

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ  
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

**ԴԱՎԻԹ ՀՐԱԶԻԿԻ ԿԼԵԿՉՅԱՆ**

**ՇԱՂԱԽԻ ՄՂՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ՍՏԱՅՎԱԾ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻՎ  
ԲԵՏՈՆՆԵՐԻ ՌԵՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Ե.23.01- «Շինարարական կոնստրուկցիաներ, շենքեր, կառույցներ և շինարարական նյութեր»  
մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման  
ատենախոսության

**Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր**

ԵՐԵՎԱՆ 2013

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА

**КЛЕКЧЯН ДАВИД ГРАЧИКОВИЧ**

**РЕОЛОГОЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ БЕТОНОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ РАСТВОРА**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
05.23.01- “Строительные конструкции, здания, сооружения и строительные материалы”

ЕРЕВАН 2013

**Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի ճարտարապետության  
և շինարարության պետական համալսարանում**

Գիտական խորհրդատու՝

տեխնիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր  
**Վ.Ի. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ**

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տեխնիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր  
**Պ.Հ. ՏԵՐ-ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ**  
տեխնիկական գիտությունների դոկտոր  
**Ռ.Գ. ԻՍՐԱՅԵԼՅԱՆ**  
տեխնիկական գիտությունների դոկտոր  
**Թ.Գ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ**

Առաջատար կազմակերպություն՝

**ՀՀ ԳԱԱ ՄԵԽԱՆԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**

Պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. նոյեմբերի 29-ին, ժամը 15<sup>00</sup>-ին, Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանին կից գործող ՀՀ ԲՈՀ-ի 030 «Ճարտարապետություն և շինարարություն» մասնագիտական խորհրդի նիստում:  
Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան փ. 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՃՇՊՀ-ի գիտական գրադարանում:  
Հասցեն՝ 0079, ք. Երևան, Մառի փող.17/1:

Սեղմագրին կարելի է ծանոթանալ Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի պաշտոնական կայքում՝ [www.ysuac.am](http://www.ysuac.am)  
Սեղմագիրն առաքված է 2013թ. հոկտեմբերի 28-ին

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,  
ճարտարապետության թեկնածու, պրոֆեսոր



**Տ.Ս. ԲԱԴԱԼՅԱՆ**

---

**Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете  
архитектуры и строительства**

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор  
**В.И. ГРИГОРЯН**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
**П.А. ТЕР-ПЕТРОСЯН**  
доктор технических наук  
**Р.Г. ИСРАЕЛЯН**  
доктор технических наук  
**Т. Г. МАРКАРЯН**

Ведущая организация:

Институт механики НАН РА

Защита состоится 29-го ноября 2013г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета 030 “Архитектура и строительство” ВАК РА, действующего при Ереванском государственном университете архитектуры и строительства.  
Адрес: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ЕГУАС по адресу: 0079, г. Ереван, ул. Марра 17/1.

С авторефератом можно ознакомиться на официальном сайте Ереванского государственного университета архитектуры и строительства: [www.ysuac.am](http://www.ysuac.am)  
Автореферат разослан 28-го октября 2013г.

Ученый секретарь Специализированного совета,  
кандидат архитектуры, профессор



**Т.С. БАРСЕГЯН**

**Թեմայի արդիականությունը:** Ինչպես ցույց են տալիս լայնամասշտաբ ուսումնասիրությունները, ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոններն ունեն մի շարք նշանակալից առավելություններ սովորական՝ թրթռացման տեխնոլոգիայով ստացված բետոնների նկատմամբ: Այդ հանգամանքը լուրջ նախադրյալներ է ստեղծում բետոնե և երկաթբետոնե տարրերի և կոնստրուկցիաների արտադրման պրակտիկայում շաղախի մղման տեխնոլոգիայի լայն ներդրման համար: Գործնականում այս ներդրման պրոցեսում խոչընդոտող դեր է հանդիսանում այն հանգամանքը, որ, ի տարբերություն թրթռացման մեթոդով ստացված բետոնների, ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոնների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների և ռեոլոգիական հատկությունների համակողմանի ուսումնասիրություններ դեռևս չեն կատարվել: Հատկապես խոսքը վերաբերում է երկարատև շահագործման ընթացքում այդ բետոններում տեղի ունեցող զանազան պրոցեսների ազդեցությունները՝ նրանց ֆիզիկամեխանիկական և ռեոլոգիական հատկությունների վրա: Երկարատև ասելով ի նկատի ունենք բետոնի համար հիմնային նշանակություն ունեցող պրոցեսները՝ ամրության և կոշտության (առաձգականության մոդուլի) փոփոխության օրինաչափությունները, կծկումները և սողքը ժամանակի ընթացքում: Առանց այդ օրինաչափությունների փորձնական և տեսական ուսումնասիրության, առանց՝ ժամանակի ընթացքում, կախված բետոնի հասակից, նրա ամրության, առաձգականության մոդուլի, կծկումների և սողքային հատկությունների բացահայտման, հնարավոր չէ իրագործել տվյալ տեխնոլոգիայով ստացվող բետոնի լայնածավալ ներդրում շինարարական պրակտիկայում, առավել ևս կատարել նրանից իրականացվելիք տարրերի և կոնստրուկցիաների ամրության և դեֆորմացիաների սպասվելիք փոփոխությունների տեսականորեն հիմնավորված հաշվարկ:

Բետոնների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա այս կամ այն տեխնոլոգիայով ստացման ազդեցության լաբորատոր փորձարկումներով պարզաբանումը միայն բետոնագիտության տեսության մի մասն է կազմում: Մյուսը՝ դա ստացված արդյունքների համակողմանի օգտագործումն է բետոնից և երկաթբետոնից իրականացված տարրերի և կառուցվածքների լարվածադեֆորմացիոն վիճակների հետազոտման ընթացքում: Այսինքն՝ այդ տարրերում և կառուցվածքներում գործող դեֆորմացիոն և լարվածային վիճակների հաշվարկն է բետոնում ընթացող երկարատև ռեոլոգիական պրոցեսների հաշվառմամբ: Այս պրոբլեմը թեզի հիմնգերքող գլխի հիմնական հետազոտական թեման է հանդիսանում:

Քանի որ բետոնը բարձր լարվածությունների տակ դրսևորում է լայն արտահայտված առաձգապլաստիկական հատկություններ, ապա այդ կարևոր հանգամանքի հաշվառումը բետոնագիտության և շինարարական մեխանիկայի հիմնային պրոբլեմներից է: Բետոնի առաձգապլաստիկական վիճակում գտնվելը հիմնովին փոխում է նյութում ընթացող սողքային պրոցեսների բնույթը և այն դրսևորում է ոչ գծայնությամբ արտահայտված հատկանիշներ: Այդ դեպքում հիմնովին կերպով փոփոխության են ենթարկվում սողքի տեսության հավասարումները, որտեղ արդեն տվյալ միջավայրում գործող լարումները ներկայացվում են ոչ գծային ֆունկցիայի տեսքով: Բացի դրանից բետոնի առաձգապլաստիկական վիճակում գտնվելու արդյունքում լուրջ փոփոխության է ենթարկվում դեֆորմացիաների վրա ծախսված էներգիայի քանակությունն ու բնույթը: Ընդհանուր ծախսված էներգիան բաղկացած է առաձգական և պլաստիկական բաղադրիչներից, որոնց որակական և քանակական որոշումը դեֆորմացվող պինդ մարմնի մեխանիկայի ամենաբարդ պրոբլեմներից է: Թեզի վեցերորդ գլխում տրված է այդ պրոբլեմի լուծումը բետոնների համար: Ստացված արդյունքները կարող են նույն հաջողությամբ կիրառություն գտնել ցանկացած առաձգապլաստիկ դեֆորմացիոն վիճակների գնահատման ժամանակ: Շինարարական կառուցվածքների սեյսմակայունության հաշվարկների համար կարևոր նշանակություն ունի այն խնդրի պարզաբանումը, թե ինչպես է ընթանում բետոնից իրականացված այս կամ այն տարրի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի փոփոխությունը, որը պատճառ է հանդիսանում առաձգապլաստիկական վիճակում գտնվող բետոնի վրա ազդող

սեղմող լարումների ցիկլիկ կրկնությունը՝ «բեռնում-բեռնաթափում» սխեմայով: Այս որոշակի բարդություն ունեցող, բայց կիրառական տեսակետից մեծ անհրաժեշտություն ներկայացնող խնդիրների հետազոտումն ու լուծումները տրված են թեզի վեցերորդ գլխում:

Այսպիսով նշված պրոբլեմների պարզաբանումը առաջնահերթ կարևորություն ունեն բետոնագիտության և շինարարական մեխանիկայի համար և համարվում են արդիական:

**Աշխատանքի նպատակն ու խնդիրները:** Ճնշման տակ շաղախի մղումը կառուցվածքային լուրջ փոփոխություններ է առաջացնում բետոնում: Այստեղ հատկապես կարևոր նշանակություն ունի այն հանգամանքը, որ շաղախի մղումը խիստ սահմանափակում չի դնում բետոնի մեկ միավոր ծավալում օգտագործվող խոշոր լցանյութերի՝ ինչպես հարաբերական քանակի, այնպես էլ նրանց հատիկների չափերի նորմավորված մեծությունների նկատմամբ, ինչն անհրաժեշտ պայման է հանդիսանում սովորական, արդեն ավանդական դարձած թրթռացման տեխնոլոգիայով ստացված բետոնների համար: Սա իհարկե նշանակալից ազդեցություն պետք է ունենա ժամանակի ընթացքում բետոնի հատկությունների փոփոխությունների վրա: Բետոնում խոշոր լիցքի համեմատական գերակշռությունը մի կողմից պետք է բարձրացնի նրա կոշտությունը և մյուս կողմից նվազեցնի նրա կծկումային և սողքային ձևախախտումները: Սակայն ճնշման տակ շաղախի մղման ազդեցությունը բետոնում ընթացող երկարատև պրոցեսների վրա միայն վերոհիշյալով չի սահմանափակվում: Բետոնի հասունացումը հերմետիկ կաղապարում՝ ծավալային համակոդմանի ճնշման առկայության պայմաններում որոշակի դրական ազդեցություն պետք է ունենա նրա ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարելավման վրա: Այն պետք է բարձրացնի բետոնի տարրի կոշտությունը և նվազեցնի նրա կծկումներն ու սողքը: Ներկայացված աշխատանքը մասնակիորեն նվիրված է այս խնդիրների փորձնական և տեսական երկարամյա ուսումնասիրությունների արդյունքների շարադրանքին:

Փորձարկումների համար վերցված են ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված հինգ տարբեր կոնստրուկտիվ բետոններ՝ բազալտի խճով և գետի ավազով, բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով, տեղական (Լոռվա տարածքի) տուֆերի խճով և ավազով, լիթոիդային պեմզայի խճով և ավազով, հրաբխային խարամի խճով և ավազով: Այդ բետոնների կազմը բոլոր փորձերում վերցված է նույնը՝ ստացված արդյունքների համեմատական համադրման նպատակով: Տեսական և երկարատև փորձնական ուսումնասիրության են ենթարկվել՝

- շաղախի մղումով ստացված բետոնների ամրության փոփոխությունը՝ կախված նրա հասունացման ժամանակից,
- ժամանակի ընթացքում շաղախի մղումով և թրթռացման մեթոդով ստացված նույն կազմի բետոնների ամրությունների փոփոխության փորձարկման արդյունքների համեմատական վերլուծությունները,
- հերմետիկ արտակաղապարման ժամանակի ազդեցությունը շաղախի մղման մեթոդով ստացված բետոնի ամրության վրա,
- շաղախի մղումով ստացված բետոնների առաձգականության մոդուլի փոփոխումը կախված հասակից,
- ժամանակի ընթացքում՝ շաղախի մղումով և թրթռացման մեթոդով ստացված բետոնների առաձգականության մոդուլների փոփոխման համեմատությունը,
- արտակաղապարման ժամկետի ազդեցությունը շաղախի մղումով ստացված բետոնների առաձգականության մոդուլների մեծության վրա,
- ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոններում ընթացող կծկումային պրոցեսների առանձնահատկությունները,
- միևնույն կազմի՝ շաղախի մղումով և թրթռացման մեթոդով ստացված բետոնների կծկումային դեֆորմացիաների համեմատությունները,

- արտակադապարման ժամկետի ազդեցությունը մղումով ստացված բետոնի կծկումների վրա,

- շաղախի մղումով ստացված բետոնների սողքը, կախված բեռնավորման պահին դրանց հասակից,

- շաղախի մղումով և թրթռացման մեթոդով ստացված բետոնների սողքի փորձարկման արդյունքների համեմատությունները,

- շաղախի մղումով ստացված բետոնների սողքի չափերը անալիտիկ արտահայտությունը:

