նմանությունը մեխանիկական վիճակի համար, ընդհուպ մինչև հոսքը, ճեղքվածքների առաջացումը և նույնիսկ ստատիկ և դինամիկ վիճակների խախտման հետևանքով փլուզումը: Այդ սպառիչ աշխատանքը կարող է տեսական լավ հիմք հանդիսանալ մոդելների վրա կատարվող փորձերի համար, այն պարունակում է նմանության պայմանների ընդարձակ բանաձևումը: Հեղինակը ներդնում է մեխանիկական նմանության հասկացողությունը վիճակագրական տեսակետով, այս դեպքում պետք է համեմատվեն ոչ թե բնօրինակի և մոդելի եզակի նմուշները, այլև բնօրինակների և մոդելների անսամբլները: Մեխանիկական նմանության պայմանների խախտումը վիճակագրական տեսակետից միշտ էլ հասցնում է մասշտաբային էֆեկտի: Բերվում են մոդելների համար նյութերի ընտրությանը և փորձերի կատարման տեխնիկային վերաբերվող որոշ նկատառումներ:

Պրոֆ. Շայրլաուերը (Scheiblaue, 1963) փորձեր է կատարել ժելատինե լանջերի մոդելների վրա, լանջի լարված վիճակը որոշվել է ձևափոխությունների և լարումների հարաբերակցության հիման վրա: Պարզվեց, որ շոշափող լարումները ամենամեծն են լանջի ստորին երրորդական մասում և որ գլխավոր բարձրանքից մեկը կարող է լինել ձգողը: Լանջի մարմինը պտտվում է որոշ բևեռային դոնայի շուրջը: Լանջին զուգահեռ ճաքերի սիստեմի դեպքում այդ դոնան տեղադրված է լինում ավելի խորը՝ համասեռ նյութի դեպքի համեմատությամբ: Այդ արդյունքներից մի բանիսը ավելի վաղ հաստատել էր Ստրոգանովը (Маслов, 1955):

ԼԱՆՁԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Լանջերի կայունությունը կարևոր պրոբլեմ է, որի հետ ստիպված գործ են ունենում լեռնային շրջաններում կառույցներ բարձրացնող ինժեներները: Գոյություն ունեն բազմաթիվ գործոններ, որոնք ուղղակի առնչվում են այդ պրոբլեմի հետ: Դրանցից շատերը ճիշտ չեն կարող որոշվել և քանակապես գնահատվել: Մի շարք ենթադրություններ, որոնց վրա հիմնված են մեր դատողությունները և հաշվարկները, դեդուկտիվ են և քիչ առնչություն ունեն իրականության հետ: Պրոֆ. Տերցագի (Терцаги, 19646) կարծիքը այն մասին, որ «նման հաշվարկներն ավելի շատ վնաս են պատճառում, քան օգուտ, քանի որ շեղում են նախագծողի ուշադրությունը անխուսափելի, սակայն մեր գիտելիքներում գործոնների կարևոր վրիպումներից, որոնք որոշում են լանջերի կայունությունը կարծր չհողմնահարված ապարներում» կարող են ծառայել, որպես նախազգուշացում այդ բնագավառում էնտուզիաստների համար:

Տեսական ունիվերսալ սխեմաները, որոնք կիրառելի են տարբեր դեպքերի համար, ունեն շատ փոքր, կամ ոչ մի արժեք, դրանք կարող են իրենց արտաքին տեսքով էֆեկտավոր լինել և պարունակել մեծ թվով մաթեմատիկական համոզիչ սիմվոլներ, սակայն դրանց արդյունավետությունը, իրրե գործնական կիրառման դեպք, հաճախ գերազնահատվում է: Զգալիորեն ավելի լավ և խոստումնալից են այն նկատառումները և դրույթները, որոնք հիմնված են կոնկրետ երկրաբանական առանձնահատկությունների, գետնաշրաքանական

ժայռաալերի տեղանացումը և հավաքումը կամ կայունացումը և որոշելը, թե սալերը որքանով են մոտ փլման: Պարզվեց, որ տանների վիճակում են 2—3 սանտիմետրանոց բացվածքներն ու ճեղքերը և որ շարժման վտանգավոր արագությունը օրում կազմում է մեկ միլիմետր: Ինչ վերաբերում է բարելավող միջոցառումներին, ապա բացի ժայռն անկայուն սալերի հավաքումից, որպես կայունացման լավագույն մեթոդ ընդունված է ցեմենտացման հետ խառսխումը հեղույսներով:

Պրոֆ. Մյուլլերը (Müller, 1962) տվել է լանջին զուգահեռ ճեղքերի առաջացման մեխանիզմի սպառիչ բացատրությունը. դա նկարագրված է նման ճեղքերի օրինակներով, որոնք վերաբերվում են այդ նույն Դեզ դետի (Իրան) կիրճին, որտեղ անց են կացվել վերևում նկարագրված դիտումները: Պրոֆ. Մյուլլերը ենթադրում է, որ ձևափոխված ժայռապարներում գահավեժ լանջերից ետ լարումների բաշխումը լանջի մակերևույթից որոշ հեռավորության վրա հասնում է առավելագույնին: Այստեղ տեղի է ունենում փլում կամ սողք, որոնց հետևանքով առաջանում են լանջին զուգահեռ ճեղքեր կամ համապատասխան մեծանում է պոտենցիալ ճեղքայնությունը:

Դր. Վիտկեն (Wittke, 1964, 1965) առաջարկեց հարթ ճեղքերի սխտեմով ժայռապարներում բեռնավորած և բեռնաթափած լանջերի կայունության հաշվարկի թվական մեթոդը. այդ հիմնված է վեկտորային վերլուծության վրա: Մեթոդը պարզ է, սակայն շատ ժամանակ է պահանջում: Այդ մեթոդը նախատեսված է էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների համար: Մեթոդի կիրառելիությունը լուսաբանված է օրինակներով:

Բրիոլին (Brioli, 1966) քննարկում է ժայռապարների սողանքները և անվտանգության պրոբլեմը սարալանջին տեղադրված քարհանքերի հանքախորշերի մշակման ժամանակ: Քննարկվում են քարհանքերի հանքախորշերի փլուզմանը նպաստող գործոններն այսինքն՝ հովտի նկատմամբ գահավեժ ճեղքերի ցանցը, ջրի ազդեցությունը, թեքության մեծացումը, տարածման անբարենպաստ փոփոխությունը և այլն: Հատուկ ուշադրություն է դարձվում ճեղքերի սխտեմի վերլուծությանը: Ենթահորիզոնական ճեղքերը սովորաբար առաջանում են շերտայնության կամ թերթայնության հետևանքով: Ենթաուղղաձիգ ճեղքերն ունեն մեծ նշանակություն: Լանջին զուգահեռ ձգվող նման ճեղքերի մի սերիա վերլուծել է Մյուլլերը (Müller, 1962): Քննարկվում է մյուս երկու սխտեմների դերը լանջերի կայունության գործում: Հեղինակը նկարագրում է պայթեցման աշխատանքների ազդեցությունը կայունության վրա և տալիս է քարհանքերի շահագործման գործնական հանձնարարությունները:

Դր. Դվորժակը (Dvořák, 1965) մի քանի օրինակներով ցույց է տվել պայթեցման աշխատանքների ազդեցությունը ժայռապարներում լանջերի կայունության վրա: Շեշտվում է անջատման հարթությունների և ապարների շերտավորման դերը: Տրվում են սեյսմիկ էֆեկտի հաշվարկման պարզ մեթոդներ:

Դր. Ֆյորստերը (Förster, 1966) ղեկույց էր ներկայացրել բաց հանքերում լանջերի հորիզոնական պրոյեկցիայի կորուստի ազդեցությունը նրանց կայունության վրա թեմայով: Այս պրոբլեմը կարծես հետաքրքրություն է ներկայացնում, քանի որ այդ ազդեցության մասին կան տարբեր կարծիքներ: Ընդունելով, որ պլանում կորագծային շեպերի սահեցումը տեղի է ունենում գլանաձև մակերևույթի երկայնքով, կամ հարթությամբ, բանաձևեր են դուրս բերված ճեղքի ղեպերի համար՝ երբ տեղի է ունենում պտտական սահեցումը և փլման

վերաբերող արձանական պատմության ընթացքում դրանք ենթարկվել են շատ բարձր քանակականների ծածկող ապարների բուշի աղդեցության տակ, որոնք հետագայում լվանալի են էրոզիայի հետևանքով: Այդ ապարները հաճախ լինում են բնականորեն զրկվածքներով:

Գերկոնսոլիդացված կավերում բնական լանջերի երկարատև կայունության պայմաններում արժեքավոր ավանդ ներդրեց պրոֆ. Սկեմպտոնը (1967), իր Մենկինյան շորերով դասախոսությամբ: Նա մտքից մնացորդային *R* գործոնի հասկացողությունը, որ ցույց է տալիս կավում սահնգման ընդհանուր մակերևութի այն մասը, ընդորի դիմադրությունը սահքին ընկնում է մինչև մնացորդային մեծությունը: *R* գործոնը մեծանում է հողմահարման աստիճանի հետևանքով զուգընթաց:

Պրոֆ. Հենկելը և Յուդբիրը (Henkel and Yudbir, 1966) ներկայացրել են ալբավոր շերտավոր ապարներում լանջերի կայունության շատ կարևոր հետազոտությունների արդյունքները: Այդ ապարները պատկանում են Սիվալիկ սիստեմին՝ Հնդկաստանում, Հիմալայների ստորոտներում: Սողանքի մեխանիզմի առանձնահատկությունները շատ համոզիչ կերպով բացատրվում են տեղագրության մեջ և տեղանքի երկրաբանությամբ, ինչպես նաև ստորգետնյա հոսանքի ալյումիններով, որոնք առաջացնում են ծակոտկենային ջրի բարձր լարում: Այդ հետազոտությունների արդյունքներից ամենակարևորը ներկայացնում է կավա-մեխանիկայի թերթաբարեկամ սահքի թուլացած գոտիների և ավազաբարեկամ ձգման թերթերի դերի ապացուցումը՝ ժամանակակից սողանքների առաջացմանը: Փլում առաջացնող գործոնների վերլուծության ժամանակ պարզվեց, որ սահքին դիմադրության անկյունը էր 18° -ի այն ժամանակ, երբ սահքին դիմադրության մնացորդային անկյունը մոտ 15° էր: Այստեղից հետևում է, որ այդ երկրում մնացորդային *R* գործոնը հզել է միավորից փոքր՝ սա լավ սահմանափակում է հողմահարված և ճեղքավոր գերկոնսոլիդացված կավերի հասարակություն:

ԼԱՆՁՆՐԻ ԶԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ

Վերջին տասնամյակի ընթացքում տարբեր երկրներում անցկացվեցին ալյումապարներում լանջերի դանդաղ ձևափոխությունների հետազոտություններ: Այդ պրոբլեմի ռահվիրաներ Ամպֆերերը և Շտինին նկարագրել են Վյուդպիսի ձևափոխությունների բազմաթիվ երևույթներ Ավստրիական Ալպերում (Stini, 1952): Շտինին այդ անվանել է Talzuschub, այսինքն սահքային հովիտը: Ուսումնասիրության վաղ փուլերում ընդունվում էր որ այդ մշտական ձևափոխությունները երբեք չեն վերջանում փլումով: Բայց երևույթներն ավելի ուշ ուսումնասիրեցին Զալցբուրգի շրջանակի մեջ գտնվող մի շարք գիտնականներ (պրոֆ. Մյուլլեր, պրոֆ. Վլար, Պախեր, պրոֆ. Վյուրաուեր), որոնք շատ բան ավելացրին այդ պրոբլեմը երկրաբանական ինժեներական տեսակետից պարզաբանելու համար: Այդ կապակցությամբ Թե հիշատակել զեպի հովիտը սահքի հետազոտությունները պրոֆ. Մյուլլերի ղեկավարությամբ (Müller, 1955): Վերջին ժամանակներս հավանական համարվում այդ երևույթի անցումը սահքի փուլին լանջի ստորոտի կործանումով (Müller, 1963b):

Այդ խոշոր մասշտաբային խորը տեղադրված ժայռերի սողանքների նշանակությունը շեշտել է պրոֆ. Տերցագին (Терцаги, 19646): Դրանց մեխանիզ-

մը դեռ պարզ չէ և հետագա հետազոտությունները պետք է լուրջ արժեքներ աշխատանքի վրա, որը հետաքրքիր է ինչպես տեսական, այնպես էլ գործնական տեսակետից:

