

ԽԱՉԻԿՅԱՆ Հ. Դ., ԽԱՆՁՅԱՆ Վ. Ն., ԳՐԵԿՈՎ Բ. Ի.

ԺԱՅՌԱՅԻՆ ԱՊԱՐԵՆՐԻ ԿՐՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՋՐԱՑՈՒՄԸ
ԱՄՐԱՊՆԴՈՂ ՑԵՄԵՆՏԱՑՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Հիդրոտեխնիկական թունելների շինարարության արդի կարևորագույն հարցը նրանց կառուցման ժամանակի և արժեքի կրճատումն է շնորհիվ ստորերկրյա փորվածքների ապարային հանույթի և բետոնի ժալայի նվազեցման: Այս ապարեզում շոշափելի տնտեսական օգուտ կարելի է ստանալ, երբ բոլորապատի հաշվարկը կատարվում է թունելը շրջապատող լեռնային ապարների կրողունակության լիարժեք օգտագործումով [1]: Վերջերս թունելային շինարարության մեջ ավելի հաճախ է օգտագործվում բարձր ճնշման տակ խորքային ցեմենտացման օգնությամբ ժայռի շինարարական հատկությունները բարձրացնելու մեթոդը: Ի նկատի ունենալով, որ ապարների ամրապնդող ցեմենտացումը թունելային պայմաններում կատարվում է բարձր ճնշման տակ ($30 \div 40$ կգ/սմ² և ավելին), ապա նախօրոք կատարվում է լեցոնող ցեմենտացում: Իրա շնորհիվ բոլորապատի և շրջապատող ապարների միջև գոյացած դատարկությունները լցվում են ցեմենտային բարով: Ամրապնդող ցեմենտացման շնորհիվ ապարը վեր է ածվում միաձույլ և սուսձգական դանդաղ, որը զգալիորեն թեթևացնում է թունելային բոլորապատի ստատիկական աշխատանքի պայմանները: Ինչպես ցույց են տալիս ամրապնդող ցեմենտացման արդյունքները, այս միջոցառման օգնությամբ կարելի է հասնել լեռնային ապարի առաձգականության մոդուլի զգալի մեծացման: Որպես օրինակ կարող են ծառայել Իտալիայի Պիավ ամբարտակի հիմքում բնկած լեռնային ապարների դեֆորմատիվ հատկությունների ուսումնասիրության արդյունքները: Ճեղքավոր ժայռային ապարների ցեմենտացումը բարձրացրել է նրանց ընդդիմադրության գործակիցը $1,5$ անգամ: Ուսումնասիրությունը կատարվել է փորձնական բովանցքում, 15 կգ/սմ² ներքին հավասարաչափ ճնշման տակ [3]: Ամրապնդված և ոչ ամրապնդված լեռնային ապարների առաձգականության մոդուլների հարաբերությունը հաճախ հասնում է երկուսի և ավելին, իսկ որոշ դեպքերում՝ գրանիտային ապարների ցեմենտացումից հետո, ապարի և բետոնի առաձգականության մոդուլների հարաբերությունը մոտենում է մեկի [10]:

Այս հանգամանքը հիմք է ծառայում ոչ միայն կրճատելու բետոնյա ու երկաթբետոնյա բոլորապատի հաստությունը, այլ փոխարինելու այն ցեմենտացված ժայռային ապարի ներսից բետոնե հարթեցված երեսապատ ունեցող շերտով:

Թունելային կառույցներում խորքային ցեմենտացումը, բացի ապարների ամրապնդումից, կարևոր միջոցառում է նաև ջրի հոսքակորուստի դեմ: Այսպիսով, ամրապնդված շերտից պահանջվում է, որ նա շրջապատող ապարի զանգվածի հետ միասին իր վրա վերցնի ջրի ներքին ճնշումը և ապահովի կա-