Այս խնդիրներն իրագործելու նպատակով ծրագրվել և անց են կացվել փորձնական և տեսական լայնածավալ հետազոտություններ, որոնց արդյունքները ներկայացված են թեզի առաջին չորս գլուխներում:

Որոշ խնդիրների լուծումը հնարավորություն է տվել բետոնից իրականացված տարրերի լարվածադեֆորմացիոն վիճակների որոշման ժամանակ ստացված արդյունքների օգտագործմանը: Գործնական նշանակություն ունեցող խնդիրների լուծումով ցույց է տրված, թե ժամանակի ընթացքում ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների փոփոխություններն ինչ ազդեցություններ են ունենում շաղախի մղումով ստացված բետոնից իրականացված տարրի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի փոփոխությունների վրա:

Բետոնի առաձգապլաստիկական հատկությունների հետևանքների պարզաբանումը լուրջ կարևորություն են ներկայացնում բետոնե և երկաթբետոնե տարրերի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը ճիշտ գնահատելու համար: Հատկապես կառուցվածքի սեյսմակայունության հաշվարկի համար անհրաժեշտ է ունենալ օգտագործվող բետոնի դեֆորմացիոն վիճակի վրա արտաքին բեռների ցիկլիկ օրինաչափությամբ փոփոխության դեպքը: Այստեղ անպայմանորեն անհրաժեշտ է հաշվի առնել ոչ միայն բետոնի առաձգական, այլ, որ առավել կարևոր է, առաձգապլաստիկական վիճակում գտնվելու հանգամանքը: Դեֆորմացվող պինդ մարմնի մեխանիկայի համար հիմնային նշանակություն ունեցող այս խնդիրները հետազոտված և լուծված են թեզի վեցերորդ գլխում:

**Հետազոտությունների մեթոդները:** Բոլոր հետազոտական փորձարկումները պլանավորվել և անց են կացվել գործող տեխնիկական նորմատիվային փաստաթղթերի պահանջներին համապատասխան: Սողքի փորձարկումները կատարվել են ՀԳԱԱ-ի Մեխանիկայի Ինստիտուտի սողքի լաբորատորիայի կողմից մշակված մեթոդիկայով և սաքավորումներով: Ճնշման տակ շաղախի մղումով բետոններն ստացվել են մեր կողմից իրականացված լաբորատոր սաքավորումներով, որոնք ապահովել են այդ տեխնոլոգիայի լիարժեք օգտագործում:

**Աշխատանքի գիտական նորույթը կայանում է՝**

- ուսումնասիրվել է նույն կազմն ունեցող՝ մղման մեթոդով և թրթռացման մեթոդով ստացված բետոնների ամրության, առաձգականության մոդուլի, կծկումների և սողքային դեֆորմացիաների արժեքների համեմատական փոփոխությունները կախված բետոնի հասակից,
- պարզվել է մղման մեթոդով ստացված բետոնների, հերմետիկ կադապարում հաստունանալու ժամանակահատվածից կախված դրա ամրության, առաձգականության մոդուլի, կծկումային դեֆորմացիաների վրա կատարված ազդեցությունները,
- տրվել են ստացված բետոնների ամրության, առաձգականության մոդուլի, կծկումային և սողքային դեֆորմացիաների փոփոխությունների անալիտիկ արտահայտությունները կախված հասակից,
- ուսումնասիրվել է շաղախի մղման մեթոդով ստացված բետոնների առաձգապլաստիկական հատկությունների ուսումնասիրությունը,
- որոշվել է առաձգապլաստիկական վիճակում գտնվող բետոնի դեֆորմացիայի վրա ծախսված առաձգական և պլաստիկ էներգիաները,

- պարզաբանվել է բետոնների ցիկլիկ օրինաչափությամբ փոփոխվող լարումների ազդեցության հետևանքները:

#### **Աշխատանքի գործնական նշանակությունը՝**

- Կատարված փորձնական և տեսական հետազոտությունները հնարավորություն են տալիս ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոնների լայնածավալ գործնական ներդրման համար:
- Մանրակրկիտ փորձարկումները ցույց են տալիս, որ ճնշման տակ շաղախի մղումն իրականացվում է հերմետիկ կադապարում, որի մեջ բետոնի հասունացման պրոցեսը լրացուցիչ դրական լիցք է տալիս նրա ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարելավմանը:
- Փորձերով ստացված սողքի չափերը և առաձգական մոդուլների բետոնի տարիքից կախված փոփոխության օրինաչափություններն ու սահմանային արժեքները, սողքի չափի և առաձգականության մոդուլի արժեքների՝ ժամանակից ֆունկցիոնալ կախվածության անալիտիկ արտահայտությունները հնարավորություն են տալիս կատարել ճնշման տակ շաղախի մղման տեխնոլոգիայով ստացված բետոններից իրականացված տարրերի և կոնստրուկցիաների հաշվարկը՝ բետոնում ընթացող երկարատև պրոցեսների հաշվառմամբ:

#### **Պաշտպանության է ներկայացվում հետևյալ հիմնադրույթները՝**

- Միևնույն կազմն ունեցող, մղման և թրթռացման մեթոդներով ստացված բետոնների պրիզմային սեղման ամրության, առաձգականության մոդուլի, կծկումային և սողքային դեֆորմացիաների փորձարկման արդյունքները կախված բետոնների հասակից:
- Հերմետիկ կադապարում թրթռացման և մղման եղանակներով ստացված բետոնների պրիզմային սեղմման ամրության, առաձգականության մոդուլի և կծկումային դեֆորմացիաների փոփոխման օրինաչափությունները կախված հերմետիկ կադապարում բետոնների հասունացման ժամանակից և հասակից:
- Միևնույն կազմը ունեցող, մղման և թրթռացման մեթոդներով ստացված բետոնների առաձգականության մոդուլի, կծկումային և սողքային դեֆորմացիաների անալիտիկ արտահայտությունները կախված բետոնների հասակից:
- Բետոնների ռելոլոգիական հատկությունների հաշվառմամբ բետոնի և երկաթբետոնի տարրերի և կոնստրուկցիաների լարվածադեֆորմացիոն վիճակների որոշումը:
- Բարձր լարվածությունների տակ բետոնում ընթացող սուր արտահայտված առաձգապլաստիկական հատկությունները:

**Աշխատանքի նախափորձահավանությունը՝** Ատենախոսության հիմնական դրույթները զեկուցվել են Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի 2003-2012 թվականների տարեկան գիտաժողովներում: ԵՃՇՊՀ-ի Շինարարական նյութերի և իրերի ու կոնստրուկցիաների արտադրության տեխնոլոգիայի ամբիոնի, Շինարարական արտադրության տեխնոլոգիայի և կազմակերպման ամբիոնի և ԵրՃՊՆ-ի Վանաձորի կրթահամալիրի մասնագիտական դեպարտամենտի շինարարության և շին. իրերի կոնստրուկցիաների արտադրության ամբիոնի գիտ. սեմինարներում: 2012թ-ի հոկտեմբերի 8-12 Ճաղկաձորում տեղի ունեցած Ն. Հարությունյանի 100 ամյակին նվիրված միջազգային գիտաժողովում, 2013 թ. հուլիսի 29-ից մինչև օգոստոսի 04-ը Թբիլիսի-Բորժոմում կայացած պրոֆեսոր Վ. Ի. Թևադոսյանի հիշատակին նվիրված միջազգային 3-րդ գիտատեխնիկական կոնֆերանսում:

**Աշխատանքի արդյունքների հրապարակումը՝** Հետազոտությունների հիմնական դրույթներն ու գործնական առաջարկությունները հրապարակված են 33 գիտական հոդվածներում, որոնցից 6-ը արտասահմանում և «Շաղախի ներարկումով ստացված բետոնների ռելոլոգիական հատկությունները» թեմայով մենագրությունում:

Աշխատանքի կառուցվածքը և ծավալը՝ Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, վեց գլուխներից, եզրակացություններից, գրականության ցանկից՝ 213 անվանումով, հավելվածից: Ատենախոսության ծավալը կազմում է 280 էջ և բաղկացած է 54 նկարներից, 133 աղյուսակներից: Հավելվածը կազմում է 36 էջ և պարունակում է 66 աղյուսակ:

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՍԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

**Ներածությունում** ներկայացված է աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրն ու խնդիրները:

Բուռն զարգացում ապրող բետոնագիտության մեջ իրենց որոշակի լուծման ունեն հայրենական գիտնականները՝ Մ.Չ. Սիմոնովը, Վ.Հ. Սահակյանը, Վ.Ի. Գրիգորյանը, Պ.Հ. Տեր-Պետրոսյանը, Մ.Հ. Բադալյանը, Կ.Ս. Կարապետյանը, Կ.Ա. Կարապետյանը, Ս.Գ. Եսայանը և ուրիշներ:

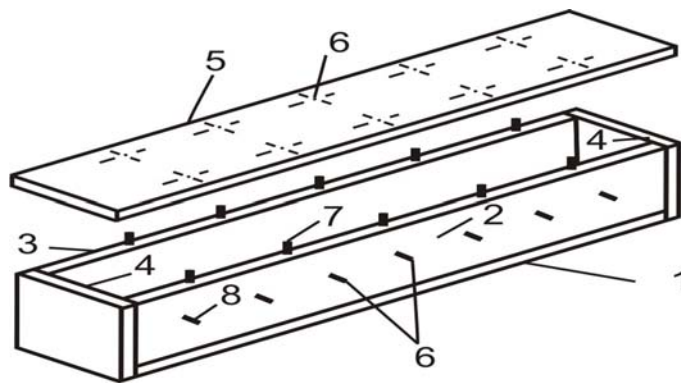
**I գլուխը** նվիրված է ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոնների տեխնոլոգիական առանձնահատկությունների պարզաբանմանը:

Այս մեթոդը մնացած անջատալիցք մեթոդներից տարբերվում է նրանով, որ այստեղ շաղախի մղման համար պահանջվում է հերմետիկ միջավայր (կաղապար): Դա նշանակում է, որ պահանջվող տարրի արտադրության համար պետք է օգտագործվեն այնպիսի կաղապարներ, որոնք կարող են ապահովել պահանջվող հերմետիկությունը և դիմակայեն մղվող շաղախի ճնշմանը:

Ճնշման տակ շաղախի մղումով բետոնի ստացման առաջին քայլը շինարարական տարրի (սյան, հեծանի, ցցի, սալի և այլն) հերմետիկ կաղապարի նախագծումն ու իրականացումն է: Այսպես օրինակ, նկար 1-ում բերված է մղման մեթոդով երկաթբետոնի հեծանի արտադրության համար անհրաժեշտ մետաղական կաղապարի տարբերակ: Կաղապարն ունի հատակ - 1, կողային և ճակատային պատեր - 2,3,4 և կափարիչ - 5: Կափարիչ 5-ը, նրա վրա թողնված հատուկ անցքերով (6), հազցվում է կողային պատերին զոդումով կոշտ միացված ելուստների (7) ձողերին, որոնք վերջանում են պտուտակներով և որոնց միջոցով, կափարիչը տեղադրելուց հետո, համապատասխան հեղուսներով ապահովվում է կափարիչի կոշտ միացումը կաղապարի պատերին:

Հերմետիկությունը կատարյալ կերպով ապահովելու նպատակով կափարիչը ամբողջ պարագծով նստում է կողմնային միստերի վրա ռետինի տակդիրով:

Կողային պատերից մեկի վրա, հատակից 5-10 սմ հեռավորությամբ և իրարից հաշվարկային հեռավորության վրա դասավորված են մղման խողովակային ելուստներ (8), որոնց տրամագիծը համապատասխանում է մղման ռետինե խողովակի տրամագծին (մոտ 2 դյույմ):



Նկ. 1. Շաղախի մղման եղանակով արտադրվող երկաթբետոնի հեծանների համար հերմետիկ մետաղական կաղապար

Անհրաժեշտ քանակության շաղախի մղման ավարտելու մեջ համոզվելու նպատակով հանդիպակած պատին (3) մղման անցքերի նկատմամբ շախմատաձև դասավորված են (այսինքն իրարից նույն հեռավորության վրա, ինչ մղման անցքերը և նույն մակարդակում, բայց տեղաշարժված կես քայլով) հսկման անցքերը, որոնցում շաղախի երևալն ազդարարում է տվյալ ծավալում շաղախն անհրաժեշտ քանակությամբ մղման մասին:

Նախ կաղապարում տեղադրվում է ամրանային կմախքը և այնուհետև խիճը՝ համապատասխան ծավալով: Խճի տեղադրման հետ զուգընթացաբար մուտքային շտուգերների (8) անցքերի ուղղությամբ՝ կաղապարի ներսից տեղադրվում են մետաղալարից պատրաստված (3-5 մմ տրամագծի մետաղալարից) պարուրակներ, որոնք թողնվում են խճի մեջ՝ մղվող շաղախի անարգել մուտքի և մղման զոնան հնարավորինս մեծացնելու նպատակով: Պարուրակները մուտքի անցքում ֆիքսելու նպատակով, դրանք հագցվում են մղման անցքից մտցված փայտյա ձողիկներին: Խճի տեղադրելուց հետո ձողիկները հեռացվում են: Երբ կաղապարի ամբողջ ծավալով տեղադրված է լիցքային խիճը, կափարիչը փակվում է և հեղյուսներով ամուր ձգելով կապվում կաղապարի պատերին: Այս գործողություններն ավարտելուց հետո կաղապարը պատրաստ է ճնշման տակ շաղախը ընդունելու համար:

Մեր կողմից ծրագրված փորձարկումների անցկացման համար մոտավորապես վերը նշված սկզբունքով պատրաստված են մետաղական ֆորմա-կաղապարներ՝ շաղախի մղումով խորանարդիկներ և պրիզմաներ ստանալու նպատակով: Խորանարդիկների ֆորմաներն ունեն 10x10x10 սմ, 15x15x15 սմ և 20x20x20 սմ չափեր, իսկ պրիզմաները՝ 7x7x28 սմ, 10x10x40 սմ, 15x15x60 սմ չափերը: Խորանարդիկներն ստացվում են իրար կողք-կողքի քիպ դասավորված չորսական բջիջներում, այսինքն մեկ ֆորմա-կաղապարից ստացվում է չորս խորանարդիկ: Սա հնարավորություն է տալիս ընդլայնական մեջդիրները հեռացնելով բետոնացնել համապատասխան չափսերի պրիզմաներ՝ 10x10x40, 15x15x60, 20x20x80 սմ: Պրիզմաներ կարելի է ստանալ ինչպես վերը նկարագրած խորանարդային ֆորմաներից, նույնպես և առանձին պրիզմայական կաղապար-ֆորմաներից: Մեկ ֆորմա-կաղապարից կարող են ստացվել երեք պրիզմաներ, որոնք ֆորմայում դասավորված են կողք-կողքի (ըստ լայնության) և իրարից բաժանվում են մետաղի թիթեղից միջնորմով: Այս կաղապարներում շաղախի մղումն իրականացվում է ճակատային պատերի միջնակետում տեղադրած շտուգերից, իսկ շաղախով հագնելու ավարտը ստուգվում է հանդիպակած պատի միջնակետում թողնված անցքից շաղախի երևալով: Ցանկալի է շաղախի մղումն իրականացնել միաժամանակ ամբողջ կաղապարում: Դրա համար անհրաժեշտ է ունենալ 3 մղման խողովակներ: Սակայն որևէ նշանակալից խնդիր չի առաջանում մղումը հերթականությամբ իրականացնելու դեպքում:

Ինչպես խորանարդիկների, նույնպես և պրիզմաների բետոնացումն իրագործվում է հետևյալ հերթականությամբ: Հատակային թիթեղի համապատասխան ակոսներում (պագերում) տեղադրվում են ընդլայնական և ընդերկայնական միջնորմները: Այնուհետև կատարվում է ստեղծված բջիջներում խճալիցքի ներդրումը: Կաղապարն ամբողջ ծավալով (բերնեբերան) խճով լցնելուց հետո տեղադրվում է կափարիչը, որի համապատասխան անցքերը հագնում են հատակի հետ կապող ձողերին և հեղյուսներով ձգվում:

Շաղախի մղման եղանակով բետոնների ստացման տեխնոլոգիայի մյուս կարևոր բաժինը հանդիսանում է անհրաժեշտ կազմի շաղախի պատրաստումը, տեղափոխումը և կաղապարներում ճնշման տակ մղումը: Քննարկենք այս մասի փուլերը հերթականությամբ:

Շաղախի մղման մեթոդը ճիշտ գնահատելու նպատակով, այն համեմատվում է բետոնները (հատկապես թեթև) թրթռացումով տեղադրելու և խտացնելու եղանակի հետ: Տեղադրման թրթռացման տեխնոլոգիան ունի մի շարք բացասական հետեւանքներ, որոնք վերացվում են շաղախի մղման մեթոդով: Դրանցից հատկապես կարևոր են հետևյալները: Թեթև բետոններում թրթռացման ազդեցության տակ թեթև լցանյութը մղվում է ծավալի խորքից դեպի վերին շերտերը՝ ստեղծելով շերտավորված անհամասեռ մասա: Մյուս կողմից թրթռացումով խտացնելու դեպքում անհրաժեշտություն է առաջանում սահմանափակել օգտագործվող խճի հատիկների չափերը, որը հանգեցնում է մի շարք բացասական հետեւանքների: Նախ դա ազդում է խճի արտա-



դրության ինքնարժեքի վրա, պահանջելով ավելի շատ էներգիա և ժամանակ խճի հատիկների մանրացման վրա, մինչև նորմավորումով պահանջվող չափն ապահովելը: Բացի այդ թրթռացման մեթոդը խիստ սահմանափակություն է դնում 1մ<sup>3</sup> ծավալում տեղադրվող խճի քանակի վրա, որը և հանգեցնում է ինչպես բետոնի ընդհանուր ամրության իջեցմանը, նույնպես և կծկումային և սողքային պրոցեսի ակտիվացմանը, քանի որ մեծանում է պահանջվող շաղախի անհրաժեշտ քանակը: Ավելորդ չէ նաև նշել, որ թրթռացման տեխնոլոգիայում օգտագործվող մեխանիզմների առաջացրած արտադրական աղմուկն ու վիբրացիան բացասաբար են ազդում բանվորների առողջության վրա, ստեղծելով արտադրական անցանկալի պայմաններ:

Շաղախի մղման տեխնոլոգիայով ստացված բետոններում կատարվում են հետևյալ հիմնային ստրուկտուրային փոփոխությունները.

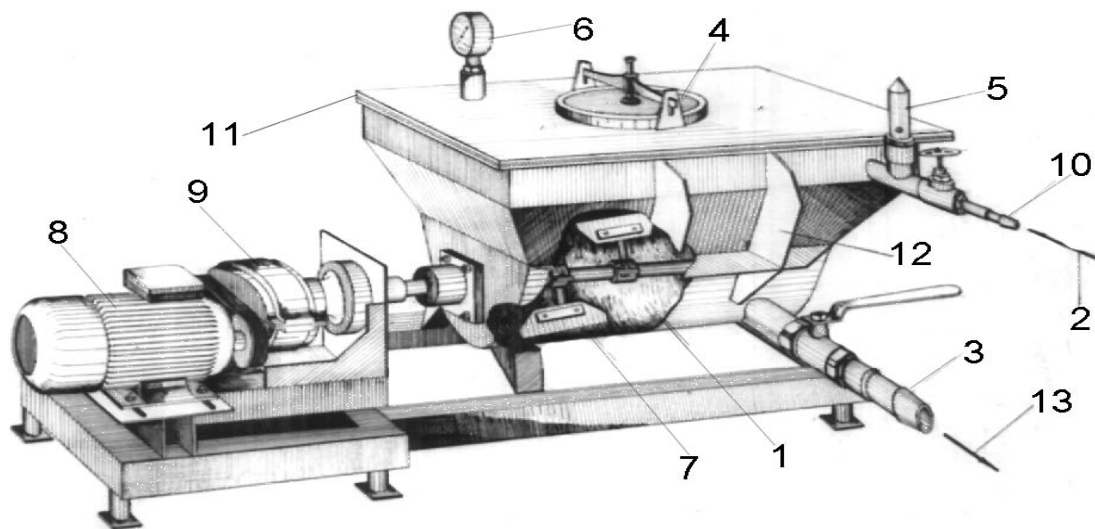
- շաղախի մղումով ներարկումը բարձրացնում է բետոնի խտացման աստիճանը,
- ցածրանում է բետոնում խմորի հարաբերական պարունակությունը,
- ավելանում է խոշորահատիկ լցանյութի հարաբերական ծավալը,
- վերացվում է խոշորահատիկ լցանյութի հատիկների չափի սահմանափակման անհրաժեշտությունը, որը հնարավորություն է տալիս օգտագործել ավելի խոշոր հատիկներով լցանյութ,
- բետոնի տարրի սկզբնական ձևավորումն ու հասունացումը ընթանում է հերմետիկ կաղապարում,
- 0,3-0,4 ՄՊա ճնշման տակ մղվող շաղախը հերմետիկ կաղապարում ստեղծում է համակողմանի ճնշման պայմաններ, որի մեջ ընթանում է բետոնի հասունացումը և որը բարենպաստ ազդեցություն է ունենում ժամանակի ընթացքում բետոնի ամրության և կոշտության բարձրացման, ինչպես նաև նրա սողքի ու կծկումային դեֆորմացիաների կրճատման վրա:

Արտադրությունում շաղախի մղման տեխնոլոգիայի լայնածավալ ներդրման համար անհրաժեշտ է փորձնական և տեսական հետազոտություններով պարզաբանել, թե ինչպիսի օրինաչափությամբ է ազդում բետոնի հասունացման պրոցեսը ժամանակի ընթացքում նրա՝ ամրության և առածգականության մոդուլի աճի, կծկումային դեֆորմացիաների, սողքի վրա:

Քանի որ շաղախի մղման մեթոդով ստացվող բետոնի հասունացման սկզբնական շրջանն ընթանում է հերմետիկ կաղապարում՝ ծավալային ճնշման պայմաններում, ապա անհրաժեշտ է նաև պարզել, թե ինչ ազդեցություն է ունենում արտակաղապարման ժամկետը բետոնի ամրության, առածգականության մոդուլի, կծկումային ձևախախտումների վրա:

Բետոնի հասակից կախված նրա ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների երկարամյա փորձնական ուսումնասիրություններն անց են կացվել բետոնյա և երկաթբետոնյա տարրեր և կոնստրուկցիաներ արտադրող «Բետոն» արտադրական կոոպերատիվի շինարարական լաբորատորիայում (ք. Վանաձոր): Շաղախի մղումով բետոններ ստանալու համար մեր կողմից նախագծվել և իրականացվել է շաղախի պատրաստման և ճնշման տակ մղումով հերմետիկ կաղապարներում ներարկող լաբորատոր սարքավորում, որը կարող է միանվագ պատրաստել և մղել 40 /շաղախ (նկ. 2):

Ուսումնասիրվել են բազալտի խճով և գետի ավազով, բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով, Լեռնապարի տուֆի խճով և ավազով, լիթոիդային պեմզայի խճով և ավազով, հրաբխային խարամի խճով և ավազով բետոնների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների փոփոխության օրինաչափությունները կախված բետոնի հասակից: Այդ բետոնների պատրաստման համար անհրաժեշտ հումքային նյութերն ստացվել են տարբեր առաքող կազմակերպություններից՝ պորտլանդ ցեմենտը – Արարատի ցեմենտի գործարանից, բազալտի խիճը – Սարալի անդեզիտային բազալտի հանքավայրից, լիթոիդային պեմզայի խիճն ու ավազը – Ջրաբեր – Լուսավանի հանքավայրից, հրաբխային խարամի խիճն ու ավազը – Կարմրաշենի հրաբխային խարամի հանքավայրից: Այդ նյութերի համապատասխանությունը առաքող կազմակերպության կողմից ներկայացված տվյալների հետ ստուգվել են մեր լաբորատորիայում:



Նկ. 2. Շաղախի խառնման և մղման խուց, 2 – սեղմած օդի խողովակ, 3 – շաղախի մղման ծորակ, 4 – հերմետիկ կափարիչ, 5 – ճնշման կարգավորիչ, 6 – ճնշման չափիչ (մանոմետր), 7 – շաղախը խառնող թիակներ, 8 – էլ. շարժիչ, 9 – փոխանցման տուփ, 10 – ճնշման տակ 2 խողովակով մղվող օդի մուտք, 11 – ռետինե խցանիչ, 12 – կոշտության կող, 13 – մղվող շաղախի բողարկման խողովակ:

Տուֆաբետոնի մաս կազմող Վանաձորյան նյութերի հատկություններն ուսումնասիրվել են մեր կոռաբերատիվի շինարարական լաբորատորիայում:

**Ատենախոսության II գլուխը** նվիրված է շաղախի մղումով ստացված բետոնների ամրության և առաձգականության մոդուլի փոփոխության օրինաչափությունների բացահայտմանը՝ կախված բետոնի հասակից:

Ամրության փորձարկումները կատարվել են 10x10x40 սմ չափերն ունեցող պրիզմատիկ փորձանմուշների վրա, ստացված շաղախի մղումով և, համեմատության համար՝ թրթռացումով: Փորձարկվել են հինգ տարբեր կազմ ունեցող բետոններ՝ I սերիա – բազալտի խճով և գետի ավազով (համա-պատասխանում է հետևյալ տվյալներին 1/սմ բետոն ստանալու համար օգտագործվել է M-500 մակնիշի Պորտլանդ ցեմենտ՝ 410 կգ, էջմիածնի ավազ՝ 670 կգ, բազալտի խիճ՝ 960 կգ, ջուր՝ 200 լ (այս կազմն ունեցող բետոնը մեր կողմից օգտագործվում է երկաթգծային կոճերի արտադրությունում), II սերիա – բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով (ցեմենտ՝ 350 կգ, ջուր՝ 231 լ, ավազ՝ 563 կգ, խիճ՝ 943 կգ), III սերիա – տուֆաբետոն (բետոն ստանալու համար օգտագործվել է խիճ՝ 714 կգ, ավազ՝ 595 կգ, M-400 մակնիշի ցեմենտ՝ 410 կգ, ջուր՝ 281 լ: Փոշեմասնիկների զանգվածը 1/սմ բետոնում 143 կգ էր), IV սերիա – լիթոիդային պեմզայի խճով և ավազով (ցեմենտ M-400՝ 350 կգ, ջուր՝ 227 լ, ավազ՝ 510 կգ, խիճ՝ 750 կգ), V սերիա – հրաբխային խարամի խճով և ավազով (ցեմենտ M-500՝ 400 կգ, ջուր՝ 340 լ, ավազ՝ 460 կգ, խիճ՝ 490 կգ): Շաղախի մղումով ստացված նմուշները նշահարվել են «Ն» (ներարկում) ինդեքսով՝ IՆ, IIՆ, IIIՆ, IVՆ, VՆ, իսկ թրթռացումով ստացված նմուշները՝ «Թ» (թրթռացում) ինդեքսով՝ IԹ, IIԹ, IIIԹ, IVԹ, VԹ:

Նմուշները կաղապարագատվել են մեկ օրեկան հասակում և փորձարկվել սեղմման  $t=7, 14, 28, 60, 90, 120, 150$  և  $300$  օրեկան հասակներում: Ամեն մի տարիքում փորձարկվել են երեքական նմուշներ և համեմատության մեջ են դրվել դրանց միջին արժեքները:

Աղյուսակ 1-ում որպես օրինակ ներակայացված են բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի սեղմման փորձարկման արդյունքները՝ IIՆ – շախաղի մղումով ստացված և IIԹ – թրթռացումով ստացված նմուշների փորձարկումից (IIՆ(1) – փակագծի 1-ը ցույց է տալիս, որ փորձանմուշները հերմետիկ կաղապարից ազատվել են բետոնացման պահից մեկ օր հետո):

**Քաղալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի(II) ամրությունն ըստ փորձարկման օրերի ՄՊա-ով**

<i>t</i> օր	II-Ն				<i>t</i> օր	II-Թ			
	1	2	3	միջ.		1	2	3	միջ.
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
7	11,20	10,50	10,10	10,60	7	9,26	9,53	10,10	9,63
14	14,10	14,20	14,93	14,41	14	13,29	12,42	12,51	12,74
28	19,40	20,70	19,60	19,90	28	18,82	17,94	17,66	18,14
60	26,36	26,17	26,52	26,35	60	23,83	23,77	24,28	23,96
90	28,46	28,32	28,12	28,30	90	24,44	24,27	24,34	24,35
120	26,68	28,19	30,76	29,31	120	26,35	26,23	26,56	26,38
150	28,76	30,12	29,17	29,35	150	26,43	26,51	26,68	26,54
300	30,24	29,74	28,73	29,57	300	26,58	26,57	26,74	26,63

Աղյուսակ 2-ում ներկայացված է երկրորդ սերիայի երկու տարբեր տեխնոլոգիաներով ստացված փորձանմուշների միջին ամրությունների տարբերություններն ըստ փորձարկման օրերի:

**II-Ն և II-Թ փորձանմուշների ամրության փորձարկումներից ստացված տարբերությունն ըստ օրերի**

օր	7	14	28	60	90	120	150	300
տարբ.	0,97	1,67	1,76	2,39	3,95	2,93	2,81	2,94
աճը%	10,07	13,11	9,70	9,97	16,22	11,11	10,59	11,04

Ինչպես երևում է այս փորձարկման արդյունքներից, քաղալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի համար մղման և թրթռացման մեթոդներով ստացված նմուշների ամրությունների տարբերությունը, երբ կաղապարազատումը կատարվում է 1 օրեկան հասակում, գտնվում է 10-15%-ի սահմաններում:

I, III, IV, և V սերիայի բետոնների սեղմման մամանատիպ փորձարկումները ցույց են տվել, որ մեկ օրեկան հասակում արտակաղապարված շաղախի մղումով ստացված քաղալտի խճով և գետի ավազով բետոնի, տուֆաբետոնի, լիթոիդային պեմզաբետոնի և հրաբխային խարամաբետոնի պրիզմային ամրությունները մինչև 14%-ով գերազանցում են թրթռացումով ստացված նույն բետոնների ամրությունից:

Ժամանակի ընթացքում բետոնների ամրության աճի փորձնական գրաֆիկները բավական հաջող ապրոկսիմացիայի են ենթարկվում հետևյալ էմպիրիկ բանաձևով՝

$$R(t) = R(t_0) \{ a(t_0) - [a(t_0) - 1] e^{-b(t-t_0)} \}, \quad (1)$$

որտեղ  $a$ -ն և  $b$ -ն – համապատասխան փորձերով ստացվող գործակիցներ են,  $R(t)$ -ն բետոնի ամրությունն է ժամանակի ցանկացած  $t$  պահին,  $R(t_0)$ -ն նույն բետոնի ամրությունն է բեռնավորման սկզբնական  $t = t_0$  պահին:  $b$ -ն կախված է միայն բետոնի տեսակից և տվյալ բետոնի համար անկախ է  $t$ -ի և  $t_0$ -ի արժեքներից: Տվյալ բետոնի  $a$  և  $b$  պարամետրերի արժեքները որոշելու համար  $t$  ժամանակի երեք տարբեր մեծությունների համար

( $t=t_0, t=t_1, t=t_2$ ) որևէ եղանակով (նմուշների քայքայումով կամ առանց քայքայման) որոշվում է ամրությունը՝  $R(t_0)$ -ն,  $R(t_1)$ -ը և  $R(t_2)$ -ը: Այնուհետև որոշվում է  $b$ -ն հետևյալ հավասարումից՝ թվային տեղադրման հաջորդական մոտեցումներով, կանգ առնելով  $b$ -ի այն արժեքի վրա, որի դեպքում հավասարումը կբավարարի

$$\frac{1 - e^{-b(t_1-t_0)}}{1 - e^{-b(t_2-t_0)}} = \frac{R(t_1) - R(t_0)e^{-b(t_1-t_0)}}{R(t_2) - R(t_0)e^{-b(t_2-t_0)}} : \quad (2)$$

Ունենալով  $b$ -ն, որոշում ենք  $a(t_0)$ -ի արժեքները՝

$$a(t_0) = \frac{R(t_1) - R(t_0)e^{-b(t_1-t_0)}}{1 - e^{-b(t_1-t_0)}} : \quad (3)$$

$a$ -ի և  $b$ -ի ստացված արժեքներն ստուգվում են հետևյալ բանաձևով՝

$$a(t_0) = \frac{R(t_2) - R(t_0)e^{-b(t_2-t_0)}}{1 - e^{-b(t_2-t_0)}} : \quad (4)$$

Ինչպես արդեն նշեցինք,  $b$ -ն տվյալ բետոնի համար հաստատուն մեծություն է և կախված չէ  $t_0, t_1, t_2$  արժեքներից: Իսկ  $a$  գործակցի արժեքը, բացի բետոնի տեսակից, կախված է նաև  $t_0$ -ից:  $t_0$ -ի երկու արժեքների համար ( $t_0 = \tau_1; t_0 = \tau_2$ ) պետք է պահպանվի հետևյալ հավասարությունը՝

$$a(t_1) \times R(t_1) = a(t_2) \times R(t_2) = R(\infty) : \quad (5)$$

Այսպես օրինակ, վերցնենք բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով՝ մեր կողմից ընդունված կազմով շաղախի մղումով ստացված բետոնի փորձարկման արդյունքները (աղյուսակ 1):  $t_0 = 7$  օրեկան հասակում բետոնի ամրությունը՝  $R(t_0) = R(7) = 10,6$  ՄՊա է:  $t_1 = 14$  և  $t_2 = 28$  օրեկան հասակներում - բետոնի ամրությունն է  $R(t_1) = R(14) = 14,41$  ՄՊա և  $R(t_2) = R(28) = 19,9$  ՄՊա: Այս մեծությունները տեղադրելով (2) բանաձևում որոշում ենք այս բետոնի համար  $b$ -ն՝  $b = 0.0319$  1/օր:  $R(7)$ ;  $R(14)$ ;  $R(28)$  և  $b$ -ն տեղադրելով (3)-ում, որոշում ենք՝  $a(7) = 2,797$ : Այսպիսով, ունենալով  $R(t_0) = R(7)$ ,  $a(7)$ ,  $b$  մեծությունները, կարող ենք (1) անալիտիկ բանաձևով որոշել շաղախի մղման եղանակով ստացված բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի (նշված կազմով) ամրությունը ցանկացած ընթացիկ  $t$  ժամանակում: Օրինակ, ենթադրենք պահանջվում է տեսականորեն որոշել բետոնի սպասվելիք ամրությունը  $t = 90$  օրեկան հասակում, այսինքն  $R_{տ}(90)$ -ը: Օգտվենք (1) բանաձևից՝

$$R_{տ}(90) = 10.6 [2.797 - 1.797 e^{-0.0319(90-7)}] = 29.05 \text{ ՄՊա} \quad (6)$$

Այսպիսով (1) Էմպիրիկ բանաձևով ստացված  $R_{տ}(90) = 29,05$  ՄՊա արդյունքի տարբերությունը (տ-ինդեքսը դրված է փորձնականով ստացվածից տարբերելու նպատակով) փորձով ստացված 28,3 ՄՊա արդյունքից տարբերվում է 0,75 ՄՊա-ով, որը կազմում է 28,3-ի 2,65 %-ը:

Անհրաժեշտ է նշել, որ (1) բանաձևը ունի նաև հետադարձ կիրառություն: Սա նշանակում է, որ ունենալով  $b$ ,  $a(t_0)$ ,  $R(t_0)$  մեծությունները, կարող ենք որոշել, թե ինչպիսին է եղել բետոնի ամրությունը անցած ցանկացած  $t < t_0$  տարիքում : Այսպես օրինակ, փորձով ունենալով  $R(90) = 28,3$  ՄՊա,  $a(90) = 1,0477$ ,  $b = 0,0319$ , (1) բանաձևով կարող ենք որոշել, թե ինչպիսին է եղել բետոնի ամրությունը  $t = 7, 14, 28, 60$  օրեկան հասակներում, այսինքն՝  $R_{տ}(7) = 10,59$  ՄՊա,  $R_{տ}(14) = 14,402$  ՄՊա,  $R_{տ}(28) = 19,894$  ՄՊա և  $R_{տ}(60) = 26,14$  ՄՊա: (1) բանաձևով ստացված այս մեծությունները փորձնական ամրությունից տարբերվում են համապատասխանաբար  $t = 7$  օր հասակում՝

$$R(7) - R_{\text{in}}(7) = 10,6 - 10,59 = 0,01 \text{ ՄՊա},$$

(կազմում է 0,09%),  $t = 14$  օր հասակում՝

$$R(14) - R_{\text{in}}(14) = 14,41 - 14,402 = 0,008 \text{ ՄՊա},$$

(կազմում է 0,056%),  $t = 28$  օր հասակում՝

$$R(28) - R_{\text{in}}(28) = 19,90 - 19,894 = 0,006 \text{ ՄՊա},$$

(կազմում է 0,03%),  $t = 7$  օր հասակում

$$R(60) - R_{\text{in}}(60) = 26,35 - 26,14 = 0,21 \text{ ՄՊա},$$

(կազմում է 0,797%):