Ժալապարներում առավել հետաքրքիր սողանքներից մեկը հետազոտել է պրոֆ. Լոմիջեն Զորագետի (Հայաստան) լանջին (Ломизе, 1945): Այստեղ մոտ 65 մետրանոց կոշտաշատ կուտակումը սողում է լանջն ի վայր՝ հոդմահարմոտ 3 սմ ված պելիտային տուֆերի թեք հարթության մոտ 15°, տարեկան մոտ 3 սմ արագությամբ: Ներկայումս ՍՍՀՄ-ում շարունակվում են լանջերի խորքային սողքի հետազոտությունները:

Պալշին և Տրժցինսկին (Пальшин и Тржцинский, 1963) նկարագրել են Սիրիոյում Անգարա գետի լանջերի խոշոր մասշտաբային դանդաղ ձևափոխությունները: Մի դեպքում լանջերը կազմված են օրդովիկյան ձեղքավոր ավազաքարերի և կրաքարերի հորիզոնական շերտերից: Ձեղքավորությունը զուգահեռ է լանջին: Կոշտ ծածկող բլուկները անջատվում են և տեղաշարժվում դեպի հովիտը, աստիճանաբար հետ դարձնելով իրենց գլխամասերը: Ձևափոխության արագությունը կազմում է տարեկան մոտ մեկ միլիմետր, ընդհանուր տեղաշարժումը հասել է 30 մետրի:

Պրոֆ. Զարուբան (Zaruba, 1956) համանման ձևափոխություններ է նկարագրել Օստրավայի մոտի (Չեխոսլովակիա) կավձալին մերգելավոր թերթաքարերում: Ձևափոխության նման տեսակ է հայտնաբերված Չեխոսլովակիայի Բեսկուդյան լեռներում հոսող Մորավսկա գետի ամբարտակի շինարարության վայրում, որտեղ խիստ ձեղքավոր կավձալին ավազաքարերը շարժվել են աստորագիր արգելիտային թերթաքարերով: Տարբեր երկրներից ինժեներական երկրաբանությանը վերաբերվող բազմաթիվ համանման դեպքեր են նկարագրված պրոֆեսորներ Զարուբայի և Մենցլի լավագույն մենագրությունում (Zaruba und Mencl, 1961):

Վերջերս դր. Բյերումը (Bjerrum, 1967) տվեց տարբեր երկրներում լանջերի սողքի դիտումների ամփոփագիրը իր Տերցագիյան երրորդ դասակարգումով: Այդ սպառիչ վերլուծությունը հաստատում է լանջերի սողքի լայն տարածվածությունը և ցույց է տալիս դրա ուսումնասիրության կարևորությունը:

Պրոֆ. Տեր-Ստեփանյանը (Тер-Степанян, 1964) բացատրում է դահավեժ անկումն ունեցող շերտերի գլխամասերի ծռման առաջացումը ցերեկային մակերևույթի մոտ սահմանային նշանակության համեմատությամբ սողքին մոբիլիզացված դիմադրության գործակցի բարձր արժեքներով. այդ ավելցուկը առաջացնում է սողքի երևույթը ապարներում: Այդ նույն պատճառով խորքում դահավեժ անկում ունեցող շերտերը դանդաղ ձևափոխման են ենթարկվում սահեցման պոտենցիալի մակերևույթի մոտ, ընդունելով S-ափերպ ձև:

Բոժուանը և Մարտենը (Beaujoint et Martin, 1966) բացատրելի հետաքրքիր տվյալներ են հաղորդում հարավային Ֆրանսիայում Իզեր գետի հովտի լանջի ստորոտի դանդաղ շարժումների մասին: Լանջի մարմինը կազմված է ավազաքարերից և ածխաբեր թերթաքարերից: Այդ ապարները սլահում են Մակոն-վեր հիդրոէլեկտրակայանի ճնշման խողովակաշարի նեցուկները: Լանջի ստորին մասը, որ համապատասխանում է նիշերի մոտ 400 մետր տարբերությանը առաջ է բերում լանջն ի վայր դանդաղ շարժում, որը, երկայնակի լարումներ է առաջացնում տուրբինային ջրատարում: Շարժումը տեղի է ունենում առա-

վերադարձնել թեթևության գծի երկայնքով: Մանրակրկիտ տարված չափումները ցույց տվին, որ տեղաշարժման արագությունը տատանվում է տարեկան 5-ից 15 միլիմետր ծավալով: Ուշագրավ է, որ ձևափոխությունները այստեղ չեն գրավում ամբողջ ուսումնասիրված լանջը, այլ միայն նրա ստորին մասը: Լանջի ձևափոխված մասի վերին բաժինը ստացել է զգալիանման ձև այն ժամանակ, երբ ստորին բաժինը արտափրկված է: Այս առանձնահատկությունները ապացուցում են ժայռային զանգվածների հոսքը, որը մենք կնկարագրենք իբրև լանջի ստորին մասում տեղայնացված պտտական խորքային սողը: Հետաքրքիր կլինի իմաստով, թե արդյոք այդ տեղայնացումը շունի* որևէ երկրաբանական հիմնավորում:

Ցիլինսկին (1969) մի շատ հետաքրքիր ղեկույց ներկայացրեց մի քանի տարածք լանջերի զանգված ձևափոխությունների մասին. դրանք լուսաբանված են Ջերոլի (Ավստրիա) լանջերի օրինակներով: Ֆլիս-նիդեր Գալմիդում և Պֆորշ-լինկում հայտնաբերված են ժայռապարների խոշոր զանգվածների զանգվածային արժանիքի պարզ արտահայտություններ. լանջերի երևան եկող ստորոտային մասերը մասնավորապես էրոզիայի են ենթարկված:

Հատուկ ուշադրության է արժանի Մատրայ-Գլունցերբերգի լանջը: Լանջը զարգացել է ֆլիտներից՝ շերտավորության շատ համասեռ ռեգիոնալ անկումով, որոնք ենթադրվում են լանջին: Լանջի վրա դիտվում են երկտեսակ ձևափոխություն՝ պտտական պլաստիկ ձևափոխություն և սահման հարթակային ձևափոխություն: Հոդվածի նկ. 3-ը լավ պատկերացում է տալիս դիտված երկտեսակների մասին*: Ձևափոխության վերահիշյալ երկու տեսակները հստակորեն տեղայնացված են լանջի մոտմնի լանակի հատվածքում: Հատվածքի ստորին մասը ցույց է տալիս աստիճանական S-ակերպ ծոցում, որը արտահայտվում է շերտավորության հորթությունների փոփոխվող թեթևությամբ, կղզում լանջի կողմը, իսկ հետո՝ ետ, ռեգիոնալ թեթևան կողմը: Հատվածքի վերին մասում սահման հարթությունները համաբերակցում են այդ ձևափոխությունների հետ:

Պատկերացվում է, որ լանջի մարմնի հատվածքի վերին մասը ունի կոշտ, արժր մարմնի հատկություններ, այնինչ ստորին մասը պլաստիկական է: Դրանք, անկասկած, տարբեր ժայռապարներ չեն, և ոչ էլ նույնիսկ միևնույն ժայռապարների տարբեր վիճակներ, այլ, պարզապես, տարբեր լարված վիճակների ենթարկված միևնույն ապարի տարբեր վարքեր: Գոյություն ունենալով լավ հայտնի փաստեր, որոնք հաստատում են ինչպես գրունտների, այնպես էլ ժայռապարների ալոպիսի վարքը:

Դիտված երևույթների բացատրության համար Ցիլինսկին ընդունում է, որ մամալի ձևափոխություններ, ոչ կատարյալ մածուցիկ հեղուկի կոնցեպցիան, որը պարզ հաստատումներ ունի սառույցի համար: Իբրև արտերևատիվ, նույնպիսի հետաքրքիր կարելի էր հանգել, օգտագործելով Բինհեմի մարմնի՝ այսինքն մալուցիկ-պլաստիկ կարծր մարմնի կոնցեպցիան:

Դր. Ֆելդը (Feld, 1966), հենվելով հիմքաշինության բնագավառում իր կայական փորձի և երկարատև գործունեության վրա, հաղորդում է փորվածքային ժայռապարների շարժման մի քանի հետաքրքիր դեպքեր, կապված

* Դր. Ցիլինսկու «Բարձր լանջերի ձևափոխությունների մասին» բովանդակալից հոդվածի վերին և ուսումնական թարգմանությունները տպագրվում է այս ժողովածուում. նկ. 3 տե՛ս էջ 152-157:

մայով մի բանի ղեկույցներ են ներկայացված Մեծ ամբարտակների միջադպարին կոնգրեսներին Հոռումում (1961) և էդինբուրգում (1964): Դրանցից մի բանիսը (Müller, 1961; Artola, 1961; Faivre et al., 1964; Aiken, 1964; Construction etc., 1964) պետք է հատկապես նշվեն: Կարող են հիշատակվել նաև այն հետադոտոթյունները, որոնք կատարվել են իրամգես I հիդրոկայանի շինարարության ժամանակ ՍՍՀՄ-ում (Эристов, 1945):

Լանջերի խարսխումը արդյունավետ է, թեպետ լանջերի կայունացման այդ մեթոդը բավականին լայն տարածում չունի: Այդ հարցի վերաբերյալ ներկայացված են երեք ղեկույցներ:

Պրոֆ. դա Կոստա Նունեսը (Nunes da Costa, 1966) տալիս է լանջերի կայունացման համար խարսխավորման կիրառման ուսանելի ակնարկը, հիմնված Բրազիլիայում ձեռք բերված փորձի վրա: Նկարագրվում են նախալարված խարսխանների կիրառման բազմաթիվ տեսակներ՝ լանջերի կայունացման ու այլ նպատակներով և բերվում են օրինակները: Հոդվածը համոզիչ կերպով ցույց է տալիս տվյալ մեթոդի առավելությունները ինչպես տեխնիկական, այնպես էլ տնտեսական տեսակետից: Քննարկվում է գրունտի ձևափոխության հետևանքով նախնական լարման թուլացման կարևոր պրոբլեմը. բերված թվական օրինակը ցույց է տալիս, որ լարման թուլացման վրա կորուստը կարող է հասնել 40 տոկոսի: Խոսվում է համապատասխան դեպքերում այդ կորուստի դեմ նախազգուշական միջոցառումների կիրառման ձեռնարկությունը:

Օլիվեյրա Նունեսը և Կալդեյրան (Nunes Oliveira and Caldeira, 1966) կարևոր նկատառումներ են ներկայացրել ժայռապարներում լանջերի կայունացման մասին: Նրանք տվյալներ են բերում ժայռապարներում լանջերի կայունության վրա տարբեր գործոնների ազդեցության և լանջերի քայքայումը կանխելու միջոցների՝ ցեմենտացման, ամրացման, խարսխման և այլնի մասին: Այդ տվյալները հիմնված են Պորտուգալիայում Դոուրո գետի միջազգային տեղամասում հիդրոէլեկտրակայանի շինարարության ժամանակ ձեռք բերված փորձի վրա: Զեկույցն ունի գործնական հանձնարարականներ ճաքավոր և հոդմահարված ապարներում լանջերի կայունացման համար:

Ռեդլինգերը և Դոդսոնը (Redlinger and Dodson, 1966) փոխառնակում են ջրանետի և հարող հիդրոտեխնիկական կառույցների փորվածքի պատերը կաղմող ուղղածիզ լանջերի կայունացման իրենց փորձը: 24 և 29 մետրերի միջև տատանվող փոփոխական բարձրություն ունեցող երկու պատերը խարսխային հեղույսների օգնությամբ ամրացված են հորիզոնական շերտավորություն ունեցող կրաքարերին: Հոդվածը ընդգրկում է քայքայման պոտենցիալ մակերևույթի վերլուծությունը՝ բեռնավորումների տարբեր դեպքերի համար: Գրաֆիկները ցույց են տալիս փոխհարաբերությունը խարսխանների հեռավորության և ցամաքուրդի արդյունավետության միջև՝ կայունության պաշարի տարբեր նշանակությունների և կցման տարբեր մեծությունների համար. նախագիծը հիմնված է կցման բացակայության ենթադրության վրա:

Գլխավոր ղեկուցողը շնորհավորում է բոլոր հեղինակներին՝ առավել հետաքրքիր պրոբլեմների ընտրության համար, որոնք կնպաստեն լանջերի վարքը ավելի լավ հասկանալուն: Նա նույնպես շնորհակալություն է հայտնում պրոֆ. էրիստովին՝ արժեքավոր դիտողությունների և սիրալիր աջակցության համար:

ԹԵՄԱՆԵՐ ԲԱՆԱՎԵՃԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Գոյութիւն ունեն լանջերի հետ կապված բազմաթիւ պրոբլեմներ, որոնք կարելի էր բանավեճի առարկա դարձնել այստեղ: Առավել հետաքրքրական են թվում հետևյալ թեմաները:

1. Լարումների բաշխումը ժայռապարներից կազմած լանջերում, ապարների տեսակի ազդեցութիւնը (համաձուլ, կապված կամ առանձին բոկներից կազմված). դեֆորմացիայի վերականգնված էներգիայի և մակածված լարումների հաշվառման հնարավորութիւնը, լարումների վերաբաշխումը սողքի հետևանքով և այլն:

2. Սողունութիւն պրոցեսի վերլուծութիւնը ժայռապարներում՝ ժամանակի հաշվառումով. սահեցման մակերևութի դիրքը ճաքավոր ապառներում, ճաքերի և տարէջքների դերը. քայքայման միաժամանակյա կամ զարգացող բնութիւնը:

3. Խոր տեղադրված սողանքների մեխանիզմը ժայռապարներում. դեպի հովիտը սողքի էվոլյուցիան, նրա սահեցման անցնելու պայմանները, այդ երևույթի ինժեներական և երկրաբանական նշանակութիւնը:

4. Ժայռապարներում լանջերի դանդաղ ձևափոխութիւնների դիտումների դերը սողունութիւն մեխանիզմի վերլուծութիւն համար. դիտման մեթոդների համեմատումը՝ ճշգրտութիւն և արդյունավետութիւն տեսանկյունից:

5. Լանջերի կայունացման աշխատանքների արդյունավետութիւնը, ստորգետնյա կառուցների, խարսխման, ցեմենտացման, ամրացման, ցամաքորդման և այլնի կիրառութիւնը:

ПРИРОДНЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ СКЛОНЫ*

Профессор, доктор технических наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНИАН**

Резюме. Обзор современного состояния знаний по вопросу об устойчивости и деформируемости природных и искусственных склонов в скальных породах, вместе с анализом докладов, представленных по шестой теме Первого конгресса Международного общества механики скальных пород в Лиссабоне в 1966 г.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Проблемы, связанные с природными и искусственными склонами, относятся к числу тех, которые привлекают живейшее внимание специалистов по механике скальных пород и по механике грунтов. Нет необходимости объяснять здесь причины этого. Многие ученые и инженеры постоянно сталкиваются с различными аспектами этой проблемы во всех частях мира.

* Генеральный доклад, представленный Первому конгрессу Международного общества по механике скальных пород в Лиссабоне в 1966 г. (G. Ter-Stepanian. Natural and excavated slopes. General report. Proceedings, First Congress, International Society for Rock Mechanics, Lisbon 1966, 3:426—442). Автор не участвовал в работах конгресса; поэтому 28 сентября 1966 г. доклад был зачитан инженером Энрике Тамет (Мексика). Автор пользуется настоящей возможностью выразить инженеры Тамет свою глубокую благодарность.

** Зав. отделом геомеханики Института геологических наук АН АрмССР.

Хотя в течение последних десятилетий было очень много сделано в этом направлении, мы все еще находимся почти у подножья горы, на которую нам предстоит вскарабкаться.

Настоящему конгрессу по теме было представлено 16 докладов, полученных из Австрии, Бразилии, ГДР, Израиля, Индии, Португалии, СССР, США, Франции и ФРГ. Много статей и докладов по этой теме было опубликовано в различных странах мира; они будут также частично рассмотрены.

Важные доклады по проблеме склонов были представлены в течение последних лет крупным форумам—международным конгрессам по механике грунтов и фундаментостроению (Париж, 1961; Монреаль, 1965), международным конгрессам по большим плотинам (Рим, 1961; Эдинбург, 1964) и ежегодным симпозиумам по геомеханике в Зальцбурге.

Большое значение имела публикация прекрасной монографии проф. Мюллера (Müller, 1963a*), в которой освещено современное состояние наших знаний по механике скальных пород. В уже изданном первом томе значительное место занимает отдел, посвященный склонам.

В СССР уделяется большое внимание проблемам устойчивости склонов. В течение последнего десятилетия были последовательно изданы три монографии по этой теме—проф. Маслова (1955), Малюшицкого (1957) и совсем недавно Фисенко (1965). Они содержат в систематизированном виде теоретические и практические данные, необходимые для анализа устойчивости склонов в скальных породах. Монография проф. Маслова основана на опыте, приобретенном на гидротехническом строительстве, тогда как остальные две отражают деятельность их авторов в горном деле.

Существует много проблем, связанных со склонами. Многие из них отражены в докладах, представленных настоящему конгрессу. Являются очевидными два подхода: один из них связан с устойчивостью склонов, другой—с деформируемостью склонов.

С практической точки зрения, конечно, кардинальной является проблема устойчивости склонов. Сооружения должны быть устойчивыми, и для достижения этой цели инженер должен оценивать устойчивость данного склона и определять результаты тех изменений, которые он готовится ввести. Устойчивость склонов—это прежде всего статическая задача. На нее влияет много факторов: геологические характеристики, выветривание, прочностные свойства, давление воды в трещинах, фильтрационное давление, взрывные работы и т. д.

Опыт показывает, что деление склонов на устойчивые и неустойчивые неточно, если учитывать фактор времени. Склоны, которые являются вполне устойчивыми в течение короткого времени, могут стать неустойчивыми по истечении длительного времени. Поэтому понятие устойчивости склонов неполное, и мы должны различать длительную

* Литературу см. на стр. 45—48.

и кратковременную устойчивость. Это имеет практическое значение, так как склон выемки железной дороги и откос открытой горной разработки ставят различные требования в отношении длительности их существования. Это позволяет приходить к более экономичным решениям для склонов, не рассчитанных на длительное существование.

Деформируемость склонов принадлежит к другой категории понятий. Многие склоны обнаруживают медленные деформации, хотя они и устойчивы. На таких склонах могут существовать инженерные сооружения: здания, дороги, каналы. Некоторые из них могут использоваться без всяких подозрений об их медленном смещении вниз по склону, в то время как другие требуют систематического ремонта или даже разрушаются. Во многих случаях факт медленных деформаций склонов может быть установлен только после тщательных измерений.

Деформации склонов отличаются от деформаций сооружений, так как последние являются главным образом упругими, мгновенными и очень малыми. Деформации склонов во многих случаях протекают медленно и представляют собой течение или ползучесть; они могут достигать со временем значительной величины. Деформация склонов—это прежде всего реологическая задача. Главными факторами, влияющими на нее, являются напряженное состояние тела склона, деформативные свойства пород и время. Эти два подхода к проблеме до некоторой степени связаны друг с другом, поскольку во многих случаях медленные деформации склонов являются подготовительной фазой, предшествующей обрушению (Терцаги, 1958). Трагедия в Вайоне является наиболее ярким примером эволюции скального оползня (Мюллер, 1967).

Статьи, относящиеся к этой теме, делятся на следующие четыре группы, в соответствии с классификацией, предложенной организационным комитетом конгресса: 1) распределение напряжений; 2) устойчивость склонов; 3) деформируемость склонов (наблюдение за поведением); 4) стабилизация склонов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ

В противоположность обычному ходу инженерного мышления, в котором анализ конструкции начинается с распределения усилий, специалист по механике грунтов или скальных пород, анализируя условия склона, практически ничего не знает о его напряженном состоянии. Даже для простейшей плоской задачи распределения напряжений в ненагруженном склоне, состоящем из одной наклонной плоскости и прилегающих к ней двух горизонтальных плоскостей, и для случая однородного упругого материала решение является далеко не простым и доступным, хотя применение электронных счетных машин облегчает эту работу. Во многих случаях ситуация соответствует пространственной задаче напряженного состояния в теле склона, имеющего усложненный профиль со сложным геологическим строением и сеткой давления трещинных вод. В более запутанных случаях анализ должен учитывать

также региональное поле горизонтальных напряжений, сетку наведенных напряжений, вызванных экскавацией и т. д.

Ясно, что распределение региональных горизонтальных напряжений в области геологически современных надвигов должно отличаться от наблюдающегося в зонах образования рифтовых долин, что в развивающихся в настоящее время антиклиналях оно не является таким же, как в синклиналях, что склоны в столбчатых базальтах отличаются от склонов с горизонтальным напластованием пород и т. д.

Проф. Терцаги (1964а) проанализировал результаты точных измерений напряжений в скальных породах, произведенных Хастом в рудниках в Швеции, и дал их обобщенную интерпретацию. Высокие значения горизонтальных напряжений, существенно превосходящих давление покрывающих пластов, были установлены на глубине по крайней мере 1000 м. Это может быть приписано геологически современному прогибанию земной коры в Скандинавии. Возможно, что большая часть земной коры находится в состоянии очень высокого горизонтального сжатия и что это поле напряжений может явиться причиной многих необъяснимых геологических и геофизических явлений (Хаст и Нильсон, 1967).

Проф. Дженнингс и Блек (Jennings and Black, 1963) произвели тщательный анализ наведенных напряжений, происшедших вследствие перераспределения поля региональных горизонтальных напряжений. Это поле оказывает большое влияние на сетку напряжений вблизи выработок. В работе показано влияние наведенных боковых напряжений на устойчивость склонов; к этому можно добавить очевидное влияние этих напряжений на ползучесть склонов.

Проф. Финн (Finn, 1966) представил ценный доклад о статических и динамических напряжениях в склонах. Показаны изменения в начальном напряженном состоянии вследствие нагружения и разгружения, экскавации или влияния землетрясений. Хотя полученные решения относятся к однородным изотропным материалам, применение электронных счетных машин делает возможным дальнейшее усложнение задачи.

Д-р Фольберт (Folberth, 1965) предложил заменить скальную структуру прямоугольной многоярусной строительной фермой и анализировать ее с помощью электронных счетных машин. Полученные усилия, действующие в узлах фермы, в дальнейшем преобразуются в ортогональные напряжения. Этот метод позволяет исследовать сложные скальные структуры.

Ввиду сложности математического анализа различных проблем механики скальных пород и грунтов, исследование на моделях продолжает оставаться одним из широко применяемых методов изучения.

Попытки решения различных задач механики грунтов применением моделей делались многими учеными. В СССР это было начато в тридцатых годах проф. Покровским (1935).

Ведущее место в этой области принадлежит работам, производимым в Португалии Национальной лабораторией гражданского строительства. Роша (Rocha, 1955, 1957) сформулировал условия подобия для грунтов и показал возможность решения задач механики грунтов на моделях для различных случаев. Дальнейшее развитие метода дало возможность изучать поведение вплоть до разрушения, сейсмическое действие и т. д. (Rocha, 1965). Выдающиеся опыты на моделях, произведенные в Национальной лаборатории гражданского строительства, основаны главным образом на этих теоретических исследованиях.

Крупный вклад в теорию моделирования был сделан проф. А. Г. Назаровым (1965), который исследовал проблему механического подобия твердых деформируемых тел, используя чисто физические представления. В принципе установлена возможность расширенного подобия механического состояния для широких пределов вплоть до течения, трещинообразования и даже общего разрушения вследствие статического и динамического нарушения. Эта исчерпывающая работа может служить хорошей теоретической базой для экспериментирования на моделях; она содержит широкие формулировки условий подобия. Автор вводит понятие о механическом подобии в статистическом смысле; в этом случае должны сравниваться не единичные образцы оригинала и модели, а ансамбли оригиналов и моделей. Нарушение условий механического подобия в статистическом смысле всегда ведет к масштабному эффекту. Приводятся соображения о выборе материалов для моделей и о технике экспериментирования.

Проф. Шайблауер (Scheiblaue, 1963) произвел опыты на желатиновых моделях склонов; напряженное состояние склона определялось на основе соотношения между деформациями и напряжениями. Было найдено, что касательные напряжения являются наибольшими в нижней трети склона и что одно из главных напряжений может быть растягивающим. Тело склона вращается вокруг некоторой полярной зоны. В случае системы трещин, направленных параллельно склону, эта зона располагается глубже, чем в случае однородного материала. Некоторые из этих результатов были установлены ранее Строгановым (Маслов, 1955).

УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНОВ

Устойчивость склонов представляет собой наиболее важную проблему, с которой приходится иметь дело инженеру, возводящему сооружения в горных районах. Существует множество факторов, которые имеют прямое отношение к этой проблеме. Многие из них не могут быть хорошо установлены и количественно оценены. Ряд допущений, на которых основаны наши суждения и расчеты устойчивости, являются дедуктивными и имеют мало общего с действительностью. Мнение проф. Терцаги (19646) о том, что «такие расчеты причиняют больше вреда, чем пользы, потому что они отвлекают внимание проектировщика от неиз-

бежных, но важных пробелов в нашем знании факторов, которые определяют устойчивость склонов в твердых неветрелых породах» может служить предостережением для энтузиастов в этой области.