ույցի անջրաթափանցելիությունը: Քանի որ մեր հրկրում հիդրոսեխնիկական ճնշումային թունելների շինարարության ժամանակ ամրապնդող ցեմենտացման կիրառման փորձը բավականին փոքր է, ապա ցեմենտացման առանձին տեսական հարցերի մշակման հետ պետք է կատարել նաև մի շարք փորձեր այդ հարցերը բնական պայմաններում հիմնավորելու համար: Հարթեցնող երեսապատումով թունելների համար խորքային ամրապնդող ցեմենտացման հուսալիությունը և տնտեսական շահավետությունը ցույց են տրված վ. Ս. էրիստովի աշխատություններում: Նրա կողմից էլ ցեմենտացման ճնշման մեծությունը որոշելու համար առաջարկվում է վերլուծական բանաձև [գ. 8]:

Կարևոր հարցերից մեկն է հանդիսանում նաև ցեմենտացման խորության, այսինքն ցեմենտացված ապարների շերտի հաստության ճիշտ որոշումը:

Հայտնի է, որ ջրի ծանրաբեռնվածությունից առաջացած մաքսիմում լարվածությունը իրենց վրա են վերցնում թունելային բոլորապատման եզրագծում եղած լեռնային ապարները: Թունելից հեռանալու հետ այս լարվածությունները աստիճանաբար մարում են և նրանից գործնականորեն, որոշակի տարածության վրա ջրի ներքին ճնշման ազդեցությունը անհետանում է: Լեռնային շրջանաձև փորվածքներում հիդրոստատիկ բեռնվածության միջոցով ապարների դեֆորմատիվ բնութագրի որոշման բաղմաթիվ փորձերի արդյունքներից դատելով կարելի է նկատել, որ ապարների ընդդիմադրության գործակիցը նվազում է ներսից ազդող ճնշման աճի հետ: Այս հանգամանքը բացատրվում է ապարներում պլաստիկական տեղափոխումների առաջացումով և զանգվածի շառավղային կտրվածքներում ճեղքերի աճումով [2, 4]: Խորքային ցեմենտացումից հետո ջրի ներքին բեռնվածության փոխանցումը ապարի զանգվածին կատարվում է արդեն ոչ թե լեռնային փորվածքի ներքին մակերեսով այլ անհամեմատ ավելի մեծ, ցեմենտացված շերտի արտաքին մակերևույթով (նկ. 1):

Ելնելով դրանից ցեմենտացումը անհրաժեշտ է կատարել այնպիսի խորությամբ, որ ապարի ամրապնդված շերտը կարողանա իր վրա վերցնել ջրի ճնշումից գոյացած ձգող լարումների [σ₀] թուլատրելից մեծ արժեքները: Այսպիսով ցեմենտացված շերտի արտաքին մակերևույթի վրա փոխադարձ ճնշումը պետք է հավասարվի [σ₀]: Հաշվի առնելով բետոնյա երեսապատի աննշան հաստությունը ժայռի ցեմենտացված շերտի համեմատ, ինչպես նաև խորքային ցեմենտացման ամրապնդող էֆեկտը կարելի է ընդունել, որ կրող բոլորապատի փաստացի հաստությունը հավասարվում է ցեմենտացման խորությանը [5]: Ճեմենտացման խորությունը՝ Δ-ն որոշելու համար, ապարի ցեմենտացված շերտը, բետոնյա հարթեցնող երեսապատի հետ ընդունում ենք, որպես առաձգական խողովակ, որը առանց բացակի մտցված է լեռնային ապարի անսահման հաստ պատեր ունեցող ուրիշ խողովակի մեջ:

Հյամեի ընդհանուր բանաձևը հարթ դեֆորմացիայի դեպքում ունի հետևյալ տեսքը.

$$\Delta = \frac{(1 - 2\mu)(1 + \mu)}{E} \frac{A^2 P_0 - B^2 P_n}{B^2 - A^2} r + \frac{1 + \mu}{E} \frac{(P_0 - P_n) A^2 B}{(B^2 - A^2) r} \quad (1)$$

որտեղ՝

Γ -ը ընթացիկ շառավիղն է:

Ցեմենտացված շերտի, արտաքին մակերևույթի, չրի ձնշումից առաջացած շառավղային տեղաշարժը որոշում ենք (1) բանաձևից հետևյալ տեղադրումներով:

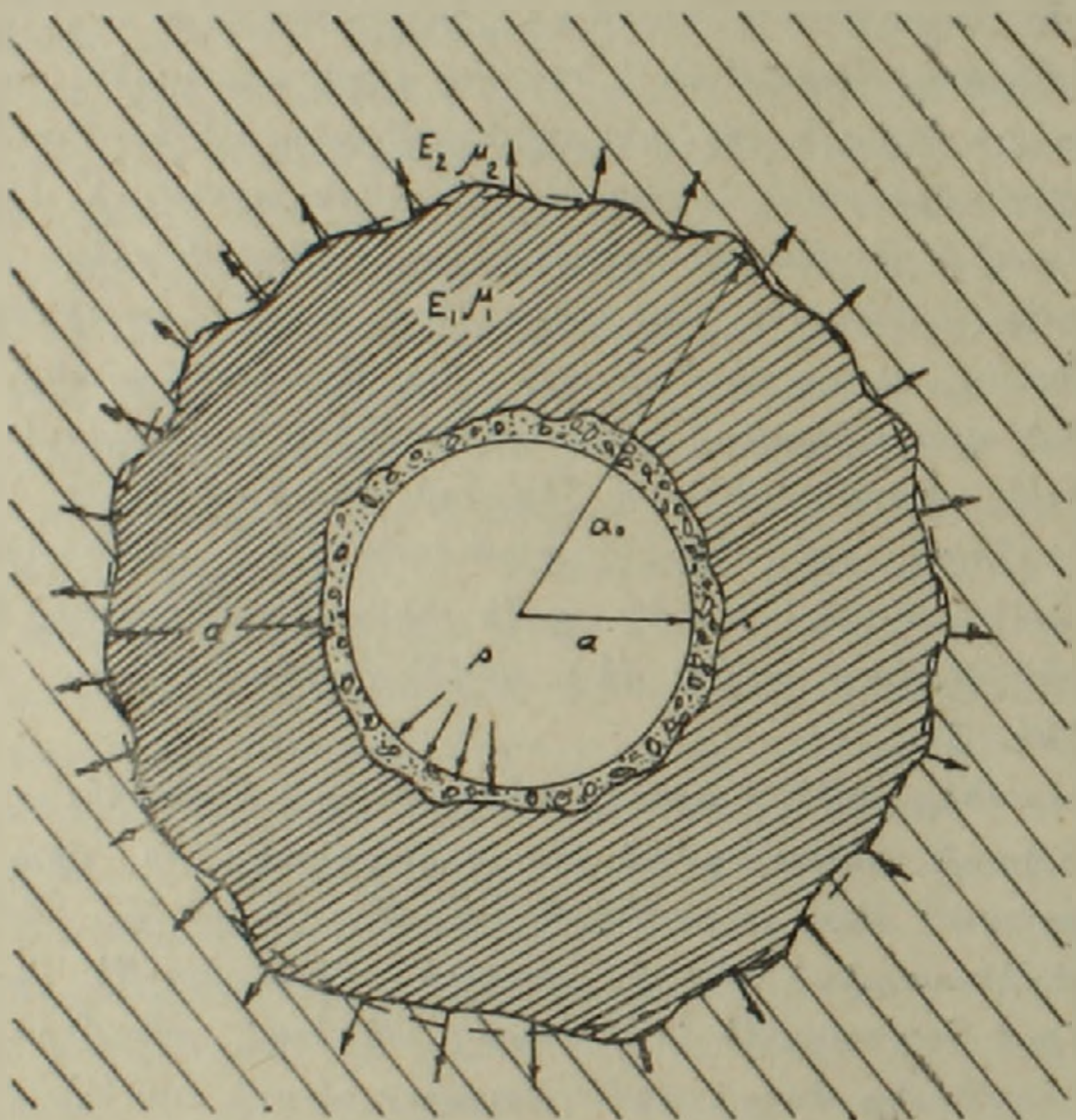
$$P_b = P; \quad P_n = [\sigma_0]; \quad r = B = A_0; \quad \mu = \mu_1 \text{ և } E = E_1$$

$$\Delta_1 = \frac{(1 + \mu_1) A_0}{(A_0^2 - A^2) E_1} \{ 2(1 - \mu_1) P A^2 - [\sigma_0] [1 - 2\mu_1] A_0^2 + A^2 \} \quad (2)$$