Ինչպես ցույց են տվել այլ տեխնոլոգիաներով և տարբեր կազմ ունեցող բետոնների ամրության փորձարկման արդյունքների հետ (1) բանաձևի համեմատական վերլուծությունները, գալիս ենք այն համոզման, որ այդ բանաձևը կարող է բավարար ընդունելություն գտնել մասնաշաղկապների համար: Այսպես օրինակ, սովորական տեխնոլոգիայով (թրթռացումով) ստացված բոլոր հինգ բետոնների համար (IԹ, IIԹ, IIIԹ, IVԹ և VԹ – սերիաներ) (1) բանաձևը փորձի արդյունքների հետ տալիս է բավական լավ համընկնում: Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայով բետոնի համար (IIԹ սերիա), օգտվելով աղյուսակ 1-ում բերված փորձի արդյունքներից, գտնում ենք, որ՝

$$b = 0,0366 ; a(7) = 2,7654 ; a(14) = 1,9768 ,$$

$$a(28) = 1,4205 ; a(60) = 1,0856 ;$$

$$a(90) = 1,0316 ; a(120) = 1,0138 .$$

Ունենալով, օրինակ՝  $t = 28$  օրեկան հասակում փորձով ստացված  $R(28) = 18,14 \text{ Մպա}$  արժեքը, որոշենք, թե ինչպիսին պետք է լինի բետոնի ամրությունը  $t = 60, 90, 120, 150, 300$  օրեկան հասակում՝  $R_{\text{in}}(60)$ -ը,  $R_{\text{in}}(90)$ -ը,  $R_{\text{in}}(120)$ -ը,  $R_{\text{in}}(150)$ -ը,  $R_{\text{in}}(300)$ -ը: Ըստ (1) բանաձևի

$$R_{\text{in}}(60) = 18,3[1,4205 - 0,4205 e^{-0,0366 \times 32}] = 23,6 \text{ ՄՊա},$$

որը փորձի արդյունքից տարբերվում է՝

$$R_{\text{in}}(60) - R(60) = 23,61 - 23,42 = 0,19 \text{ ՄՊա}$$

չափով: Տարբերությունը կազմում է ընդամենը 0,81%:

$$R_{\text{in}}(90) = 18,3[1,4205 - 0,4205 e^{-0,0366 \times 62}] = 25,2 \text{ ՄՊա},$$

Բացարձակ տարբերությունը փորձի տվյալի հետ կազմում է 0,08 ՄՊա:  $t = 300$  օր հասակում ըստ բանաձևի սպասվում է  $R_{\text{in}}(300) = 26 \text{ ՄՊա}$  ամրություն, որը փորձնական միջինից տարբերվում է 0,11 ՄՊա-ով: Իհարկե, եթե համեմատենք առանձին (ոչ թե միջինացված) փորձի արդյունքների հետ, ապա կարող է և ստացվել այլ տարբերություններ: Այսպես օրինակ IVԹ սերիայի դեպքում – 1,2,3 նմուշների ցույց տված ամրությունն առանձին-առանձին տեսականից տարբերվում են համապատասխանաբար՝ 0,12; 0,084; 0,63 ՄՊա-ով, որոնց միջինը կազմում է 0,11 ՄՊա:

IIԹ սերիայի մյուս տարիքների համար՝  $R_{\text{in}}(120) = 25,73 \text{ ՄՊա}$ ,  $R_{\text{in}}(150) = 29,91 \text{ ՄՊա}$ , որոնք փորձի միջինից տարբերվում են համապատասխանաբար – 0,65 և 0,77 ՄՊա-ով:

Թրթռացման մեթոդով ստացված լիթոիդային պեմզայի խճով և ավազով բետոնի համար (IV սերիա)  $b = 0,0443$ ;  $a(7) = 3,4768$ ,  $a(14) = 2,0938$ ,  $a(28) = 1,3907$  և այլն: Այս բետոնի համար նույնպես կատարենք մի քանի համեմատական հաշվարկներ՝ տեսական և փորձնական արդյունքների միջև: Օրինակի համար, հիմք ունենալով  $R(28) = 14,5 \text{ ՄՊա}$  արժեքը (1) բանաձևով գտնում ենք, որ  $t = 60, 90, 120, 150, 300$  օրեկան հասակներում տվյալ բետոնի համար սպասվում են ամրության հետևյալ արժեքները՝  $R_{\text{in}}(60) = 18,84 \text{ ՄՊա}$ ,  $R_{\text{in}}(90) = 19,93 \text{ ՄՊա}$ ,  $R_{\text{in}}(120) = 20,19 \text{ ՄՊա}$ ,  $R_{\text{in}}(150) = 20,32 \text{ ՄՊա}$ ,  $R_{\text{in}}(300) = 20,38 \text{ ՄՊա}$ , որոնք տարբերվում են փորձնական միջինից համապատասխանաբար՝ 0,12; 0,13; 0,14; 0,18 և 0,17 ՄՊա-ով:

Որպես օրինակ աղյուսակ 3-ում բերված են՝  $a(t_0)$  և  $b$  պարամետրերի արժեքների տվյալներ, ստացված բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով (II սերիա), լիթոիդային

պենզայի ավազով և խճով (IV սերիա), հրաբխային խարամի խճով և ավազով բետոնների փորձարկումներով (V սերիա):

Աղյուսակ 3

*II, IV, V սերիաների համար  $b$  և  $a(t_0)$*

*Հմայիրիկ գործակիցների արժեքները*

Օրերը	7	14	28	60	90	120	150	$b$
1	2	3	4	5	6	7	8	10
$a$ [IIԳ(1)]	2,80	2,06	1,49	1,00	1,05	1,02	1,01	0,03
$a$ (IIՔ)	2,76	1,98	1,42	1,07	1,03	1,01	1,01	0,04
$a$ [IVԳ(1)]	3,47	2,10	1,40	1,07	1,02	1,02	1,01	0,04
$a$ (IVՔ)	3,48	2,09	1,39	1,08	1,02	1,01	1,00	0,04
$a$ [VԳ(1)]	3,48	2,29	1,49	1,10	1,03	1,01	1,00	0,04
$a$ (VՔ)	3,95	2,33	1,50	1,11	1,03	1,01	1,00	0,04
$a$ [IIԳ(7)]	2,80	2,05	1,49	1,12	1,06	1,01	1,01	0,03
$a$ [IVԳ(7)]	3,46	2,10	1,40	1,07	1,05	1,02	1,00	0,04
$a$ [VԳ(7)]	3,83	2,29	1,49	1,10	1,03	1,01	1,00	0,04
$a$ [IIԳ(14)]	-	2,05	1,49	1,12	1,06	1,01	1,00	0,03
$a$ [IVԳ(14)]	-	2,10	1,40	1,07	1,01	1,00	1,00	0,04
$a$ [VԳ(14)]	-	2,30	1,49	1,10	1,03	1,01	1,00	0,04
$a$ [IIԳ(28)]	-	-	1,49	1,11	1,05	1,01	1,00	0,04
$a$ [IVԳ(28)]	-	-	1,40	1,07	1,01	1,00	1,00	0,05
$a$ [VԳ(28)]	-	-	1,49	1,10	1,03	1,01	1,00	0,04
$a$ [IIԳ(60)]	-	-	-	1,14	1,06	1,01	1,00	0,03
$a$ [IVԳ(60)]	-	-	-	1,07	1,01	1,00	1,00	0,04
$a$ [VԳ(60)]	-	-	-	1,11	1,04	1,01	1,00	0,04

Ունենալով այդ պարամետրերի մեծությունները և օգտվելով (1) բանաձևից, հեշտությամբ կարելի է որոշել տվյալ բետոնի ամրությունը նրա ցանկացած  $t$  տարիքում, հիմքում ունենալով  $b$ -ն,  $a(t_0)$ -ն և  $R(t_0)$ -ն:

Շաղախի ներարկումով ստացած բետոնների հասունացումը ժամանակի ընթացքում և այդ հասունացմանը զուգընթաց դրանց ամրության աճը ցույց է տալիս, որ անփոփոխ չի կարող մնալ նաև բետոնի տարրի ձևախախտումային հատկությունները կախված նյութի հասակից: Սեղմման ժամանակ բետոնի դեֆորմացիոն դրսևորումները բնորոշող հիմնական ֆիզիկական բնութագիրը դրա առաձգականության (Յունգի) մոդուլն է՝  $E$ -ն:

Պարզաբանելու համար, թե ճմշման տակ շաղախի մղման տեխնոլոգիան ինչպես է ազդում ժամանակի ընթացքում բետոնի առաձգականության մոդուլի փոփոխության վրա (կախված բետոնի հասակից)՝ անց են կացվել համապատասխան լաբորատոր փորձարկումներ: Փորձարկումային հետազոտությունների համար վերցվել են նախորդ պարագրաֆում քննարկված հինգ տիպի բետոնները միևնույն կազմով՝ բազալտի խճով և գետի ավազով, բազալտի խճով և լիթոիդային պենզայի ավազով, տուֆաբետոն, լիթոիդային պենզայի խճով և ավազով, հրաբխային խարամի խճով և ավազով:

Փորձարկման համար պրիզմային նմուշները պատրաստվել են  $7 \times 7 \times 28$  սմ չափի: Առանցքային սեղմող ուժի տակ առաջացած ընդերկայնական դեֆորմացիաները չափվել են 0.001 միկրոն ճշտությունն ապահովող ինդիկատորներով, որոնք տեղադրվել են պրիզմայի չորս հակադիր նիստերի վրա՝ 200 մմ բազայով (նկ.3):

Միաժամանակ համապատասխան կաղապարներում բետոնացվել են միևնույն բետոնից ճմշման տակ շաղախի մղումով ստացված 15 նմուշ և թրթռացումով ստացված երեք նմուշ: Դճման տակ շաղախի մղումով ստացված տվյալ բետոնի երեքական նմուշներ հերմետիկ

կադապարից ազատվել են  $t=1, 7, 14, 28$  և  $60$  օրեկան հասակում: Մեկ օրեկան հասակում արտակադապարված շաղախի մոլոմով և թրթռացումով ստացված մմուշները սեղմման փորձարկման են ենթարկվել  $\tau=7, 14, 28, 60, 90, 120, 150$  և  $300$  օրեկան հասակներում:

Փորձարկման արդյունքներն աշխատանքում ներկայացված են աղյուսակների և այդ աղյուսակների տվյալների հիման վրա կառուցված գրաֆիկների տեսքով: Որպես օրինակ այստեղ աղյուսակ 4-ում ներկայացված են հրաբխային խարամաբետոնի փորձարկումից ստացված տվյալները՝ բերված հրաբխային խարամաբետոնի  $\tau=1$  օրեկան հասակում արտակադապարված մմուշների համապատասխան փորձարկումներից:



**Նկ.3. Պրիզմաների  
դեֆորմացիոն փորձարկումը**

**Աղյուսակ 4**

***Հրաբխային խարամաբետոնի առաձգականության  
մոդուլը ( $V$  սերիա)***

օր	E-Vն(1) $\times 10^{-4}$ ՄՊա			
	1	2	3	միջ.
1	2	3	4	5
7	0,531	0,515	0,528	0,525
14	0,791	0,726	0,766	0,761
28	1,055	1,039	1,052	1,049
60	1,258	1,272	1,261	1,264
90	1,322	1,331	1,317	1,323
120	1,343	1,351	1,332	1,342
150	1,347	1,353	1,342	1,347
300	1,351	1,356	1,349	1,352

օր	E-Vն(1) $\times 10^{-4}$ ՄՊա			
	1	2	3	միջ.
1	2	3	4	5
7	0,477	0,480	0,472	0,476
14	0,691	0,687	0,697	0,692
28	1,032	0,861	0,964	0,952
60	1,081	1,138	1,224	1,148
90	1,281	1,157	1,169	1,202
120	1,283	1,164	1,216	1,221
150	1,287	1,169	1,219	1,225
300	1,291	1,181	1,223	1,232

Աղյուսակ 5-ում ներկայացված է շաղախի ներարկումով և թրթռացումով ստացված խարամաբետոնի փորձանմուշների ժամանակի ընթացքում փոփոխվող առաձգականության մոդուլների միջին արժեքների տարբերությունները՝ արտահայտված տոկոսներով, երբ արտակադապարումներն իրականացվում են  $\tau=1$  օրեկան հասակում:

**ՄԵ և ՄԹ սերիայի առաձգ. մոդուլների տարբ., երբ  $\tau = 1$  օր**

$t$ օր	7	14	28	60	90	120	150	300
տարբ.	0,049	0,069	0,097	0,116	0,121	0,121	0,122	0,120
աճը%	10,29	9,97	10,19	10,11	10,07	9,91	9,96	9,74

Շաղախի մոդուլը ստացված բետոնյա և երկաթբետոնյա տարրերը կազմավորվում և սկզբնական ամենաակտիվ հաստնացման շրջանում գտնվում են հերմետիկ կաղապարում՝ արտաքինապես հաղորդած ծավալային ճնշման պայմաններում: Այս կարևորագույն պայմանը վճռական նշանակություն ունի շաղախի մոդուլը ստացված բետոնի տարրերի ամրությունը, առաձգականության մոդուլը, կծկումները, սողքային հատկությունները ճիշտ գնահատելու գործընթացում:

Նախ հերմետիկ կաղապարային պայմանները, ինչպես լաբորատոր փորձարկումներով պարզված է ատենախոսության III գլխում, զգալի կերպով նվազեցնում են կծկումային ձևախախտումները: Սա հանգեցնում է կծկումային լարումների բացասական դերի սահմանափակմանը, այսինքն տարրի ամրության և կոշտության բարձրացմանը: Սրան գումարվում է նաև այն, որ ճնշման տակ շաղախի ներարկումը հերմետիկ կաղապարում ստեղծում է սեղմող ծավալային լարումների դաշտ, որի ազդեցության տակ էլ ընթանում է տարրի հաստնացումը: Այս հանգամանքը ևս որոշակի դրական ազդակ է տարրի ամրության և կոշտության բարձրացման համար: Շաղախի մոդան մեթոդին յուրահատուկ այս կարևոր գործոնները ճիշտ գնահատելու նպատակով շաղախի մոդուլը ստացված վերոհիշյալ բետոններից երեքական նմուշներ հերմետիկ կաղապարից ազատվել են համապատասխանաբար  $t = 7, 14, 28$  և  $60$  օրեկան հասակներում: Ամրության փորձարկումների աղյուսակավորված տվյալները և այդ տվյալների հիման վրա կառուցած գրաֆիկները որոշակի կերպով բացահայտում են կաղապարազատման ժամկետի ազդեցությունը շաղախի մոդուլը ստացված բետոնների ամրության աճի վրա:

Աղյուսակ 6 և 7-ում ներկայացված է բազալտի խճի և լիթոիդային պեմզայի ավազից պատրաստված բետոնների պրիզմային ամրության փոփոխությունների օրինաչափությունը կախված բետոնի հասակից և հերմետիկ կաղապարում հաստնանալու ժամանակահատվածից, այն համեմատելով մեկ օրեկան հասակում արտակաղապարված մոդան և թրթռացան մեթոդներով ստացված բետոնների ամրության փոփոխության օրինաչափությունների հետ:

**Աղյուսակ 6****Մոդան մեթոդով ստացված II սերիայի բետոնի ամրության արժեքները կախված արտակաղապարման ժամկետներից**

ստացման մեթոդ	բետոնի հասակը արտակաղապարման ժամանակ (օր)	7 օր		14 օր		28 օր		60 օր		90 օր		120 օր		150 օր		300 օր	
		ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %
մոդան	1	10.60	-	14.41	-	19.90	-	26.35	-	28.30	-	29.31	-	29.35	-	29.58	-
	7	11.14	5.09	15.12	4.93	20.78	4.42	27.51	4.0	29.53	4.35	30.58	4.33	30.76	4.08	31.04	4.97
	14	-	-	15.44	7.15	21.28	6.94	28.17	6.91	30.25	6.89	31.26	7.02	31.43	7.09	31.69	7.71



**Աղյուսակ 6-ի շարունակություն**

	28	-	-	-	-	21.54	8.24	28.49	8.12	30.61	8.16	31.64	7.95	31.81	8.38	32.05	8.39
	60	-	-	-	-	-	-	28.90	9.68	30.98	9.47	31.97	9.45	32.12	9.44	32.39	9.54

**Աղյուսակ 7**

**II Ն և II Թ փորձանմուշների ամրության արդյունքները կախված արտակաղապարման ժամկետներից**

բետոնի ստացման մեթոդը	բետոնի հասակը արտակաղապարման ժամանակ (օր)	7 օր		14 օր		28 օր		60 օր		90 օր		120 օր		150 օր		300 օր	
		ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %	ամրություն ՄՊԱ	աճը %
բլրապատման մեթոդ	1	9.63	-	12.74	-	18.14	-	23.96	-	24.35	-	26.33	-	26.54	-	26.63	-
մղման մեթոդ	7	11.14	15.68	15.12	18.68	20.78	14.55	27.51	14.80	29.58	21.20	30.58	15.92	30.76	22.35	31.04	16.5
	14	-	-	15.44	21.19	21.28	17.3	28.17	17.57	30.25	24.23	31.26	18.5	31.43	18.4	31.69	19.00
	28	-	-	-	-	21.54	18.74	28.49	18.91	30.61	27.60	31.64	19.94	31.81	26.53	32.05	20.3
	60	-	-	-	-	-	-	28.90	20.62	30.98	27.22	31.97	21.20	32.12	21.02	32.39	21.6

Աղյուսակ 8-ում ի մի են բերված այդ փորձարկումների վերջնական արդյունքները մղումով ստացված I, II, III, IV և V սերիայի բետոնների համար: Այստեղ տրված են տարբեր ժամանակներում արտակաղապարված նմուշների ամրության աճը նույն նմուշների մեկ օրեկան հասակում կաղապարազատման դեպքում ցույց տված ամրության նկատմամբ՝ տոկոսներով:

**Աղյուսակ 8**

**Արտակաղապարման ժամկետի ազդեցությունը 300 օրեկան բետոնների ամրության վրա արտահայտված տոկոսներով**

բետոնը տեսակը	Արտակաղապարմա ժամկետը (օր)			
	7	14	28	60
I սերիա	4.9	7.09	8.53	9.56
II սերիա	4.97	7.71	8.39	9.54
III սերիա	10.31	12.07	13.49	14.66
IV սերիա	5.17	7.02	8.57	9.62
V սերիա	6.28	8.18	9.32	10.46

Արտակաղապարման ժամկետի ազդեցությունը բետոնի առաձգականության մոդուլի մեծության վրա փորձարկվել է բոլոր հինգ բետոններից իրականացված փորձանմուշների վրա,

դրանցից ստացված նմուշները կադապարագատելով նույն՝  $t=7, 14, 28, 60$  օրեկան հասակներում: Աշխատանքում աղյուսակներում և գրաֆիկորեն ներկայացված են այդ փորձարկումներից ստացված արդյունքները:

Աղյուսակներ 9-ում և 10-ում ներկայացված են հրաբխային խարամի խճով և ավազով պատրաստված բետոնների առաձգականության մոդուլի փոփոխությունների օրինաչափությունները կախված բետոնի հասակից և հերմետիկ կադապարում հասունանալու ժամանակահատվածից, այն համեմատելով մեկ օրեկան հասակում արտակադապարված մղման և թրթռացման մեթոդներով ստացված բետոնների առաձգականության մոդուլի փոփոխության օրինաչափությունների հետ (աղյուսակ 9 և 10):

**Աղյուսակ 9**

**Մղման մեթոդով ստացված  $V$  սերիայի բետոնների  
առաձգականության մոդուլի արժեքները՝ կախված բետոնի հասակից  
և արտակադապարման ժամկետներից**

բետոնի ստացման մեթոդը	բետոնի հասակը ար- տակադապարման ժամանակ (օր)	7 օր		14 օր		28 օր		60 օր		90 օր		120 օր		150 օր		300 օր	
		$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %
մղման մեթոդ	1	0,525	-	0,761	-	1,049	-	1,264	-	1,323	-	1,342	-	1,347	-	1,352	-
	7	0,564	7,43	0,815	7,10	1,125	7,25	1,351	6,88	1,471	7,11	1,435	6,93	1,442	7,05	1,446	6,95
	14	-	-	0,821	7,84	1,129	7,63	1,358	7,44	1,424	7,63	1,447	7,82	1,452	7,80	1,459	7,91
	28	-	-	-	-	1,140	8,68	1,372	8,54	1,435	8,47	1,457	8,57	1,466	8,83	1,469	8,65
	60	-	-	-	-	-	-	1,382	9,34	1,448	9,45	1,470	9,54	1,481	9,95	1,487	9,99

**Աղյուսակ 10**

**Մղման և թրթռացման մեթոդներով ստացված  $V$  սերիայի (հրաբխային խարամ) նմուշների  
առաձգականության մոդուլի արժեքները կախված հասակից և արտակադապարման  
ժամկետներից**

բետոնի ստացման մեթոդը	բետոնի հասակը ար- տակադապարման ժա- մանակ (օր)	7 օր		14 օր		28 օր		60 օր		90 օր		120 օր		150 օր		300 օր	
		$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %	$E \cdot 10^{-4}$ ՄՊԱ	աճը %
թրթռացման մեթոդ	1	0,476	-	0,692	-	0,952	-	1,148	-	1,202	-	1,221	-	1,225	-	1,232	-

մղման մեթոդ	7	0,564	18,49	0,815	17,78	1,125	18,17	1,351	17,68	1,417	17,89	1,435	17,53	1,442	17,71	1,446	17,3
	14	-	-	0,821	18,64	1,129	18,59	1,358	18,29	1,424	18,47	1,447	18,51	1,452	18,53	1,459	18,43
	28	-	-	-	-	1,140	19,75	1,372	19,1	1,435	19,38	1,457	19,33	1,466	19,67	1,769	19,24
	60	-	-	-	-	-	-	1,382	20,38	1,448	20,47	1,470	20,39	1,481	20,90	1,487	20,71

Աղյուսակ 11-ում ներկայացված է , II, III, IV, V սերիայի մոդուլների առաձգականության մոդուլների 300 օրեկան հասակներում ունեցած արժեքների աճը, կախված արտակաղապարման ( $t=7, 14, 28, 60$  օրեկան) ժամկետներից, համեմատելով մեկ օրեկան հասակում արտակաղապարված մոդուլների առաձգականության մոդուլի սահմանային (300 օրեկան հասակում) միջին արժեքի նկատմամբ:

Աղյուսակ 11

**Արտակաղապարման ժամկետի ազդեցությունը բետոնների առաձգականության մոդուլի վրա արտահայտված տոկոսներով**

բետոնի տեսակը	Արտակաղապարմա ժամկետը (օր)			
	7	14	28	60
I սերիա	3.7	5.18	6.08	6.7
II սերիա	4.19	5.31	6.32	7.33
III սերիա	5.05	6.02	6.68	7.68
IV սերիա	4.52	6.0	7.16	8.19
V սերիա	6.95	7.91	8.65	9.99

Առաձգականության մոդուլի կախվածությունը բետոնի հասակից ( $E(t)$ ) բետոնին նվիրված տեխնիկական գրականության մեջ ընդունված է ներկայացնել ակադեմիկոս Ն.Խ. Հարությունյանի բանաձևով՝

$$E(t) = E_{\infty} (1 - ce^{-bt}), \quad (6)$$

որտեղ  $E_{\infty}$ -ը տվյալ բետոնի առաձգականության մոդուլի մեծությունն է, երբ  $t \rightarrow \infty$  (բետոնի բավականին ծեր տարիքում)  $c$ -ն և  $b$ -ն փորձարկումներով ստացված պարամետրեր են:

(6) բանաձևի թերությունը կայանում է նրանում, որ  $E_{\infty}$ -ի արժեքը չի կարող հայտնի լինել ժամանակի ինչ որ  $t=\tau$  պահին: Այս թերությունից ազատված է մեր կողմից օգտագործվող բանաձևը՝

$$E(t) = E(\tau) [s - (s-1)e^{-r(t-\tau)}], \quad (7)$$

որտեղ  $\tau$ -ն այն պահն է, երբ տարրը բեռնավորվում է,  $s$ -ը և  $r$ -ը փորձարկումով ստացվող պարամետրեր են:  $E(\tau)$ -ն նույն  $\tau$  պահին բետոնի առաձգականության մոդուլի արժեքն է, որի որոշումը որևէ դժվարություն չի ներկայացնում:

**Ատենախոսության III գլուխը** նվիրված է շաղախի մղումով ստացված բետոններում ընթացող կծկումային պրոցեսների առանձնահատկությունների փորձնական ուսումնասիրություններին:

Մանրակրկիտ քննարկելով բետոնների կծկումների ուսումնասիրությանը վերաբերող գիտական բազմաթիվ հետազոտությունները գալիս ենք այն համոզման, որ կծկումների վրա ազդող բազում ֆակտորներից հատկապես կարելի է առանձնացնել՝

1. ցեմենտի տեսակը,
2. ցեմենտի միներալոգիական կազմը,
3. բետոնում ցեմենտի խմորի հարաբերական պարունակությունը,
4. շաղախի և բետոնի լիցքի կոշտությունը և գրանուլամետրիկ կազմը,
5. ջրացեմենտային հարաբերությունը,
6. բետոնի տարիքը՝ երբ սկսում է դրանից ջրահեռացման պրոցեսը,
7. մասշտաբային ֆակտորը,
8. ջերմային ռեժիմը,
9. արտաքին միջավայրի խոնավությունը և ջերմությունը:

Այժմ տեսնենք, թե շաղախի մղման մեթոդի դեպքում այս նշված ինն գործոնները ինչպիսի նշանակություն են ստանում:

1, 2 – Ցեմենտի տեսակը և նրա միներալոգիական կազմի նշանակությունը որևէ չափով չի փոփոխվում:

3 – Ցեմենտի խմորի հարաբերական պարունակությունը շաղախի մղումով ստացվող բետոնում ավելի ցածր է, քան սովորական եղանակով ստացվող բետոնինը: Հետևաբար այս գործոնը համեմատաբար շահեկան դեր է կատարում ներարկման տեխնոլոգիայում՝ կծկումների նվազեցման համար:

4 – Ինչպես պարզեցինք խոշոր լիցքի ազդեցությունը կարևոր դեր է խաղում կծկումների դրսևորման համար: Սովորական եղանակներով ստացվող բետոններում խոշորահատիկ լցանյութերի ինչպես հարաբերական քանակությունը, նույնպես և հատիկների մաքսիմում չափերը խիստ սահմանափակված են՝ ելնելով բետոնի թրթռացումով ստանալու տեխնոլոգիայի առանձնահատկություններից: Ճնշման տակ շաղախի ներարկման տեխնոլոգիան մեզ ազատում է նման սահմանափակումներից, որը և հնարավորություն է տալիս ինչպես խոշորահատիկ լցանյութի հարաբերական քանակության ավելացման, նույնպես և հատիկի խոշորության նորմատիվ սահմանափակումից ձերբազատվելու համար: Ներարկման տեխնոլոգիայի այս առանձնահատկությունը ևս բարերար ազդեցություն է ունենում կծկումների նվազեցման համար:

5 – Շաղախի ներարկման համար անհրաժեշտ համեմատաբար ցածր ջրացեմենտային հարաբերությունը նույնպես դրական է անդրադառնում կծկումների նվազեցման գործում:

6 – Ճնշման տակ շաղախի ներարկման պրոցեսով բետոնի կազմավորումը հենց սկզբնական պահից ընթանում է փակ-հերմետիկ միջավայրում: Այս հանգամանքը ևս կարևոր գործոն է կծկումային դեֆորմացիաների կրճատման համար: Բնականաբար անվիճելի է, որ որքան երկար ժամանակ գտնվի տարրը այդ հերմետիկ կաղապարում, այնքան պետք է պակասեն կծկումները:

7, 8, 9 – Կծկումների վրա ազդող մյուս երեք գործոնները (մասշտաբային ֆակտորը, ջերմային ռեժիմը, արտաքին միջավայրի խոնավությունն ու ջերմությունը) մնում են անփոփոխ:

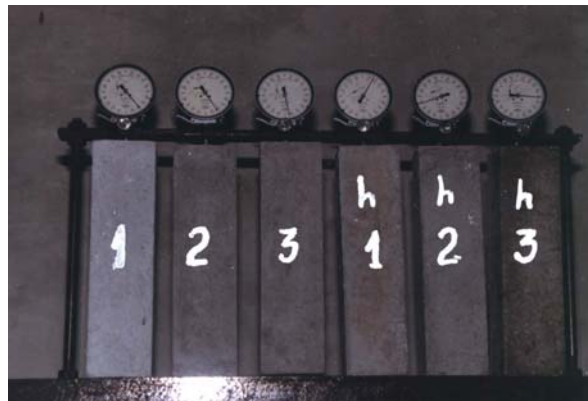
Այսպիսով ի մի բերենք բետոնների կծկումների վրա ազդող այն գործոնները, որոնք պետք է փոփոխության ենթարկվեն մղումով շաղախի ներարկման տեխնոլոգիայի հետևանքով՝

1. ցեմենտի խմորի հարաբերական պարունակության նվազեցումը,
2. խոշորահատիկ լիցքի հարաբերական քանակության աճն ու գրանուլամետրիկ նպաստավոր կազմը,

3. համեմատաբար ցածր ջրա-ցեմենտային հարաբերությունը,
4. բետոնի կազմավորման հերմետիկ պայմանները:

Այս եզրահանգումները գործնականում (լաբորատոր փորձարկման ճանապարհով) ստուգելու նպատակով մեր կողմից պլանավորվել և անց են կացվել փորձնական հետազոտություններ: Այդ փորձերը նպատակ ունեին պարզելու, թե ինչ տարբերություն կա ճնշման տակ շաղախի մղումով և սովորական թրթռացման տեխնոլոգիաներով ստացված բետոնների կծկումային ձևափոխությունների միջև:

Այդ նպատակով մենք վերցրել ենք վերը նշված նույն հինգ տարբեր կազմ ունեցող բետոնները՝ նշահարված հինգական սերիաներով: Փորձարկումների համար որպես մնուշներ ծառայել են նույն բետոնից երեքական պրիզմաներ  $7 \times 7 \times 28$  սմ չափերով, ստացված ճնշման տակ շաղախի մղումով և սովորական եղանակով: Պատրաստի մնուշները ուղղաձիգ վիճակում տեղադրվել են վերևից և տակից կոշտ հենարանների միջակայքում: Այս պակետներում միաժամանակ կողք կողքի տեղադրվել են 6 մնուշներ: Ամեն մի մնուշի վրա,

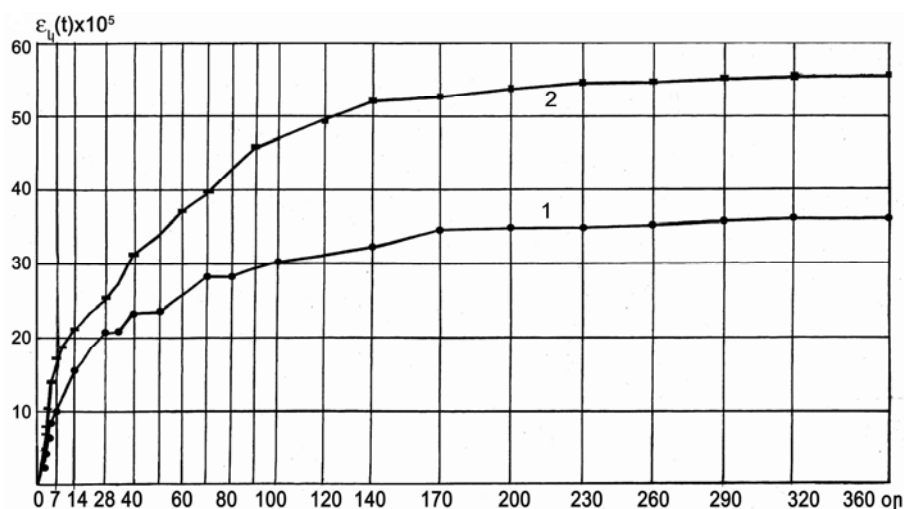


**Նկ. 4. Բետոնի մնուշների կծկումային  
դեֆորմացիաների փորձարկումը**

մնուշի վերին ճակատի և ուղղաձիգ շրջանակի վերևի անկյունակի (որպես կոշտ հենարանի) միջև տեղադրվել է 0.001 մմ ճշտության ինդիկատոր (նկ. 4): Որպես դեֆորմացիաների չափման բազա ծառայել է մնուշի 280 մմ բարձրությունը:

Նմուշները արտակադապարվել և փորձարկման են դրվել մեկ օրեկան հասակում:

Փորձարկման տվյալներն ի մի են բերվել աղյուսակներում և դրանց հիման վրա



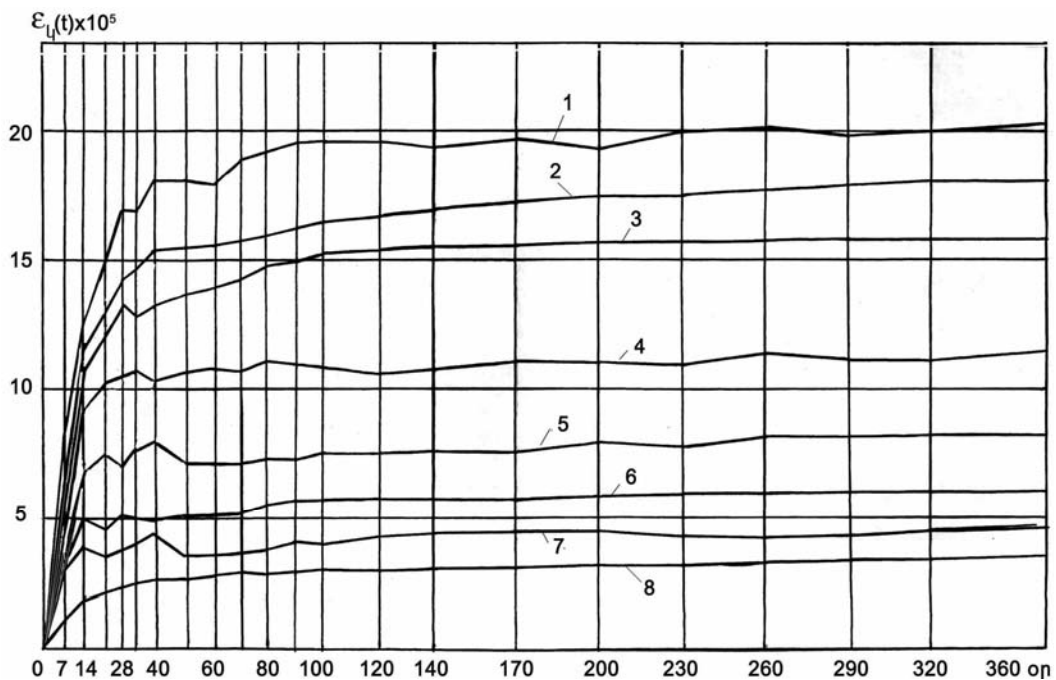
**Նկ. 5. Հրաբխային խարամաբետոնի կծկումներն ըստ բետոնի  
ստացման տեխնոլոգիայի՝ 1- շաղախի մղումով, 2-  
թրթռացումով**

կառուցված գրաֆիկներում: Նկ. 5-ում, որպես օրինակ, ցույց է տրված մղումով և թրթռացումով ստացված խարամաբետոնի կծկումային հարաբերական ձեղնախախտումների գրաֆիկները:

Ինչպես ցույց են տալիս փորձի արդյունքների միջինացված տվյալները, թրթռացումով ստացված բետոնների կծկումային հարաբերական դեֆորմացիաների սահմանային մեծությունները գերազանցում են շաղախի մղումով ստացված և մեկ օրեկան հասակում արտակադապարված նույն բետոնների կծկումային ձևախախտումներից՝ բազալտի խճով եւ լիթոիդային պեմզայի բետոնի համար՝ 29%-ով, լիթոիդային պեմզաբետոնի համար 58%-ով, հրաբխային խարամաբետոնի համար 76%-ով:

Ինչպես նշել ենք, հերմետիկ կաղապարային պայմաններում հասունանալու գործոնը կարևոր նշանակություն պետք է ունենա շաղախի մղումով ստացված բետոնների տարրերի կծկումների նվազեցման վրա: Այս եզրահանգման ստուգման նպատակով, ինչպես ամրության և առածգականության մոդուլի փորձարկումների դեպքում, անց ենք կացրել հատուկ փորձեր: Մղումով ստացված բետոնի պրիզմաները կաղապարազատվել են  $t = 7, 14, 28, 56, 90, 180, 360$  օրեկան հասակներում: Փորձարկումից ստացված տվյալները ներկայացվել են աղյուսակներում և դրանց հիման վրա կառուցված գրաֆիկներում (թեզում աղյուսակները տեղադրվել են վերջում՝ հավելվածներում): Նկար 6-ում ցույց են տրված նշված ժամկետներում արտակադապարված բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի նմուշների կծկումների գրաֆիկները (կծկումային ձևախախտումները չափվել են կաղապարազատման պահից):

Եթե բետոնի կծկումային սահմանային հարաբերական դեֆորմացիայի արժեքը նշանակենք  $\lambda$ -ով, ապա այդ մեծությունը կախված է կաղապարազատման ժամկետից՝  $\lambda = \lambda(t)$ : Եթե մեկ օրեկան հասակում արտակադապարված նմուշի սահմանային կծկումային դեֆորմացիան  $\lambda(1)$  է, ապա  $\lambda(t) = \lambda(1)\eta(t)$ , որտեղ  $\eta(t)$ -ն կաղապարազատման ժամկետի ազդեցությունը բնորոշող գործակից է: Ակնհայտ է, որ  $\eta(1)=1$  և  $\eta(t) < \eta(1)=1$ : Գործնական խնդիրների լուծման նպատակով շատ կարևոր է ունենալ  $\eta(t)$ -ի անալիտիկ արտահայտությունը: Մեր կողմից անց կացված փորձերը հնարավորություն են տալիս ներկայացնել  $\eta(t)$ -ի էմպիրիկ բանաձևը՝