Универсальные теоретические схемы, применимые для различных случаев, имеют очень малую или не имеют никакой ценности; они могут быть эффектными по своему внешнему виду и содержать большое количество убедительных математических символов, однако их эффективность, как орудие для практического приложения, часто переоценивается. Значительно лучшими и обещающими являются соображения и положения, основанные на результатах анализа конкретных геологических характеристик, гидрогеологических условий и истории напряжений, с установленными пределами их применимости.

Хорошее начало в этом направлении было дано проф. Терцаги (1964б) в его выдающейся статье об устойчивости крутых склонов в твердых неветрелых скальных породах. Проф. Терцаги исследовал устойчивость крутых склонов в следующих геологических условиях: неслоистые трещиноватые скальные породы, слоистые осадочные породы и раздробленные породы. Обсуждая факторы, определяющие степень устойчивости крутых склонов в таких породах, проф. Терцаги подчеркивает роль угла сопротивления сдвигу. Этот угол может быть легко установлен в результате соответствующей съемки трещин. В противоположность этому влияние эффективного сцепления значительно менее важно; поэтому не является большой неудачей то обстоятельство, что его определение практически недостижимо. Значительно более важным фактором устойчивости является гидростатическое давление, вызываемое водой, просачивающейся из водохранилищ и напорных туннелей. Внимание инженеров должно быть обращено на эту проблему, поскольку пренебрежение ею вызывало катастрофические повреждения крупных сооружений и, в частности, плотины Мальпасе. Статья содержит ценные замечания о глубоко залегающих скальных оползнях; мы коснемся их ниже.

Д-р Виттке и Луи (Wittke und Louis, 1966) исследовали проблему устойчивости склонов в трещиноватых породах, находящихся под влиянием явлений потока. Задача заключается в определении нормальных и касательных напряжений в скальных породах при воздействии на нее грунтовых вод, протекающих по двум системам открытых параллельных трещин. С математической стороны решения ясные. Даны выражения плавучести, касательных усилий и фильтрационного давления. Полученные результаты иллюстрированы несколькими примерами.

Различие между трещинами и сбросами в отношении механического поведения скальных масс было подчеркнуто Роша (Rocha, 1964); сбросы, которые уже претерпели перемещения, обнаруживают меньшее сопротивление скольжению вдоль их поверхности. Новая концепция коэффициента безопасности, введенная Роша, отражает соотношение между свойствами скальных пород, которые соответствуют обрушению, и теми свойствами, которые предполагаются в этих

породах. Если они определяются углом трения, то отношение соответствующих тангенсов является реальным коэффициентом безопасности. Эта концепция дает хорошую основу для оценки условий склона.

Додс (Dodds, 1966) исследовал устойчивость скальных плит вдоль разломов и открытых трещин на стенке крутого каньона реки Дез в юго-западном Иране. Породы представлены частично сцементированным конгломератом; вследствие снятия напряжений они разбиты трещинами, протягивающимися примерно параллельно склону. С помощью точного оборудования были проведены многочисленные измерения перемещений поперек трещин. Целью этих измерений были локализация и уборка или стабилизация угрожающих скальных плит и установление того, насколько близки к обрушению плиты. Было найдено, что могут быть терпимы щели примерно до 2—3 см и что опасная скорость движения составляет 1 мм в сутки. Что касается оздоровительных мероприятий, то, помимо уборки неустойчивых скальных плит, наилучшим методом стабилизации была признана система анкерования болтами с цементацией.

Проф. Мюллер (Müller, 1962) дал исчерпывающее объяснение механизма образования трещин, проходящих параллельно склону. Это было иллюстрировано на примерах подобных трещин, имеющих отношение к той же теснине реки Дез в Иране, в которой были проведены описанные выше наблюдения. Проф. Мюллер полагает, что распределение напряжений позади крутых склонов в деформированных скальных породах образует максимум на некотором расстоянии от поверхности склона. Здесь происходит обрушение или ползучесть, результатом которых является образование параллельных склону трещин или соответственно увеличение потенциальной трещиноватости.

Д-р Виттке (Wittke, 1964, 1965) предложил численный метод расчета устойчивости нагруженных и ненагруженных склонов в скальных породах с системой плоских трещин. Он основан на векторном анализе. Метод прост, но отнимает много времени. Он был программирован для электронной вычислительной машины. Применимость метода иллюстрирована на примерах.

Бриоли (Brioli, 1966) рассматривает оползни скальных пород и проблему безопасности при разработке забоев карьеров, расположенных на косогоре. Обсуждаются факторы, содействующие обрушению забоев карьеров: сетка трещин, крутопадающих к долине; действие воды; увеличение крутизны; неблагоприятное изменение простирания и т. д. Специальное внимание уделяется анализу системы трещин. Субгоризонтальные трещины обычно вызваны слоистостью или сланцеватостью. Субвертикальные трещины имеют большое значение. Одна серия таких трещин, протягивающаяся параллельно склону, была проанализирована проф. Мюллером (Müller, 1962). Обсуждается роль остальных двух систем в устойчивости склонов. Автор обрисовывает влияние взрывных работ на устойчивость и дает практические рекомендации для эксплуатации карьеров.

Д-р Дворжак (Dvořák, 1965) показал на нескольких примерах влияние взрывных работ на устойчивость склонов в скальных породах; подчеркивается роль плоскостей отдельностей и стратификации пород; предлагаются простые методы расчета сейсмического эффекта.

Д-р Фёрстер (Förster, 1966) представил доклад о влиянии кривизны горизонтальной проекции склонов в открытых выработках на их устойчивость. Эта проблема, кажется, представляет интерес вследствие существования различных мнений об этом влиянии. Учитывая, что оползание криволинейных откосов происходит или вдоль цилиндрической поверхности, или по плоскости, автор вывел формулы для двух случаев—когда имеет место вращательное скольжение и цилиндрическая поверхность обрушения проходит через подошву склона и когда скольжение прямолинейное вследствие наличия внизу слабого слоя с небольшим наклоном или без него. Расчеты показали, что если радиус кривизны горизонтальной проекции склона не меньше чем 500 м, то эта кривизна практически не оказывает влияния на устойчивость склонов.

Проф. Келлер (Keller, 1964) дает рекомендации для установления поперечного сечения неглубоких выемок в зависимости от свойств пород и соотношения между направлением дороги и простираанием.

Тектонические нарушения и выветривание влияют на сопротивление скальных пород и определяют устойчивость склонов. Поэтому представляет практический интерес оценка степени этих нарушений. Интересное приближение к этой проблеме содержится в двух докладах, представленных настоящему конгрессу.

Проф. Гольдштейн, Берман, Гусев, Тимофеева и Туровская (1967) сообщают об исследованиях устойчивости склонов в жестких трещиноватых флишевых породах. Влияние трещин исследовалось методом центробежного моделирования. Предложены основные расчетные схемы, описывается опыт применения сейсмического метода для оценки степени выветривания поверхностных слоев скалы. Определение среднего сопротивления сдвигу вдоль поверхности скольжения в флишевых породах представляет большой интерес; вычисления были произведены при назначении коэффициента безопасности равном единице. Показано, что полученное таким образом сопротивление сдвигу практически не отличается от величин, определенных на оползнях в глинистых грунтах. Авторы полагают, что оползни в скальных породах могут происходить только по поверхностям скольжения, проходящим через зоны тектонических нарушений.

Риве и Виньо (Rivet et Vignaud, 1966) разработали метод измерения на месте, позволяющий давать суждение об эволюции устойчивости скальных пород. Метод основан на измерении изменения скорости распространения упругих волн. Авторы полагают, что метод позволяет получить необходимую информацию для предупреждения нарушения устойчивости скальных пород.

Д-р Гербер и проф. Шайдегер (Gerber und Scheidegger, 1965) сделали попытку дать корреляцию отступления скальных поверхностей вследствие денудации с действием тектонического поля напряжений, которое определяет ориентацию плоскостей обрушения согласно теории Мора.

Поведение природных склонов, сложенных из переконсолидированных глин и глинистых сланцев, является сравнительно новой проблемой механики скальных пород. Эти породы являются твердыми и полутвердыми; в течение геологической истории они подвергались очень высоким давлениям под действием веса покрывающих пород, которые были в дальнейшем удалены эрозией. Эти породы часто являются трещиноватыми.

Важный вклад в проблему длительной устойчивости природных склонов в переуплотненных глинах был сделан проф. Скемптоном (1967) в его четвертой Ренкиновской лекции. Им было введено понятие остаточного фактора R показывающего часть общей поверхности скольжения в глинах, по которой сопротивление сдвигу падает до остаточного значения. Величина фактора R увеличивается с повышением степени выветривания.

Проф. Хенкель и Юдбир (Henkel and Yudhbir, 1966) представили результаты весьма ценных исследований устойчивости склонов в складчатых слоистых породах. Они принадлежат к системе Сивалик и расположены у низких подножий Гималаев в Индии. Особенности механизмов оползания с большой убедительностью объясняются топографией и геологией местности и условиями подземного потока, вызвавшего образование высокого давления поровой воды. Наиболее важным результатом этих исследований является доказательство роли ослабленных зон сдвига в глинистых сланцах и трещин растяжения в песчаниках на образование современных оползней. При анализе условий обрушения было установлено, что угол сопротивления сдвигу равнялся 18° , тогда как остаточный угол сопротивления сдвигу был около 15° . Отсюда следует, что в этом случае остаточный фактор R был менее единицы — фактор хорошо установленный для выветрелых и трещиноватых переконсолидированных глин.

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ СКЛОНОВ

В течение последнего десятилетия в различных странах были проведены исследования медленных деформаций склонов в скальных породах. Пионеры этой проблемы Амперер и Штини описали многочисленные проявления таких деформаций в Австрийских Альпах (Stini, 1952); последний назвал их сползанием в долину (Talzuschub). В ранних стадиях изучения принималось, что эти постоянные деформации никогда не переходят в обрушение. Эти явления были позже изучены несколькими учеными, входившими в Зальцбургский круг (проф. Мюллер, проф.

Мюллер, Пахер, проф. Шайблауер), которые добавили многое для выяснения геологических и инженерных аспектов этой проблемы. В этой связи следует вспомнить об исследованиях сползания в долину, проведенных проф. Мюллером (Müller, 1955) в Афганистане. В последнее время была допущена возможность перехода этого явления в фазу среза через обрушение подошвы склона (Müller, 1963b).

Значение этих глубоко залегающих крупномасштабных скальных оползней было подчеркнуто проф. Терцаги (1964b). Их механизм еще не ясен, и дальнейшие исследования должны пролить свет на это явление. Интересное как с теоретической, так и практической точек зрения.

Один из наиболее интересных оползней в скальных породах был исследован проф. Ломизе (1945) на склоне р. Дзорагет в Армении. Здесь лавинный навал мощностью около 65 м ползет вниз по склону по наклонной поверхности (около 15°) выветрелых пелитовых туфов со скоростью около 3 см в год. Исследования глубинной ползучести склонов СССР в настоящее время продолжаются.

Пальшин и Тржцинский (1963) описали крупномасштабные медленные деформации склонов реки Ангара в Сибири. В одном случае склоны состоят из горизонтальных слоев ордовикских трещиноватых песчаников и известняков. Трещиноватость параллельна склону. Жесткие покрывающие блоки отделяются и смещаются в долину, постепенно поворачивая назад свои головы; скорость деформации около 1 мм в год; общее смещение достигло 30 м.

Проф. Заруба (Záruba, 1956) описал аналогичные деформации в меловых мергелистых сланцах около Остравы в Чехословакии. Такой же тип деформации был обнаружен на месте постройки плотины на реке Моравска в Бескудских горах в Чехословакии, где сильно трещиноватые меловые песчаники сместились по подстилающим аргиллитовым сланцам. Много аналогичных случаев в различных странах описано в прекрасной монографии по инженерной геологии профессоров Заруба и Менцла (Záruba und Mencl, 1961).

Сводка наблюдений за ползучестью склонов в различных странах была в последнее время дана д-ром Бьеррумом (Bjerrum, 1967) в его вступительной Терцагинской лекции. Этот исчерпывающий анализ подтверждает широкое распространение явления ползучести склонов и показывает важность его изучения.

Проф. Тер-Степанян (1964) объясняет образование загиба голов крутопадающих пластов вблизи дневной поверхности высокими значениями коэффициента мобилизованного сопротивления сдвигу по сравнению с предельным значением; этот избыток вызывает явление ползучести пород. По той же причине крутопадающие пласты на глубине испытывают медленные деформации вблизи потенциальной поверхности скольжения, принимая S-образную форму.