որտեղ՝

A_0 -ն ցեմենտացման շառավիղն է:

μ_1 և E_1 — համապատասխանաբար ցեմենտացված ապարի լայնական դեֆորմացիայի գործակիցն ու առաձգականության մոդուլն են:



Նկ. 1. Խորքային ցեմենտացման սխեման:

Չամրապնդված ապարի ներքին մակերևույթի, չրի ձնշումից առաջացած, շառավղային տեղաշարժը որոշվում է նույն (1) բանաձևով, հետևյալ տեղադրումներով.

$$r = A = A_0; \quad B = \infty; \quad P_b = [\sigma_0];$$

$$P_n = 0; \quad \mu = \mu_2 \text{ և } E = E_2;$$

$$\Delta_2 = \frac{1 + \mu_2}{E_2} A_0 [\sigma_0]; \quad (3)$$

որտեղ՝

μ_2 և E_2 — համապատասխանաբար ապարի լայնական դեֆորմացիայի գործակիցն ու առաձգականության մոդուլն են:

Հավասարեցնելով Δ_1 և Δ_2 ստանում ենք մի արտահայտություն, որից կարելի է որոշել ցեմենտացման որոշների շառավիղը.

$$A_0 = A \sqrt{\frac{2(1 - \mu_1) \frac{P}{[\sigma_0]} + \xi - 1}{1 + \xi - 2\mu_1}}; \quad (4)$$

որտեղ՝

$$\xi = \frac{1 + \mu_2}{1 + \mu_1} \frac{E_1}{E_2} \quad \text{կամ} \quad \xi = \frac{0,001 E_1}{(1 + \mu_1) K_0}$$

Այստեղ՝

K_0 -ն լեռնային ապարի տեսակարար ընդդիմադրության գործակիցն է.

ξ — գործակից, որը ցույց է տալիս ամրապնդման էֆեկտիվությունը:

Ամրապնդող ցեմենտացման խորությունը կարելի է որոշել (4) հավասարման միջոցով:

$$D = A_0 - A = A \left(\sqrt{\frac{2(1 - \mu_1) \frac{P}{[\sigma_0]} + \xi - 1}{1 + \xi - 2\mu_1}} - 1 \right) \quad (5)$$

Սահմանենք ցեմենտացված շերտի և ապարի շամրապնդված զանգվածի միջև ճիգերի բաշխման օրենքը: Բեռնաթափման գործակիցը կլինի.

$$\lambda = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2\pi A_0 \times 1 \times [\sigma_0]}{2\pi A \times 1 \times P} \quad (6)$$

որտեղ՝

P -ը լրիվ ներքին ճիգն է:

P_2 -ը լրիվ ճիգն է ցեմենտացված շերտի մակերևույթի վրա: (5) և (6) հավասարումներից կստանանք.

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{2(1 - \mu_1)} \left[\frac{A_0}{A} (1 + \xi - 2\mu_1) - \frac{A}{A_0} \xi - 1 \right]} \quad (7)$$

Հաշվարկի օրինակ:

Ենթադրենք մի թունել 18 կգ/սմ² ներքին ճնշումով, անցնում է այնպիսի ապարների միջոցով, որոնց ձգման սահմանային լարվածությունը հավասար է 50 տ/մ²: Եթե պաշարի գործակիցը ընդունենք $\mu = 2$, ապա $[\sigma_0] = 2,5$ կգ/սմ², իրոշենք ցեմենտացման անհրաժեշտ խորությունը, հաշվի առնելով, որ ամրապնդող ցեմենտացման շերտի ժայռի առաձգականության մոդուլը անում է 1,5 սնգամ, ալսինքն $\frac{E_1}{E_2} = 1,5$: Ընդունելով $\mu_1 = 0,17$ և $\mu_2 = 0,25$ կստանանք $\xi = 1,6$: Շղթած մեծությունները տեղադրենք (5) հավասարման մեջ:

$$D = A \left(\sqrt{\frac{2(1-0,17)2,5 + 1,6 - 1}{1 + 1,6 - 2 \cdot 0,17}} - 1 \right) = 1,36 A \approx 0,7 D_{\text{гун.}}$$