Божуан и Мартен (Beaujoint et Martin, 1966) сообщают исключительно интересные данные о медленных движениях в нижней части склона долины реки Изер в южной Франции; тело склона состоит из

песчаников и угленосных сланцев. Эти породы поддерживают опоры напорного трубопровода гидроэлектростанции Мальковер. Нижняя часть склона, соответствующая разности отметок около 400 м, медленно движется вниз по склону, вызывая продольные напряжения в турбинах и водоводах. Движение происходит вдоль линии наибольшего уклона. Тщательные измерения показали, что скорость смещения колеблется между 5 и 8 мм в год. Заслуживает внимания, что деформации не затрагивают весь исследованный склон, а только его нижнюю часть. Верхний отдел деформированной части склона приобрел ложкообразную форму, тогда как нижний показал выпучивание. Эти особенности доказывают течение скальных масс, которое мы могли бы описать как вращательную глубинную ползучесть, локализованную в нижней части склона. Было бы интересно узнать, не имеет ли эта локализация какое-либо геологическое обоснование.

Цишински (1969) представил весьма интересный доклад о медленных деформациях нескольких высоких склонов; они иллюстрированы примерами склонов в Тироле (Австрия). В Флис-Нидер Галлмиге и Ифортвикеле обнаружены ясные проявления медленных движений крупных масс скальных пород; выступающие подошвенные части склонов частично эродированы. Склон в Маттрай-Глуцерберге заслуживает особого внимания. Он сложен филитами с весьма однородным региональным падением слоистости, субпараллельным склону. На склонах наблюдаются два типа деформации—вращательная пластическая деформация и плоскостная деформация сдвига. Рис. 3 статья дает хорошее представление о наблюдаемых явлениях*. Вышеупомянутые два типа деформации отчетливо локализованы в поперечном сечении тела склона. Нижняя часть сечения обнаруживает постепенное S-образное выгибание, которое проявляется в изменяющемся наклоне плоскостей слоистости вначале в сторону склона, а затем обратно в сторону регионального наклона. Плоскости сдвига в верхней части сечения коррелируют с этими деформациями.

Представляется, что верхняя часть сечения тела склона имеет свойства жесткого твердого тела, тогда как нижняя—пластического. Это, несомненно, не различные скальные породы, даже не различного состояния одних и тех же скальных пород, но попросту различные поведения одной и той же породы, подвергнутой различным напряженным состояниям. Имеется много хорошо известных факторов, подтверждающих такое поведение как грунтов, так и скальных пород.

Для объяснения наблюдаемых явлений Цишински принимает согласно Хефели, концепцию несовершенно вязкой жидкости, которая имеет ясные подтверждения для льда. В качестве альтернативы к такому же выводу можно было прийти, используя концепцию тела Бингем-ма, т. е. вязко-пластического твердого тела.

* Переводы этой содержательной статьи на русский и армянский языки помещены в настоящем сборнике; рис. 3 см. на стр. 152.

Д-р Фельд (Feld, 1966), основываясь на своем огромном опыте в области фундаментостроения, сообщает несколько интересных случаев движения скальных пород в выработках, связанных со снятием нагрузки. Эти примеры показывают, что породы, которые в природном состоянии выглядят как совершенно твердые и устойчивые, после того как произведена экскавация, обнаруживают длительные и опасные деформации. Так, склоны глубокой траншеи, открытой в известняках вблизи от Ниагарского водопада, показали смещение внутрь, а дно вспучилось; обе деформации измерялись сантиметрами. Главная причина этих деформаций заключается в восстановимой энергии деформации, которая накопилась в процессе консолидации в течение длительной геологической истории отложения и смогла быть высвобождена только после того, как была произведена экскавация.

Проф. Тер-Степанян (1967) сопоставил различные проявления медленных деформаций склонов в скальных породах. Некоторые из них могут рассматриваться как подготовительная фаза развития склонов, как, например, ползучесть плит; другие, кажется, представляют собою постоянные явления, как, например, ползучесть обнажений. Имеется много проявлений таких деформаций, описанных и обсужденных в литературе. Статья содержит не классификацию типов ползучести, которая кажется еще преждевременной, а систематизацию доступных данных. Дифференциация типов произведена по морфологическим признакам. Так, различаются плоскостные (поступательные), вращательные и генеральные типы ползучести, с дальнейшими подразделениями.

Проф. Цейтлен и д-р Коморник (Zeitlen and Komornik, 1966) представили результаты анализа фундаментов на склонах в зонах оползания. Рассматривается задача глубоких фундаментов, протыкающих ползучий выветрелый покров и передающих нагрузку подстилающим устойчивым скальным породам. Такие конструкции могут работать как подпорные сооружения, накапливающие перед собой оползающие массы, или как мостовые ледорезы, позволяющие этим массам их огибать. Статья содержит критический обзор факторов, определяющих устойчивость склонов и доступных методов их оценки.

Сделаны обоснованные допущения для установления расчетных давлений, оказываемых сползающими массами на конструкцию, противодействующую этим движениям: 1) что сцепление грунта равно нулю и что его поведение определяется применимостью кажущегося угла внутреннего трения, равного углу склона; 2) что длительная устойчивость склонов соответствует запасу прочности, равного, по крайней мере, двум по отношению к обрушению. Этим путем был разработан довольно простой метод определения расчетного давления ползучести. Предлагаемый метод иллюстрирован на нескольких примерах.

Проблема стабилизации склонов и стенок каньонов на месте постройки плотин была всегда в центре внимания геологов и инженеров, занимающихся гидротехническим строительством. Несколько докладов на эту тему было представлено международным конгрессам по большим плотинам в Риме (1961) и в Эдинбурге (1964). Некоторые из этих докладов должны быть особо отмечены (Müller, 1961; Artola, 1961; Faivre et al., 1964; Aiken, 1964; Construction etc., 1964). Могут быть также упомянуты исследования, проведенные в СССР при строительстве гидроэлектростанции ХрамГЭС I (Эристов, 1945).

Заанкерование склонов является эффективным, хотя еще недостаточно широко применяемым методом стабилизации склонов. По этому вопросу представлено три доклада.

Проф. да Коста Нунес (Nunes da Costa, 1966) дает поучительный обзор применения заанкерования для стабилизации склонов, основанный на опыте, приобретенном в Бразилии. Описываются многочисленные типы применения предварительно напряженных анкеров для стабилизации склонов и для других целей и приводятся примеры. Статья убедительно показывает преимущества метода как с технической, так и экономической точек зрения. Обсуждается важная проблема ослабления предварительного напряжения вследствие деформации грунта; приведенный численный пример показывает, что потеря на ослабление напряжения может достигнуть 40%. Представляется выгодным применение в соответствующих случаях предохранительных мероприятий против этой потери.

Оливейра Нунес и Кальдейра (Nunes Oliveira and Caldeira, 1966) представили важные соображения о стабилизации склонов в скальных породах. Они включают в себя данные о влиянии различных факторов на устойчивость склонов в скальных породах и о мерах по предупреждению их обрушения, как-то: цементация, закрепление, анкерование и т. д. Эти данные основаны на опыте, приобретенном при строительстве гидроэлектростанции на международном участке реки Доуро в Португалии. Доклад содержит практические рекомендации для стабилизации склонов в трещиноватых и выветрелых породах.

Редлингер и Додсон (Redlinger and Dodson, 1966) делятся своим опытом стабилизации вертикальных склонов, образующих стенки выемки для водосброса и примыкающих гидротехнических сооружений. Две бетонные стены с изменяющейся высотой, колеблющейся между 24 и 29 м, были закреплены с известняками, обладающими горизонтальной стратификацией, с помощью анкерных болтов. Статья содержит анализ потенциальной поверхности обрушения для различных случаев нагружения. Графики показывают соотношения между расстоянием между анкерами и эффективностью дренажа для различных значений запаса устойчивости и различных величин сцепления; проект основан на допущении отсутствия сцепления.

Генеральный докладчик поздравляет всех авторов с избранием наиболее интересных проблем, которые будут способствовать лучшему пониманию поведения склонов. Он также выражает свою благодарность проф. В. С. Эристову за ценные замечания и любезное содействие.

ТЕМЫ ДЛЯ ДИСКУССИИ

Существует много проблем, связанных со склонами, которые можно было бы здесь diskutieren. Следующие темы кажутся наиболее интересными.

1. Распределение напряжений в склонах в скальных породах, влияние типа пород (монолитные, состоящие из связанных блоков или из отдельных блоков); возможность учета восстановимой энергии деформаций и наведенных напряжений, перераспределения напряжений вследствие ползучести и т. д.

2. Анализ процесса оползания в скальных породах с учетом времени; положение поверхности скольжения в трещиноватых породах; роль трещин и сбросов; одновременный или прогрессирующий характер обрушения.

3. Механизм глубоко залегающих оползней в скальных породах; эволюция оползания в долину, условия ее перехода в скольжение, инженерное и геологическое значения этого явления.

4. Роль наблюдений за медленными деформациями склонов в скальных породах для анализа механизма их оползания; сравнение методов наблюдений с точки зрения точности и эффективности.

5. Эффективность мероприятий по стабилизации склонов применением подземных сооружений, анкерования, цементации, закрепления, дренажа и т. д.

NATURAL AND EXCAVATED SLOPES*

Professor, Dr. Tech. Sc. GEORGE TER-STEPANIAN**

Abstract. A review of the contemporary state of knowledge on the problem of stability and deformability of the natural and excavated slopes and an analysis of papers presented on the Theme VI of the First Congress of the International Society of Rock Mechanics held in Lisbon in 1966.

GENERAL REMARKS

Problems connected with natural and excavated slopes belong to those which attract the most lively attention of specialists in both rock and soil mechanics. There is no need to explain the reasons here. Many scientists and engineers deal daily with different aspects of the problem in all parts of the world.

Although very much has been done during the last decades in this direction, we are still not far from the foot of the mountain which we have to climb.

Sixteen papers have been presented to this Congress on this theme, coming from Austria, Brazil, Canada, Federal Republic of Germany, France, German Democratic Republic, India, Israel, Portugal, USA and USSR. Numerous papers and contributions have been published on this topic in different countries of the world; partly they will be touched upon too.

Important contributions to problems of slope were presented in recent years to big forums—International Conferences on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Paris 1961, Montreal 1965), International Congresses on Large Dams (Rome 1961, Edinburgh 1964) and annual Symposiums on Geomechanics in Salzburg.

The publication of the excellent monograph by Prof. Müller (1963a) is of a great significance. In this work the present state of our knowledge on rock mechanics is given. The part on slopes occupies a considerable place in the first volume, which has already appeared.

Great attention is paid to the problem of stability of slopes in the USSR. Three monographs were successively published on this topic during the last decade—by Prof. Maslov (Маслов, 1955), Mal'yushitskiy (Малюшицкий, 1957) and recently by Fisenko (Фисенко, 1965). They contain in a systematic form theoretical and practical data necessary for

* The General Report on theme „Natural and Excavated Slopes“ was presented to the First Congress of the International Society of Rock Mechanics, held in Lisbon in 1966 and published in the Proceedings of the Congress, vol. III, p. 426—442. Due to absence of the General Reporter on sessions of the Congress, the report was read by Mr. Enrique Tamez, C. E. (Mexico) on 29th September, 1966. The Author uses this opportunity to express his deep thanks to Mr. Tamez.

** Head, Dept. of Geomechanics, Geological Institute, Armenian Academy of Sciences.

analysis of stability of slopes on rocks. The monograph by Prof. Maslov is based on experience gained from hydrotechnical constructions while the other two reflect the activity of their authors in mining.

There are many problems connected with slopes. Most of them are reflected to a certain extent in papers presented to this Congress. Two general approaches are evident; one of them is connected with the stability and the other with the deformability of slopes.

The stability of slopes is certainly a cardinal problem from the practical point of view. The constructions must be stable and to achieve this end an engineer has to evaluate the stability of the given slope and estimate the results of changes he is going to introduce. The stability of slopes is first of all a statical problem. Many factors influence it—geological features, weathering, strength properties, cleft-water pressure, seepage pressure, blasting etc.

The experience shows that division of slopes into stable and unstable is not correct unless we forget the time. Slopes which are quite stable for a short time may be unstable after sufficient time has elapsed. Therefore, the concept of stability is incomplete and we have to distinguish long-term stability and short-term stability. It has practical significance, since a slope of railway cut and a slope of opencast mine have different demands on the duration of their stable state. This permits to come to more economic solutions for slopes which are not intended for long existence.

The deformability of slopes belongs to another category of conceptions. Many slopes reveal slow deformations although they are stable. Engineering constructions may exist on deformable slopes such as buildings, roads, canals. Some of them may be used without any suspicion on their slow movement downslopes, while others need systematic repairs or may even demolish. In many cases the fact of slow deformation of slopes may be detected only after elaborated measurements.

Deformations of slopes differ from those of constructions, since the latter are chiefly elastic, instantaneous, and very small. Deformations of slopes in many cases proceed slowly and represent flow or creep; they may reach a considerable magnitude with time. The deformability of slopes is first of all a rheological problem. The main factors which influence it are the stress state of the slope body, deformative properties of rocks, and the time.

These two approaches to the problem are somehow connected since in many cases the slow deformations of slopes are the preparatory phase preceding the failure (Terzaghi, 1950). The tragedy of Vajont is a most striking example of evolution of a rock slide (Müller, 1964).

The papers belonging to this Theme are divided into the following four groups, in accordance with the classification proposed by the Organizing Committee of the Congress: 1. Stress distribution; 2. Stability of slopes; 3. Deformability of slopes (observation of the behaviour); 4. Stabilization of slopes.

STRESS DISTRIBUTION

Contrary to the common way of engineering thinking, where the analysis of constructions starts from the distribution of forces, a specialist of both soil and rock mechanics when analyzing the conditions of a slope knows practically nothing about its stress state. Even for the simplest two-dimensional problem of stress distribution in an unloaded slope, consisting of one inclined plane adjoining to two horizontal planes, and in the case of homogeneous elastic material the solution is far from being simple and available. In many cases the situation corresponds to the three-dimensional problem of stress state in a slope body having complex profile with complicated geological structure and cleft-water pattern. The more intricate cases of analysis must involve the due regard for the regional horizontal stress field, pattern of induced stresses due to excavations etc.

It is clear that the distribution of the regional horizontal stress cannot be the same in geologically recent overthrust areas as in zones where rift valleys originate, in recently generated anticlines as in synclines, that slopes in columnar basalts differ from slopes in horizontally stratified rocks, etc.

Prof. Terzaghi (1962a) analyzed the results of precise measurements of stresses in rocks made by Hast in mines in Sweden and gave their general interpretation. High values of horizontal stresses considerably exceeding the overburden pressure were estimated within a depth of at least 1000 metres. This may be attributed to current or geological recent warping of the earth's crust in Scandinavia. Probably over most of the world the earth's crust is in a state of very great horizontal compression and this field of forces may be responsible for many unexplained geological and geophysical phenomena (Hast and Nilsson, 1964).

Prof. Jennings and Mr. Black (1963) made a thorough analysis of induced stresses resulting from the redistribution of the regional horizontal stress field. This field greatly affects the stress pattern in the vicinity of excavations. The effect of induced lateral stresses on the stability of slopes is shown; the obvious influence of these stresses on the creeping of slopes may be added.

Prof. Finn (1966) presented a valuable report on static and dynamic stresses in slopes. The change is shown in the initial stress state due to loading and unloading, excavation or influence of earthquakes. The solution obtained refers to homogeneous and isotropic material. Since the computer program was used much more complicated problems may be solved.

Dr. Folberth (1965) proposed to substitute the rock structure by an orthogonal multistoried structural frame and analyze it by means of electronic computers. The obtained forces acting in joints of the frame are then transformed into orthogonal stresses. The method permits to investigate complicated rock structures.

Owing to the difficulties of mathematical analysis of different problems in rock and soil mechanics, model investigations remain as one of the widely used means of research.

Attempts of solution of different problems of soil mechanics with the help of models were made by many scientists. In the USSR this was started in the thirties by Prof. Pokrovsky (Покровский, 1935).

A leading place in this field belongs to works done in Portugal at the Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Rocha (1955, 1957) has formulated the conditions of similarity for soils and shown the possibility of solving soil mechanics problems by means of models in different cases. Further development of the method made it possible to study the behaviour up to rupture, the seismic action, etc. (Rocha, 1965). The outstanding model tests on dams made at the Laboratório Nacional de Engenharia Civil are mostly based on these theoretical investigations.

An important contribution to the theory of models was made by Prof. Nazarov (Назаров, 1965), who investigated the problem of mechanical similarity of hard deformable bodies, using pure physical conceptions. The possibility of enlarged similarity of mechanical states is established in principle, for broad limits including yielding, crack formation and even total failure due to statical and dynamical loading. This comprehensive work will serve as a good theoretical basis for experiments on models; it contains a wide formulation of conditions of similarity. The Author introduces a conception of mechanical similarity in statistical sense; in this case it is not the single specimens of originals and models which are to be compared but ensembles of originals and models. The violation of conditions of mechanical similarity in statistical sense leads always to the scale effect. Considerations on the choice of material for models and on the technique of experiments are added.

Prof. Scheiblaue (1963) performed experiments on gelatine models of slopes; the stress state of the slope was determined on the basis of the stress-strain relationship. It was found that the shear stresses are the highest in the lower third of the slope and that one of the principal stresses can be tensile. The slope body rotates around some polar zone. In the case of a cleft system parallel to the slope this zone is located deeper than in the case of homogeneous material. Some of these results were established previously by Stroganov (Маслов, 1955).

STABILITY OF SLOPES

The stability of slopes is the most important problem which is encountered by every engineer dealing with construction in mountainous regions. There are many factors which bear a direct relation to this problem. Most of them cannot be well estimated and quantitatively considered. Many assumptions on which are based our judgements and stability computations are deductive and have little in common with reality. Prof. Terzaghi's (1962b) opinion that „such computations do more harm

than good because they divert the designer's attention from the inevitable but important gaps in his knowledge of the factors, which determine the stability of slopes on hard unweathered rocks" may serve as a warning for the enthusiasts in this field.

Universal theoretical schemes suitable for various cases have little or no value; they may be spectacular in appearance and bear a lot of convincing mathematical symbols but their effectiveness as tools for practical application is often overestimated. Far better and promising are considerations and statements based on results of analysis of particular geological features, hydrogeological conditions and stress history, with ascertained limits to their applicability.

A good start in this direction was given by the late Prof. Terzaghi (1962b) in his outstanding paper on the stability of steep slopes on hard unweathered rock. Prof. Terzaghi examined the stability of steep slopes in the following geological conditions: unstratified jointed rocks, stratified sedimentary rocks and faulted rocks. When discussing factors determining the degree of stability of steep slopes on such rocks, Prof. Terzaghi stressed the role of the angle of shearing resistance. This angle can be easily estimated as a result of corresponding joint survey. On the contrary the influence of effective cohesion is much less important; therefore it is not a great misfortune that its determination is presently unavailable. A far more important factor of stability is the hydrostatic pressure caused by water seeping from reservoirs and tunnels. The attention of engineers must be turned towards this problem, since its negligence has caused catastrophic damages on several big structures as for instance on Malpasset dam. The paper contains valuable remarks on deep-seated rock slides; we shall refer to them below.

Dr. Wittke and Mr. Louls (1966) investigated the problem of stability of slopes on fissured rocks influenced by the flow phenomenon. The problem consists in the determination of normal and shear stresses transmitted on rocks by ground water flowing through two systems of open parallel fissures and joints. The mathematical solution of the problem is sound. Expressions for the buoyancy, shear forces, and seepage pressure are given. Some examples illustrate the obtained results.

The difference between joints and faults in mechanical behaviour of rock masses was emphasized by Rocha (1964); faults having already undergone displacements show lower resistance to sliding along their surfaces. A new concept of factor of safety, introduced by Rocha, reflects the relationship between properties of rock masses which correspond to failure and those which are anticipated in these masses. If they are defined by the angle of friction, the ratio of corresponding tangents is the real factor of safety. This concept gives a good basis for evaluation of the slope conditions.

Mr. Dodds (1966) investigated the stability of rock slabs along fractures and open joints on the side of a steep canyon wall of the Dez river in Southwestern Iran. Rocks are partly cemented conglomerates;

They are fractured roughly parallel to the slope face, due to the stress relief. Numerous measurements of displacements across the fractures were made using precise equipment. The objective of these measurements was to locate and remove or stabilize all hazardous rock slabs, and to establish how near the rock slabs were to failure. It was found that the fractures and openings up to 2—3 centimetres may be tolerated and that the dangerous rate of movement was equal to 1 millimetre per day. As to the remedial measures, apart from the removal of unstable rock slabs, the bolting system with grouting was found as the superior method of stabilization.

Prof. Müller (1962) gives an explanation of the mechanism of formation of fissures stretching parallel to the slope; this was illustrated by examples of such fissures relevant to the same Dez river canyon in Iran, where the above-mentioned observations were made. Prof. Müller supposes that the stress distribution behind the steep slopes in deformable rocks forms a maximum at some distance from the slope face. Here rupture or creep proceeds which has as a result cracks parallel to the slope or increased potential fissuration, correspondingly.

Dr. Wittke (1964, 1965) proposed a numerical method of calculating the stability of loaded and unloaded slopes on rocks with systems of foliation joints; it is based on vector analysis. The method is simple but time consuming. It has been programmed for electronic computers. The applicability of the method is illustrated on examples.

Mr. Brioli (1966) deals with rock slides and security problems in the face of hill-side quarries. Factors assisting the failure of faces of quarries are discussed, such as joint pattern, dipping steeply towards the quarry; water action; increase of steepness; unfavourable alteration of strikes, etc. Special attention is given to analysis of systems of joints. Subhorizontal fissures are often due to the stratification or schistosity. Subvertical fissures are of great importance. One set of such fissures stretching parallel to the slope has been analyzed by Prof. Müller (1962). The role of other systems in the stability of slopes is discussed. The author outlines the influence of blasting on the stability and gives practical recommendations for the exploiting of quarries.

Dr. Dvořák (1965) has shown on several examples the influence of blasting on the stability of slopes in rocks; the role of joint planes and rock stratifications is stressed. Simple methods of calculation of seismic effect are given.

Dr. Förster (1966) presented a report on the influence of the curvature of the horizontal projection of slopes in open excavations on their stability. This problem seems to be of interest because of different opinions on this influence. Assuming that sliding of curved slopes proceeds either along a cylindrical surface or a plane, formulas are derived for two cases—when the sliding is rotatory and the cylindrical surface of rupture passes through the toe of the slope, and when the sliding is translatory due to the presence of a weak layer below with slight or no

inclination. The calculation shows that if the radius of curvature of the horizontal projection of the slope is no less than 500 metres, this curvature has practically no influence on the stability of the slope.

Prof. Keller (1964) gives recommendations for estimation of cross-section of shallow cuts depending on the properties of rocks and the relation between the directions of the road and the strike.

Tectonical disturbance and weathering affect the strength of rocks and determine the stability of slopes. Therefore the evaluation of the degree of this alteration is of practical interest. A good approach to this problem is outlined in two following papers presented to this Congress.

Prof. Goldstein, Berman, Goosev, Timofeyeva and Turovskaya (1966) report on investigations of stability of slopes on stiff fissure flysch rocks. The influence of fissures and joints was studied on models made from equivalent materials and then centrifuged. Principal design schemes are proposed. The experience of application of seismic method for the evaluation of the weathering degree of surface layers of rocks is described. The determination of average shearing strength along the sliding surfaces on flysch rocks is of great interest; the calculations were made assuming a factor of safety equal to the unity. It was shown that the shearing strength thus obtained does not differ practically from values determined on landslides in clayey soils. The Authors suppose that slides on rocks may occur only when the sliding surface passes through the zone of tectonic disturbance.

Messrs. Rivet and Vignaud (1966) have developed an in-situ measuring method concerning the evolution of the stability of rocks. This method is based on measurement of alteration of elastic wave propagation rate. The Authors claim that the method permits to get the information necessary for the prevention of the disturbance of the stability of rock.

Dr. Gerber and Prof. Scheidegger (1965) have correlated the recession of rock walls due to denudation with the action of tectonic stress field, which determines the orientation of fracture planes, according to Mohr's theory.

The behaviour of natural slopes consisting of over-consolidated clays and clay-shales is a relatively new problem of rock mechanics. These rocks are solid or semisolid; they have been subjected to very high pressures during their geological history due to the depth of overburden being subsequently removed by erosion. These rocks are often fissured and jointed.

An important contribution to the problem of long-term stability of natural slopes in over-consolidated clays was made by Prof. Skempton (1964) in his Fourth Rankine Lecture. The conception of residual factor R , introduced by Prof. Skempton shows the proportion of the total shear strength on the failure surface in the clay along which its strength has fallen to the residual

value. The magnitude of this factor increases with the increase of the degree of weathering.

Prof. Henkel and Mr. Yudhbir (1966) presented results of very valuable investigations on the stability of slopes in folded stratified rocks. They belong to the Siwalik System in the low foothills of the Himalaya in India. The peculiarities of the mechanism of slides are explained with great cogency by the topography and geology of the site and conditions of ground water flow, which originated high pore water pressures. The most important issue of these investigations is the demonstration of the role in recent landslides, of weak shear zones in clay-shales and of tension cracks in sandstones. When analysing the conditions of failure it was estimated that the angle of shearing resistance was equal to 18° , while the residual angle of shearing resistance was about 15° . It follows that in this case the residual factor R was less than the unity—a fact well established for weathered and fissured over-consolidated clays.