որտեղ՝

$D_{\text{гун.}}$ — թունելի տրամագիծն է բետոնապատումից հետո:

Ստացված մեծությունը համապատասխանում է խորքային ցեմենտացման ժամանակակից փորձին: Եթե մեծացնենք $\frac{E_1}{E_2}$ հարաբերությունը մինչև 2,0 և 2,5 ապա ցեմենտացման խորությունը համապատասխանաբար կկրճատվի 15% և 25%-ով: Որոշենք բեռնաթափման գործակիցը տվյալ դեպքի համար:

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{2(1-0,17)} \left| 2 \cdot 36(1 - 1 \cdot 16 - 2 \cdot 0,17) - \frac{1,6 - 1}{2,36} \right|} = 0,35$$

Այսինքն շամրապնդված ապարը իր վրա է վերցնում ներքին բեռնվածության 35%-ը, իսկ ցեմենտացված շերտը 65%-ը:

Այժմ եթե ավելացնենք ցեմենտացման էֆեկտիվությունը ընդունելով $\frac{E_1}{E_2}$ հավասար 2,0 և 2,5, ապա ապարառի ցեմենտացված շերտը համապատասխանաբար իր վրա կվերցնի ներքին բեռնվածության 69% և 73%-ը: Նույն ժամանակ, որպեսզի կրճատենք բեռնաթափման գործակիցը 20%-ով՝ հաստատուն պահելով $\frac{E_1}{E_2} = 1,5$ նշանակությունը, պետք է ավելացնել ցեմենտացման խորությունը 26%-ով, այսինքն ընդունել, որ $d = 0,88$:

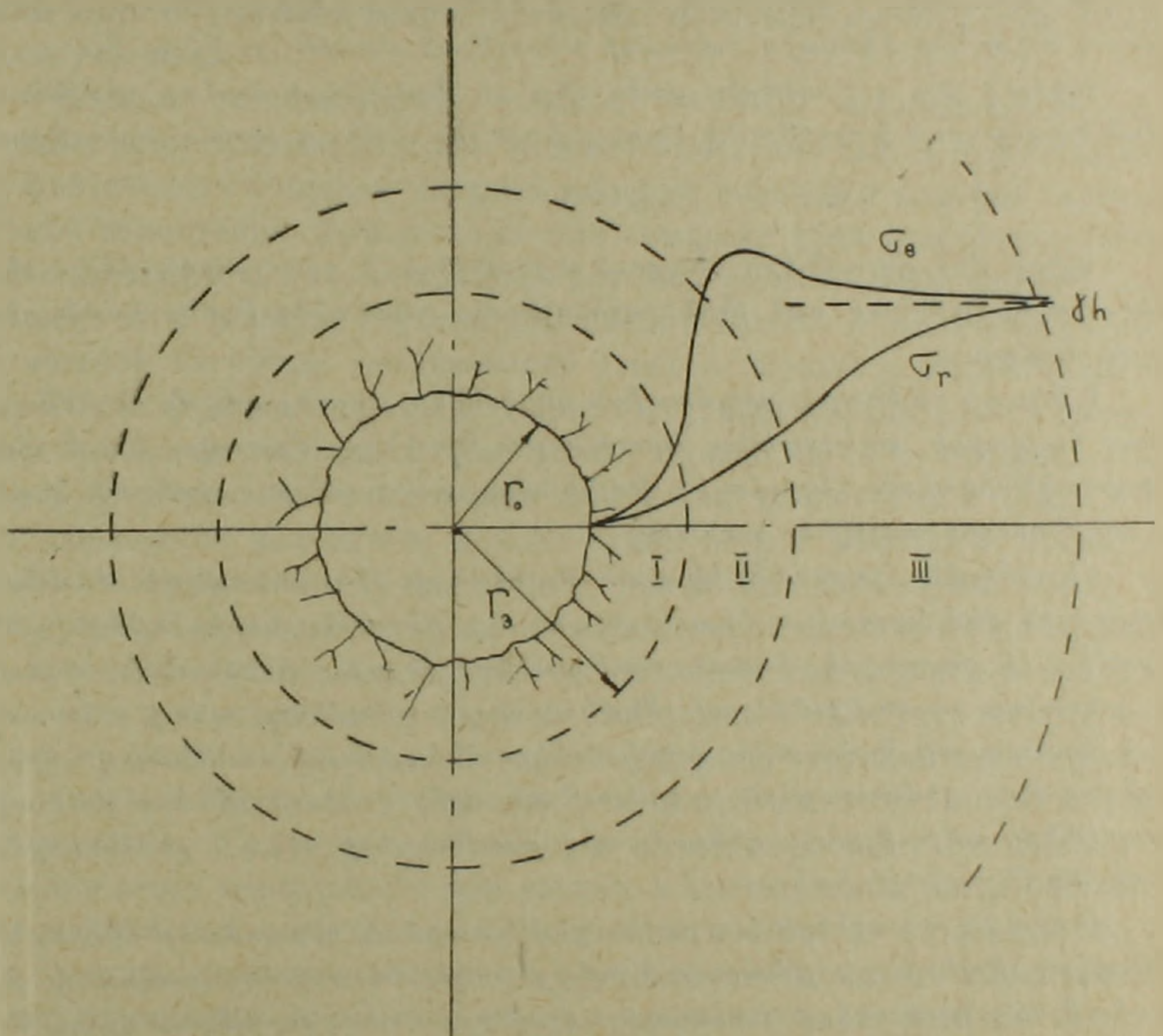
Բերված վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ կառույցի հուսալի աշխատանքի համար առաջնակարգ նշանակություն ունի ցեմենտացման խորության ճիշտ ընտրումը: Դա հատկապես վերաբերվում է բարձր ճնշման և մեծ կտրրվածք ունեցող հիդրոտեխնիկական թունելներին: Սակայն ցեմենտացման խորության չհիմնավորված մեծացումը թանկացնում է շինարարությունը հորատման և մղման ավելորդ աշխատանքներով: Նլնելով այս բոլորից անհրաժեշտ է առաջին հերթին բարձրացնել լեռնային ապարի ամրապնդման աստիճանը որակյալ ցեմենտացման շնորհիվ: Սրան կնպաստի ցեմենտացման նախադրային ճնշման և մղվող շաղախի կազմի ճիշտ ընտրումը: Նշված հարցերի համոզեցուցիչ լուծումը առայժմ միայն կարելի է ստանալ թունելային փորվածքների բնական հետազոտությունների միջոցով:

Ամրապնդող ցեմենտացման էֆեկտիվությունը բարձրացնելու համար անհրաժեշտ է նաև հաշվի առնել շրջապատող լեռնային ապարների վիճակը թունելային փորվածքի անցնելուց հետո: Դատելով հաստ պատերով խողովակների գոյություն ունեցող բանաձևերից, որոնցում հաշվի չի առնվում շինանյութում սկզբնական լարումների առկայությունը, ցեմենտացման շաղաղի մեծացումը հանգեցնում է լեռնային ապարի կողմից ընդդիմադրության պակասեցմանը: Սակայն մեր դեպքում այդպիսի օրինաչափությունը միշտ չէ, որ համապատասխանում է իրականությանը: Սա ավելի բնորոշ ձևով կարելի

է ցույց տալ օղակային լարումների տեսության միջոցով [գ. 7, գ. 9]: Շրջա-
նային ուրվագիծ ունեցող ստորերկրյա փորվածքի անցումից հետո նրա պա-
տերում շոշափող լարումները աճում են 2 անգամ, իսկ 3, շառավղային լա-
րումները նվազում են միևնույն զրու:

Թունելի անցման որոշակի խորություններում լարվածային այսպիսի վի-
ճակը հասցնում է ապարի քայքայման, ճեղքագոյացումների կամ պլաստիկ
հոսունության ձևով:

Լեռնային ապարների քայքայման հետ փորվածքի շրջապատում տեղի է
ունենում լարումների բեռնաթափում ու նվազեցված ճնշման գոտու առաջա-
ցում: Այս գոտուց հետո գալիս է բարձրացված լարումների թաղանթը կամ
կրող օղը 1, էֆեկտիվ շառավղիով (նկ. 2): Ավելի հեռու թունելային փորված-
քի ազդեցությունը ապարի զանգվածում աստիճանաբար մարում է, իսկ լա-
րումները նվազելով որոշ հեռավորության վրա դարձյալ հավասարվում են
բնական լարումների նախնական արժեքներին— Γ_0 :



Նկ. 2. Երեք գոտիների առաջացումը փորվածքի շուրջը. 1-ին — նվազեցված լարումների
գոտի. 2-րդ, բարձրացված լարումների գոտի (կրող օղակ). 3-րդ — փորվածքի
ազդման գոտի:

Կախված իրենց տեղադրությունից նշված գոտիները զբաղեցնող ապար-
ները գտնվում են տարբեր լարվածային ու ֆիզիկական վիճակներում և հետե-
վաբար ունեն զանազան դեֆորմատիվ հատկություններ:

Կրող օղակի գոտում գտնվող ապարների դանգվածը կարող է ավելի մեծ դիմադրություն ցույց տալ ցեմենտացված շերտի տեղաշարժին, քան փորվածքին անմիջապես մոտ գտնվող ապարը: Հետևաբար նվազեցված լարվածություն գոտում գտնվող քայքայված ապարների ամրապնդող ցեմենտացումը զգալիորեն կբարձրացնի նրանց մեխանիկական բնութագրերը և հենց դրանով էլ ամբողջ կառուցվածքի կայունությունը: Այսպիսով, անհրաժեշտ է ամրապնդող ցեմենտացման խորությունը ընտրելիս, ամեն մի որոշակի դեպքի համար ելնել էֆեկտիվ շառավղի մեծությունից: Էֆեկտիվ շառավղի մեծությունը կախված է բազմաթիվ գործոններից՝ փորվածքի չափերից, երկրի մակերեսից ունեցած նրա տեղադրման խորությունից, ապարի տեսակարար կշռից, հարակցումից, ներքին շփման անկյունից, ամրակապի տեղադրման ժամանակից:

Էֆեկտիվ շառավղի որոշման ամենահամոզեցուցիչ մեթոդը փորձնական է, մասնավորապես գերաձայնի միջոցով: Գոյություն ունեն նաև վերլուծական բանաձևեր և գրաֆիկներ, որոնց միջոցով կարելի է տանալ կողմնորոշող տվյալներ էֆեկտիվ շառավղի մեծության մասին [գ. 6, գ. 7]:

Ելնելով այս տվյալներից ցածր ճնշման թունելների համար ցեմենտացման նվազագույն խորությունը կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$D_{\min} = \gamma_3 - A \quad (8)$$

Ավելի մեծ ճնշումների դեպքում անհրաժեշտ է օգտագործել (5) բանաձևը, հաշվի առնելով նաև թունելաշինության գործունեությունը նման դեպքերի համար:

Ի նկատի ունենալով բազմապիսի գործոնները, որոնք դժվար են ենթարկվում հաշվարկի, առաջարկվող արտահայտությունները մոտավոր են: Սակայն հիդրոտեխնիկական ճնշումային թունելները նախագծելիս դրանցով կարելի է կողմնորոշող տվյալներ ստանալ:

Ճնշումային հիդրոտեխնիկական թունելների շինարարության ժամանակ խորքային ցեմենտացման կիրառության լայն հեռանկարներից ելնելով, անհրաժեշտ է դարգացնել հետազոտությունները ինչպես փորձնական, այնպես էլ տեսական ուղղություններով: Բնական փորձարկումները պետք է կատարվեն պատրաստի թունելային փորվածքներում՝ նպատակ ունենալով որոշել ամրապնդող ցեմենտացման ազդեցության օրինաչափությունները ժայռային ապարների ամրության և դեֆորմատիվ բնութագրերի վրա, ցեմենտացման տարբեր ճնշումների համար:

Լեռնային ապարների խորքային ցեմենտացման կիրառմամբ հիդրոտեխնիկական թունելների շինարարությունից և շահագործումից բավարար քանակությամբ կուտակված փաստացի տվյալները հնարավորություն կտան ընդհանրացնել այս միջոցառման փորձը և ավելի ճշգրիտ դարձնել տեսական բանաձևերը:

Г. Г. ХАЧИКЯН, В. Н. ХАНДЖЯН, Б. И. ГРЕКОВ

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОМОЩИ УКРЕПИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Р е з ю м е

В современной практике строительства напорных гидротехнических тоннелей все шире применяется глубинная цементация скальных горных пород. Цель этой цементации заключается в основном в повышении механических и упругих свойств пород и в предотвращении утечек воды из тоннеля. Закрепленный, благодаря укрепительной цементации, массив породы превращается в монолитную и упругую среду и значительно облегчает условия статической работы тоннельных обделок. В связи с повышением несущей способности окружающих горных пород возрастает также доля внутренней гидростатической нагрузки, которая передается массиву породы.

Учитывая незначительную толщину бетонной выравнивающей облицовки, по сравнению со слоем зацементированной скалы, допускается, что фактическая толщина несущей обделки равняется глубине укрепительной цементации. Для этого случая авторами предлагается аналитическая зависимость для определения глубины укрепительной цементации. Согласно этой формуле глубина цементации зависит от величины гидростатической нагрузки, механических свойств породы и эффективности цементации. При малонапорных тоннелях глубину укрепительной цементации можно соответственно уменьшить, однако здесь необходимо учитывать наличие вокруг подземной выработки трещиноватой зоны. Эта зона образуется вследствие концентрации вокруг выработок гравитационных напряжений и хрупкого разрушения скальных горных пород. В статье предлагается формула для определения коэффициента разгрузки, т. е. закона распределения внутреннего давления между зацементированным слоем и неукрепленной породой. Поскольку в нашей стране еще нет достаточного опыта применения укрепительной цементации при сооружении напорных тоннелей, то возникает необходимость организовать ряд экспериментов в натурных условиях, с целью изучения укрепительного значения этого мероприятия при разных нагнетательных давлениях. По мере накопления в достаточном количестве данных по строительству и эксплуатации напорных тоннелей с глубокой цементацией горных пород станет возможным обобщение опыта применения укрепительной цементации и внесение корректив в теоретические положения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дандуров М. И. «Тоннели» Трансжелдориздат, 1952.
2. Завриев Г. П. Понижение величины коэффициента отпора горной породы с возрастанием внутреннего давления в выработке напорного тоннеля. Изв. ТНИСГЭИ, т. 10, 1958.

3. Зурабов Г. Г. и Бугаева О. Е. Гидротехнические тоннели гидроэлектрических станций, 1962.
4. Хачикян Г. Г. Влияние образования трещин в массиве горных пород, пересекаемых напорными тоннелями, на коэффициент отпора. Изв. АН АрмССР, серия геол. и геогр. наук, т. XV, № 4, 1962.
5. Хачикян Г. Г. О глубине укрепительной цементации в напорных гидротехнических тоннелях. Ж. Гидротехническое строительство, № 12, 1964.
6. Мостков В. М. Строительство подземных сооружений большого сечения. Госгортехиздат, 1963.
7. Талюбр Ж. Механика горных пород. Перевод с французского. Госгортехиздат, 1960.
8. Эристов В. С. О конструкции и расчете обделок высоконапорных гидротехнических тоннелей. Ж. Гидротехническое строительство, № 11, 1963.
9. Горное давление. Сб. переводов. Госгортехиздат, 1961.
10. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений. Цементация в гидротехнических тоннелях. Госэнергоиздат, 1959.