DEFORMABILITY OF SLOPES

Investigations of slow deformation of slopes on rocks were conducted during the last decades in several countries. The pioneers of this problem, Ampferer and Stini, have described many evidences of such displacements in Austrian Alps; the later has named them Talzuschub (creep toward the valley). In the earlier stages of study it was admitted that this continuous deformation never transits into failure. These phenomena were later studied by several scientists joined in the Salzburg Circle (Prof. Müller, Prof. Clar, Mr. Pacher, Prof. Schelblauer) who added much for the elucidation of the geological and engineering aspects of this problem. Investigations of creep toward the valley, made by Prof. Müller (1955) in Afghanistan may be remembered in this connection. The possibility of transition of this phenomenon into the shear phase through failure on the toe was admitted recently (Müller, 1963b).

The significance of these deep-seated, large-scale rock slides was stressed by Prof. Terzaghi (1962b). Their mechanism is not yet clear and further investigations must throw light on this phenomenon, which is interesting from both theoretical and practical points of view.

One of the most interesting rock slides was investigated by Prof. Lomize (Ломизе, 1945) on the slope of the Dzoraget river in Armenia. Here the rock debris with a thickness of about 65 metres creeps down the slope along an inclined surface (about 15°) of weathered pelitic tuffs at the rate of about 3 centimetres per year. The investigation of depth creep of slopes is recently in progress in the USSR.

Palshin and Trzhtsinski (Пальшин и Тржцинский, 1963) have described large-scale slow deformations of slopes of the Angara river in Siberia. In one case the slope consists of horizontal layers of Ordovician fissured sandstones and limestones with a thickness of about 60 metres lying on Cambrian aleurolites and argillites. The jointing is parallel to

the slope. Stiff overlying blocks have been separated and moved toward the valley, gradually throwing back their heads. The rate of deformation is about one millimetre per year, and the total displacement reached 30 metres.

Prof. Záruba (1956) described analogous deformations in Cretaceous marly shales near Ostrava, Czechoslovakia. The same type of deformation was revealed on the dam site on the Moravská river in the Beskydy Mts., Czechoslovakia, where Cretaceous sandstones are heavily jointed and displaced over the underlying argillaceous shales (Záruba et al., 1963). Many analogous cases coming from different countries are described in the excellent monograph on engineering geology by Professors Záruba and Mencl (1961).

A summary of creep observations on slopes in various countries was given recently by Dr. Bjerrum (1967) in his Third Terzaghi Lecture. This comprehensive analysis proves the wide spreading of creep phenomena on slopes and shows the importance of their study.

Prof. Ter-Stepanian (1965) explained the formation of hooked creep (Hackenwerfen) on steeply dipping bedded rocks near the surface by high values of the coefficient of mobilized shear strength as compared with the bond value; this excess causes creep phenomena in rocks. For the same reason, the steeply dipping strata undergo slow deformations in depth near the potential sliding surface, taking an S-like shape.

Messrs. Beaujoint and Martin (1966) report extremely interesting data on slow movement of the lower part of a valley side of the Iser river in Southern France; the slope body consists of sandstones and coal bearing shales. These rocks support penstocks supplying the Malcovert hydroelectric plant. The lower part of the slope corresponding to the difference in level of about 400 metres exhibits slow downslope movement, which provokes abnormal longitudinal strains in the conduits. The movement occurs along the line of maximum slope. Measurements made with great care show that the rate of displacement varies from 5 to 80 millimetres per year. It is noticeable that deformations do not affect the whole slope investigated, but only the lower part of it. The upper division of the deformed part of the slope displays a spoon-like sag, while the lower one shows swelling. These features demonstrate mass flow of rocks, which we should like to describe as rotational depth creep, localized on the lower part of the slope. It would be of interest to know whether this localization has any geological explanation.

Dr. Zischinsky (1966) presented a very interesting report on the slow deformations of several high slopes; examples of slopes in Tyrol, Austria illustrate it. In Fließ-Nieder Galmig and Pförschwinkel clear evidences of slow movement of large rock masses were found, the protruded rocks in the slope toe being partly eroded. The slope in Mattreiglunzerberg deserves special attention. The slope is composed of phyllites with very uniform regional dipping of schistosity. It is subparallel to the slope. Two types of deformations were observed on the slope

profile — rotational plastic deformations and planar shear deformations. Fig. 3 of the paper gives a good picture of the observed phenomena*. The above-mentioned two types of deformations are distinctly localized on the cross-section of the slope body. The lower part of the section exhibits a gradual S-like bending which was revealed by alternating inclination of schistosity planes, first towards the slope and then back to the regional inclination. The shear planes in the upper part are correlated to this deformation. It seems that the upper part of the cross-section of the slope body has rigid properties, while the lower part is plastic. These are certainly not different rocks, not even different states of the same rock, but simply different behaviour of the same rock subjected to different stress states. There are many well-known facts confirming such behaviour of both soils and rocks. For explanation of the observed phenomena Dr. Zischinsky suggests after Haefeli the conception of imperfect viscous liquid, which is proved for ice. Alternatively this conclusion could be obtained using the conception of Bingham body, i.e. of a viscoplastic solid.

Dr. Feld (1966) reports several interesting cases of rock movements in excavations due to the load release; the data are based on the immense experience and long-term service of the Author in the field of foundation engineering. These examples show that rocks, which in natural state look quite solid and stable, after excavation is made may reveal continuous and dangerous deformations. Thus sides of deep trenches in the limestone rocks near the Niagara Falls showed inward movement while the floor heaved, both deformations measured by several centimetres. The main cause of these deformations is the recoverable strain energy, which was accumulated as a result of consolidation during the long geological history of the deposit and could be released only after the excavation was made.

Prof. Ter-Stepanian (1966) compared different manifestations of slow deformations on slopes in rocks. Some of them, such as creeping of slabs, may be considered as a preparatory phase of slope evolution, others, such as outcrop creeping, seem to be continuous phenomena. There is much evidence of such slow deformations described and discussed in literature. Since a classification of types of creeping seems to be too early, the report contains a systematisation of available data. The definition of types is made on morphological principles. So there are distinguished planar (translational), rotational and general types of creeping, with further subdivisions.

Prof. Zeitlen and Dr. Komornik (1966) presented results of analysis of foundations on slopes in sliding zones. The problem of deep foundations piercing the creeping weathered cover and transmitting load to the underlying stable rocks is dealt with. Such constructions may act

* The translation of Dr. Zischinsky's substantial report into Armenian and Russian both is published in this volume; for Fig. 3 see p. 152.

like retaining structures accumulating the creeping masses, or like bridge starlings allowing these masses to move around. The paper contains a critical review of factors involved in slope stability and methods available for their evaluation.

Reasonable assumptions are made for the estimation of design pressures exerted by the creeping masses on constructions counteracting these movements:

1) The cohesion of the soil is zero and its behaviour corresponds to the availability of an apparent angle of internal friction which equals the slope angle;

2) The long-term stability of slopes corresponds to the factor of safety equal at least to 2 with respect to rupture.

Thus rather simple procedure of determination of design creep pressure was developed. The proposed method is illustrated by several examples.

STABILIZATION OF SLOPES

The problem of stabilization of slopes and side walls of canyons on the dam sites are always in the centre of attention of geologists and engineers dealing with hydrotechnical construction. Several reports on this topic were presented to the International Congresses on Large Dams in Rome, 1961, and in Edinburgh, 1964. Some of them must be specially noted (Müller, 1961; Artola, 1961; Faivre et al., 1964; Aiken, 1964; Constructions etc., 1964). Investigations conducted in the USSR during the construction of the Khramges I hydroelectric plant may be also mentioned (Эристов, 1945).

Anchoring of slopes is an effective, though not yet widely applied method of stabilization of slopes. There are three reports on this problem.

Prof. Nunes da Costa (1966) gives an instructive review of the anchoring for the stabilization of slopes based on the experience gained in Brazil. Numerous types of application of prestressed anchors for stabilization of slopes and for other purposes as well, are described and illustrated with examples. The paper shows convincingly the advantages of the method, both from the technical and economical points of view. An important problem of prestressing release due to the soil deformation is discussed; the numerical example adduced shows that the relative loss in stresses may reach 40%. Remedial measures against this loss in relevant cases seem to be advantageous.

Messrs. Nunes de Oliveira and Caldeira (1966) presented valuable considerations on the stabilization of rock slopes. They include data on the influence of different factors on the stability of rock slopes and the means of preventing their failure, as cementing, grouting, anchoring etc. These data are based on the experience obtained at the construction of hydroelectric plants on the international stretch of Douro river in Portugal. The report contains practical recommendations for stabilization of slopes in fissured and weathered rocks.

Messrs. Redlinger and Dodson (1966) share their experience in stabilization of vertical slopes, forming sides of a cut for spillway and adjoining hydrotechnical constructions. Two concrete walls with alternating heights ranging between 24 and 29 metres were fixed by means of anchor bolts to the limestone rocks having horizontal stratification. The paper contains analysis of potential failure plane for various loading conditions. The graphs show a relationship between the anchor spacing and the effectiveness of drainage for different factors of safety and different values of cohesion; the design is based on the assumption of no cohesion.

The General Reporter congratulates all the Authors for selecting the most interesting problems which promoted the better understanding of the behaviour of slopes. He also expresses his gratitude to Prof. Erisman for his valuable remarks and kind assistance.

THEMES FOR DISCUSSION

There are many problems connected with slopes in rocks which may be discussed here. The following themes seem to be the most interesting.

1. The stress distribution in slopes on rocks, the influence of rock types (monolithic, composed of connected blocks or of single blocks); means of taking into account the recoverable strain energy, the induced stresses, the re-distribution of stresses due to creeping etc.
2. Analysis of the process of sliding in rocks with due regard for time; the location of the sliding surface in fissured rocks, the role of joints and faults; synchronous or progressive character of failure.
3. The mechanism of the deep-seated rock slides; the evolution of creeping to the valley, the conditions of its transition into sliding, the engineering and geological significance of this phenomenon.
4. The role of observations of slow deformations of slopes in rocks for the analysis of the mechanism of their sliding; comparison of methods of observation from the standpoint of both exactness and effectiveness.
5. The efficacious measures for the stabilization of slopes by the use of underground constructions, anchoring, cementation, grouting, drainage etc.

Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

Հապավումներ—Сокращения—Abbreviations

ПИГ—Сборник „Проблемы инженерной геологии“; FI—Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Wien; PICRM—Proceedings, First Congress, International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 1966.

Ստեփանյան Ա. Ու. 1967. Կալային լանջերի երկարատև կայունությունը: Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 1:91—146.

Ստեփանյան Գ., 1969. Ժայռային ապարներում լանջերի խորքային սողրի տիպերը: Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 3:49—69:

like retaining structures accumulating the creeping masses, or like bridge starlings allowing these masses to move around. The paper contains a critical review of factors involved in slope stability and methods available for their evaluation.

Reasonable assumptions are made for the estimation of design pressures exerted by the creeping masses on constructions counteracting these movements:

1) The cohesion of the soil is zero and its behaviour corresponds to the availability of an apparent angle of internal friction which equals the slope angle;

2) The long-term stability of slopes corresponds to the factor of safety equal at least to 2 with respect to rupture.

Thus rather simple procedure of determination of design creep pressure was developed. The proposed method is illustrated by several examples.

STABILIZATION OF SLOPES

The problem of stabilization of slopes and side walls of canyons on the dam sites are always in the centre of attention of geologists and engineers dealing with hydrotechnical construction. Several reports on this topic were presented to the International Congresses on Large Dams in Rome, 1961, and in Edinburgh, 1964. Some of them must be specially noted (Müller, 1961; Artola, 1961; Faivre et al., 1964; Aiken, 1964; Constructions etc., 1964). Investigations conducted in the USSR during the construction of the Khramges I hydroelectric plant may be also mentioned (Эристов, 1945).

Anchoring of slopes is an effective, though not yet widely applied method of stabilization of slopes. There are three reports on this problem.

Prof. Nunes da Costa (1966) gives an instructive review of the anchoring for the stabilization of slopes based on the experience gained in Brazil. Numerous types of application of prestressed anchors for stabilization of slopes and for other purposes as well, are described and illustrated with examples. The paper shows convincingly the advantages of the method, both from the technical and economical points of view. An important problem of prestressing release due to the soil deformation is discussed; the numerical example adduced shows that the relative loss in stresses may reach 40%. Remedial measures against this loss in relevant cases seem to be advantageous.

Messrs. Nunes de Oliveira and Caldeira (1966) presented valuable considerations on the stabilization of rock slopes. They include data on the influence of different factors on the stability of rock slopes and on the means of preventing their failure, as cementing, grouting, anchoring etc. These data are based on the experience obtained at the construction of hydroelectric plants on the international stretch of Douro river in Portugal. The report contains practical recommendations for stabilization of slopes in fissured and weathered rocks.

Messrs. Redlinger and Dodson (1966) share their experience in stabilization of vertical slopes, forming sides of a cut for spillway and adjoining hydrotechnical constructions. Two concrete walls with alternating heights ranging between 24 and 29 metres were fixed by means of anchor bolts to the limestone rocks having horizontal stratification. The paper contains analysis of potential failure plane for various loading conditions. The graphs show a relationship between the anchor spacing and the effectiveness of drainage for different factors of safety and different values of cohesion; the design is based on the assumption of no tension.

The General Reporter congratulates all the Authors for selecting the most interesting problems which promoted the better understanding of the behaviour of slopes. He also expresses his gratitude to Prof. Erisman for his valuable remarks and kind assistance.

THEMES FOR DISCUSSION

There are many problems connected with slopes in rocks which may be discussed here. The following themes seem to be the most interesting.

1. The stress distribution in slopes on rocks, the influence of rock masses (monolithic, composed of connected blocks or of single blocks); means of taking into account the recoverable strain energy, the induced stresses, the re-distribution of stresses due to creeping etc.
2. Analysis of the process of sliding in rocks with due regard for time; the location of the sliding surface in fissured rocks, the role of joints and faults; synchronous or progressive character of failure.
3. The mechanism of the deep-seated rock slides; the evolution of creeping to the valley, the conditions of its transition into sliding, the engineering and geological significance of this phenomenon.
4. The role of observations of slow deformations of slopes in rocks for the analysis of the mechanism of their sliding; comparison of methods of observation from the standpoint of both exactness and effectiveness.
5. The efficacious measures for the stabilization of slopes by the use of underground constructions, anchoring, cementation, grouting, drainage etc.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

Հապավումներ—Сокращения—Abbreviations

ПИГ—Сборник „Проблемы инженерной геологии“; FI—Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Wien; PICRM—Proceedings, First Congress, International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 1966.

Կեմալյան Ա. Ու. 1967. Կալային լանջերի երկարատև կայունությունը: Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 1:91—146.

Ստեփանյան Գ., 1969. Ժայռային ապարներում լանջերի խորքային սղքի տիպերը: Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 3:49—69:

- Միլիկով Ս. 1969. Բարձր լանդշեֆտի ձևավորման մասին: Գեոմեխանիկայի սրբազան համագումար, Երևան, 3:135—156:
- Гольдштейн М. Н., Берман М. А., Гусев Б. В., Тимофеев Т. А. и Туровская А. Я. 1967. Исследование устойчивости трещиноватых скальных склонов. Доклады I Международному конгрессу по механике скальных пород, НАМГФ, М. 114—124.
- Дворжак А., 1967. Устойчивость скальных откосов при взрывах. ПИГ, 4: 240—246.
- Келлер Г., 1967. Устойчивость искусственных откосов в слоистых породах. ПИГ, 4: 227—239.
- Ломизе Г. М., 1945. Деформация головного сооружения Дзорагэс, ГрузНИТО Строительств, Тбилиси.
- Малюшицкий Ю. Н., 1957. Условия устойчивости бортов карьеров. Изд. Академии наук Укр. ССР, Киев.
- Маслов Н. Н., 1955. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. Госэнергоиздат, М.—Л.
- Мюллер Л., 1967. Оползень в долине Вайонт. ПИГ, 4: 74—141.
- Назаров А. Г., 1965. О механическом подобии твердых деформируемых тел (к теории моделирования). Изд. Академии наук Арм. ССР, Ереван.
- Пальшин Г. Б. и Тржцинский Ю. Б., 1963. Оползни. В кн. «Братское водохранилище и инженерная геология территории», Изд. АН СССР, М., 130—149.
- Покровский Г. И., 1935. Центробежное моделирование. ОНТИ, М.
- Скемптон А. У., 1967. Длительная устойчивость глинистых склонов (пер. Г. И. Тер-Степаняна), Проблемы геомеханики, Ереван, 1: 91—146; (пер. Р. С. Зиянгири), ПИГ, 4: 142—176.
- Тер-Степанян Г. И., 1964. О механизме образования загиба голов пластов. ДАН Арм. ССР, 38 (2): 93—99.
- Тер-Степанян Г. И., 1967. Типы глубинной ползучести склонов в скальных породах. Доклады к I Международному конгрессу по механике скальных пород. НАМГФ, Москва, 102—113. Проблемы геомеханики, Ереван, 1969, 3: 49—69.
- Терцаги К., 1958. Механизм оползней. ПИГ, 1: 174—219.
- Терцаги К., 1964а. Измерение напряжений в породах, ПИГ, [3]: 195—220.
- Терцаги К., 1964б. Устойчивость крутых склонов в выветрелых скальных породах. ПИГ, [3]: 345—371.
- Фисенко Г. Л., 1965. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. 2 изд. Изд. Недра, Москва.
- Хаст Н. и Нильсон Т., 1967. Измерение напряжений в скальных породах и их значения для строительства плотин. ПИГ, 4: 13—21.
- Цишински У., 1969. О деформации высоких склонов. Проблемы геомеханики, Ереван, 3: 135—156.
- Эристов В. С., 1945. Плотина из каменной наброски. Гидротехническое строительство № 4—5 и 6.
- Aiken D. G., 1964. Foundation problems at Warragamla Dam. Transactions, Eighth International Congress on Large Dams, Edinburgh, 1 (59).
- Artola P. M., 1961. Les travaux souterrains du barrage d'Aldeadavilla. Transactions, Seventh International Congress on Large Dams, Rome, 1(124).
- Beaujoint N. et Martin A., 1966. Observation du comportement d'un talus naturel. PICRM, 2:147—151.
- Bjerrum L., 1967. Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clays and clay shales. Structural Engineering Conference, Miami, Florida. Journal, Soil Mech. and Found. Div., ASCE 93 (SM5):1—49; Norwegian Geotechnical Institute Publications 1968, 77:1—29.
- Brioli L., 1966. Rock slides and security problems in the face of hill-side quarries. PICRM, 2:187—191.

- Construction Ministry of the Japanese Government, 1964. Foundation treatment of Kawamata dam. Transactions, Eighth International Congress on Large Dams, Edinburgh, 1(10).
- Dodds R. K., 1966. Rock movement along fractures during failure. PICRM, 2:133—137.
- Dvořák A., 1965. Die Stabilität von Felsböschungen bei Sprengungen. FI, Suppl. II, S. 136—142.
- Faivre G., D'Acier et Conte J., 1964. La consolidation des appuis du barrage de Monteynard. Transactions, Eighth International Congress on Large Dams, Edinburgh, 1(19).
- Feld J., 1966. Rocks movements from load release in excavated cuts. PICRM, 2:139—140.
- Finn W. D. L., 1966. Static and dynamic stresses in slopes. PICRM, 2:167—169.
- Folberth P. J., 1965. Beitrag zur rechnerischen Ermittlung der Spannungszustände in Felsbauwerken. FI, Suppl. II, S. 25—33.
- Förster W., 1966. Der Einfluss der Strossenkrümmung auf die Standsicherheit von Kippenböschungen im Tagebau. PICRM, 2:193—199.
- Gerber E. K. und Scheidegger A. E., 1965. Probleme der Wandrückwitterung, im besonderen die Ausbildung Mohrscher Bruchflächen. FI, Suppl. II, S. 80—87.
- Goldstein M., Berman M., Goosev B., Timofeyeva T. and Turovskaya A., 1966. Stability investigation of fissured rock slopes. PICRM, 2:175—178.
- Hast N. and Nilsson T., 1964. Recent rock pressure measurements and their implication for dam building. Transactions, Eighth International Congress on Large Dams, Edinburgh, 1:601—610.
- Henkel D. J. and Yudhbir, 1966. The stability of slopes in the Siwalik rocks in India. PICRM, 2:161—165.
- Jennings J. E. and Black R. A. L., 1963. Factors affecting the angle of slope in open cast mines. Transactions of Soc. Min. Engs., March, 42—53.
- Keller G., 1964. Das Problem künstlicher Böschungen in Schichtgesteinen. FI 2(2): 81—92.
- Müller L., 1955. Die Sicherung des linken Landpfellers am Kraftwerk Sarobi (Afghanistan) gegen den Talzuschub des Gebirges. Geol. u. Bauw., 21(4):149—161.
- Müller L., 1961. Safety of rock abutments on concrete dams. Transactions, Seventh International Congress on Large Dams, Rome, 1(90).
- Müller L., 1962. Über die Entstehung oberflächenparalleler Klüfte; Versuch einer geomechanischen Erklärung. Geol. u. Bauw. 27(3/4):146—152.
- Müller L., 1963a. Der Felsbau. Bd. I. Theoretischer Teil. Fels über Tage, I Teil. Stuttgart, F. Enke Verlag.
- Müller L., 1963b. Die Standfestigkeit von Felsböschungen als spezifisch geomechanische Aufgabe. FI, 1(1):50—71.
- Müller L., 1964. The rock slide in the Vajont Valley. FI, 2(3—4):148—212.
- Nunes A. J. da Costa, 1966. Slope stabilization—Improvements in the techniques of prestressed anchorages in rocks and soils, PICRM, 2:141—146.
- Nunes J. M. de Oliveira and Caldeira F. C. S., 1966. Considerations on the stabilization of rock slopes. PICRM, 2:213—217.
- Redlinger J. F. and Dodson E. L., 1966. Rock anchor design. PICRM, 2:171—174.
- Rivet J. J. and Vignaud R., 1966. Méthode de mesure in-situ concernant l'évolution de la stabilité des massifs rocheux. PICRM, 2:153—155.
- Rocha M., 1955. Conditions de similitude dans l'étude sur modèle de problèmes de mécanique du sol. Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Publ., 86.
- Rocha M., 1957. The possibility of solving soil mechanics problems by the use of models. Proceedings, Fourth Internat. Conf. Soil Mech. Found. Eng., London, 1:183—188.
- Rocha M., 1964. Mechanical behaviour of rock foundations in concrete dams. Transactions, Eighth International Congress on Large Dams, Edinburgh, 1(44):785—831.

- Rocha M., 1965. Structural model techniques—some recent developments. In „Stress analysis“ by O. C. Zienkiewicz and G. S. Hollister, London—New York—Sydney, J. Wiley et Sons, 385—425.
- Scheiblaue J., 1963. Modelversuche zur Klärung des Spannungszustandes in steilen Böschungen. Fl, 1(1):72—77.
- Skempton A. W., 1964. Long-term stability of clay slopes. *Géotechnique*, 14(2):77—101.
- Ter-Stepanian G., 1965. Über den Mechanismus des Hackenwerfens. Fl, 3(2):43—49.
- Ter-Stepanian G., 1966. Types of depth creep of slopes in rock masses. *PICRM*, 2: 157—160; *Problems of Geomechanics*, Yerevan, 1969, 3:49—69.
- Terzaghi K., 1950. Mechanism of landslides. *Geol. Soc. Am., Berkeley vol.*, 83—123.
- Terzaghi K., 1962a. Measurement of stresses in rock. *Géotechnique*, 12(2):105—124.
- Terzaghi K., 1962b. Stability of steep slopes on hard unweathered rock. *Géotechnique*, 12(4):251—270.
- Wittke W., 1964. Ein rechnerischer Weg zur Ermittlung der Standsicherheit von Böschungen in Fels mit durchgehenden, ebenen Absonderungsflächen. Fl, Suppl. 1, S. 103—129.
- Wittke W., 1965. Verfahren zur Berechnung der Standsicherheit belasteter und unbelasteter Felsböschungen: Fl, Suppl. II, S. 52—79.
- Wittke W. und Louis C., 1966. Zur Berechnung des Einflusses der Bergwasserströmung auf die Standsicherheit von Böschungen und Bauwerken in zerklüftetem Fels. *PICRM*, 2:201—206.
- Záruba Q., 1956. Deformace hornin vzniklé vytlačováním podloží. *Rozpravy Československé Akademie Věd*, 66(15).
- Záruba Q., Novosad S., Tyrolerova P., 1963. Deformace godulských pískovců na údolním svahu řeky Morávky v Beskydech. „Metodika inženýrsko-geologického výzkumu pevných hornin“, Praha, Nakladatelství Československé Akademie Věd, 118—128.
- Záruba Q. und Menci V., 1961. *Ingenieurgeologie*. Berlin, Prag, Akademie-Verlag.
- Zeitlen J. G. and Komornik A., 1966. Analysis of foundations in sliding zones. *PICRM*, 2:207—211.
- Zischinsky U., 1966. On the deformation of high slopes. *PICRM*, 2:179—185.