Նկ. 6. Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ով բետոնի կծկումները կախված կաղապարազատման ժամկետից՝ 1- $t=1$  օր, 2- $t=7$  օր, 3-  $t=14$  օր, 4- $t=28$  օր, 5- $t=56$  օր, 6- $t=90$  օր, 7- $t=180$  օր, 8- $t=360$  օր

$$\eta(t) = 0.22 + 0.8e^{-0.027t}; \quad (8)$$

Աղյուսակ 12-ում բերված են փորձերով ստացված և (8) բանաձևով հաշված կծկումների նվազեցման գործակցի արժեքները երեք տարբեր բետոնների համար, կախված կաղապարագատման ժամկետից (IIh, IVh, Vh, «h» – հերմետիկ):

Աղյուսակ 12

**Կծկումների նվազեցման գործակիցը  
կախված նմուշների կաղապարագատման ժամկետից**

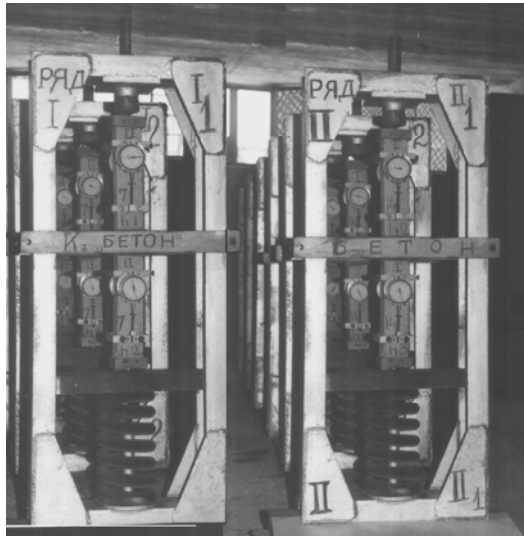
կաղապարագ. օր		1	7	14	28	56	90	180	360
$\eta$ -ն ըստ փորձի	IIh	1,00	0,88	0,77	0,56	0,40	0,29	0,23	0,17
	IV h	1,00	0,80	0,60	0,45	0,36	0,29	0,23	0,18
	V h	1,00	0,80	0,65	0,53	0,37	0,32	0,27	0,25
$\eta(t)$ - էմպիրիկ		1,00	0,88	0,77	0,60	0,40	0,29	0,23	0,22

**Ատենախոսության IV** գլուխը նվիրված է շաղախի մղումով ստացված բետոնների սողքի ուսումնասիրությանը: Բետոնի սողքի տեսական և փորձնական հետազոտություններում մեծ լուծա ունեն հայրենական գիտնականները՝ Ն.Խ. Հարությունյանը, Մ.Մ. Մանուկյանը, Կ.Ս. Կարապետյանը, Կ.Ա. Կարապետյանը, Ս.Գ.Եսայանը, Մ.Ջ. Սիմոնովը և ուրիշները: Արտասահմանյան գիտնականներից բետոնի սողքի տեսության մեջ առավելապես նշանակալից հետք են թողել Ս.Վ. Ալեքսանդրովսկին, Ա.Ա. Գվոզդևը, Գ.Մ. Մասլովը, Ի.Ե. Պրոկոպովիչը, Ի.Ի. Ուլիցկին, Ա.Ռ. Ռժանիցին, Պ.Ի. Վասիլևը, Վ.Մ. Բոնդարենկոն, Յա.Դ. Լիվշիցը, Դիշինգերը, Ուիթները, Գլենվիլը, Բուցմանը, Վոլտերը և այլք:

Շաղախի մղումով ստացվող բետոնի սողքը պետք է տարբերվի թրթռացումով ստացվող նույն կազմի բետոնից: Տարբերության մեխանիզմները նույնն են, ինչ որ ներկայացվեց կծկումների վերլուծության ժամանակ: Սողքի դեպքում լրացուցիչ գումարվում է նաև բուն կծկումային լարումներից առաջացած ազդեցությունը: Քանի դեռ բետոնի տարրը չի մտցվել արտաքին ուժային դաշտ, նրանում միկրոճաքերի առաջացումն ու զարգացումը հետևանք է ժամանակի ընթացքում հասումացող բետոնում կծկումների և դրա հետևանքը հանդիսացող կծկումային լարումների աճին: Կծկումային դեֆորմացիաները նաև լարումներ են առաջացնում բետոնի ծավալում գոյություն ունեցող տարբեր դիսլոկացիաների հանգույցներում, որտեղ այդ լարումները, կոնցենտրացիայի շնորհիվ, ակտիվորեն աճում են և հաղթահարելով բյուրեղների դիմադրությունն առաջացնում են սեպալին ճեղքեր, որոնք, կծկումների աճին զուգընթաց, ավելի ու ավելի են զարգանում: Արտաքին ուժերի ազդեցության տակ այս ճաքերն ու դիսլոկացիոն ճեղքերը, ավելի են ակտիվանում և հանգեցնում սողքի դեֆորմացիայի լրացուցիչ օջախների ստեղծման: Այսպիսով բետոնների կծկումների պակասեցումն ուղղակի կերպով նշանակում է կծկումային լարումների նվազեցում, այսինքն ծավալում միկրոճաքերի պակասեցում, որի հետևանքով և սողքի ձևախախտումների նվազեցում:

Ինչպես ցույց են տվել մեր փորձերը, ճնշման տակ շաղախի մղումը կրճատում է բետոնի կծկումային դեֆորմացիան (III գլուխ), որը և պետք է դրականորեն անդրադառնա նաև սողքի պրոցեսի մեղմացման վրա: Այս տեսական վերլուծական կանխատեսումների գործնական ստուգման նպատակով անց ենք կացրել փորձնական հետազոտություններ: Սողքի փորձարկումների համար վերցրել ենք նույն հինգ տիպի բետոն-ներն, ինչ որ նախորդ

փորձարկումների ժամանակ՝ բազալտի խճով և գետի ավազով (I սերիա), բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ով (II սերիա), տուֆաբետոն (III սերիա), լիթոիդային պեմզայի խճով և ավազով (IV սերիա), հրաբխային խարամի խճով և ավազով (V սերիա): Սողքի փորձերն անց են կացվել ՀՀ ԳԱԱ-ի Մեխանիկայի Ինստիտուտի կողմից նախագծված զսպանակային ուժային



Նկ. 7. Սողքի լաբորատոր փորձարկումը

հարմարանքների վրա (նկ. 7): Փորձարկման համար նախապատրաստած մնուշներն իրենցից ներկայացնում են  $7 \times 7 \times 28$  սմ չափի պրիզմաներ, որոնց քանակությունն ամեն մի փորձի համար երեքական էր:

Սողքի փորձարկումներին զուգահեռ, մաքուր սողքի դեֆորմացիաներն ստանալու նպատակով, փորձերով որոշվել են առաձգական ( $\varepsilon_w$ ) և կծկումային ( $\varepsilon_y$ ) ձևախախտումները:  $t = \tau_1$  հասակում  $\sigma$  լարումով բեռնավորված մնուշի ընդհանուր հարաբերական  $\varepsilon(t, \tau_1)$  ձևախախտումը ժամանակի  $t$  պահին կլինի՝

$$\varepsilon(t, \tau_1) = \varepsilon_w(t) + \varepsilon_y(t) - \varepsilon_y(\tau_1) + \varepsilon_u(t, \tau_1): \quad (9)$$

Կծկումային դեֆորմացիաների արժեքները վերցվել են ատենախոսության III գլխի համապատասխան աղյուսակներից: Առաձգական ձևախախտման չափը ժամանակի տվյալ  $t$  պահին որոշվել է՝  $\varepsilon_w(t) = \sigma : E(t)$  բանաձևով:  $E(t)$ -ի մեծություններն ունենք II գլխի համապատասխան աղյուսակներում: Այսպիսով (9) բանաձևից որոշվում է սողքի հարաբերական ձևախախտում  $\varepsilon_u(t, \tau_1)$ -ը՝

$$\varepsilon_u(t, \tau_1) = \varepsilon(t, \tau_1) - \varepsilon_w(t) - \varepsilon_y(t) + \varepsilon_y(\tau_1): \quad (10)$$

Սողքի չափը կլինի՝

$$C(t, \tau) = \varepsilon_u(t, \tau) / \sigma: \quad (11)$$

Նկատենք, որ այս մեթոդով որոշված սողքի չափը տարբերվում է Ն.Խ. Հարությունյանի կողմից առաջարկված և ընդհանուր ընդունելություն գտած սողքի չափից (Àðððíŷí Í.Õ. Í áêîðîðûá âîîðîñû ðâîðèè îîçó÷-âñðè. Ãîðððèçäð, Ì -Ë., 1952, էջ 13, բանաձև (1.1)), ըստ որի տեսակարար դեֆորմացիա  $\delta(t, \tau_1)$ -ն հավասար է ոչ թե՝

$$\delta(t, \tau_1) = \frac{1}{E(t)} + C(t, \tau), \quad (12)$$

ինչպես մեր հաշվարկներում է ընդունված, այլ՝



$$\delta(t, \tau_1) = \frac{1}{E(\tau)} + C^*(t, \tau), \quad (13)$$

որը հաշվի չի առնում ժամանակի ընթացքում ձևախախտման վրա առաձգականության մոդուլի աճի ազդեցությունը: Դրա հետևանքով (10) բանաձևով կստացվի կեղծ սողքի չափ  $C^*(t, \tau)$ , որն իսկական չափից կլինի փոքր՝  $C^*(t, \tau) < C(t, \tau)$ : Ինչպես երևում է մեր փորձի արդյունքներից, այստեղ սխալը կարող է գերազանցել 25%-ից: (13) բանաձևի ոչ կոռեկտ լինելը բերում է ավելի լուրջ սխալի, երբ գործող լարումը ժամանակի ընթացքում ոչ թե հաստատուն, այլ փոփոխական մեծություն է՝  $\sigma = \sigma(t)$ : Այս դեպքում լարումների և դեֆորմացիաների կապն ըստ (10) բանաձևի կլինի՝

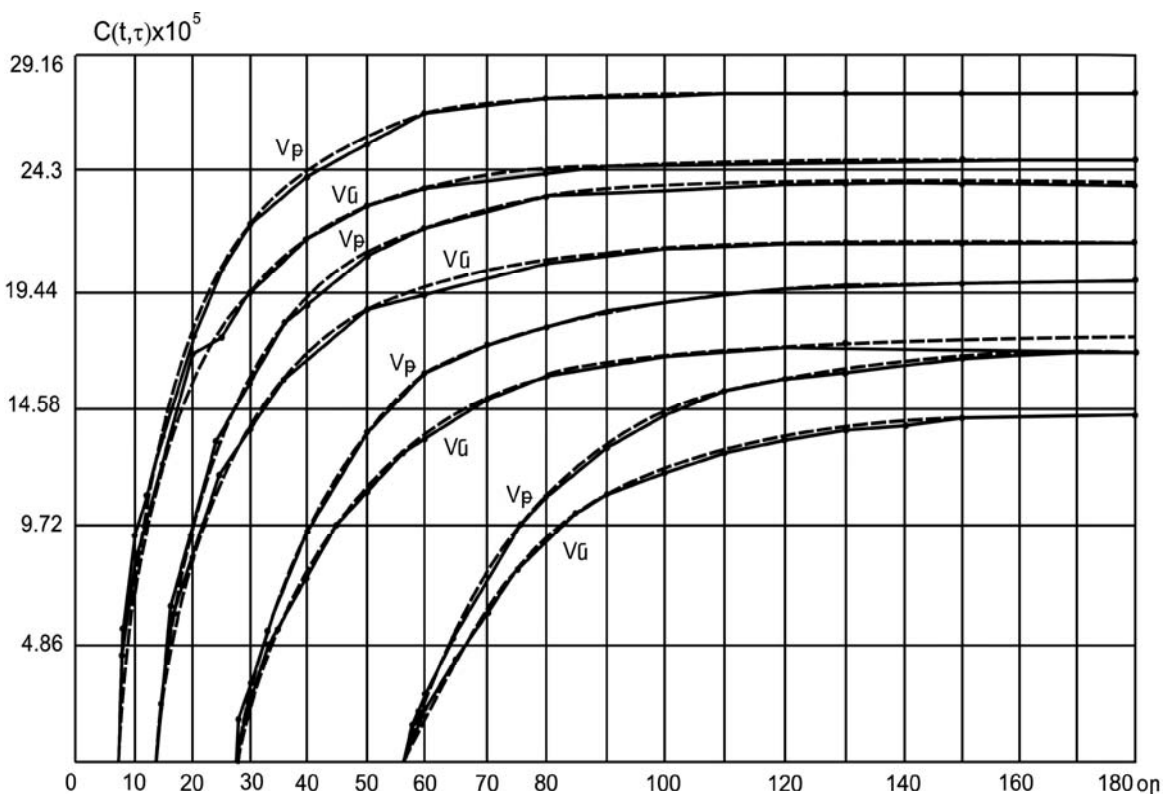
$$\varepsilon(t, \tau_1) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^t \sigma(\tau) \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau - \int_{\tau_1}^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \frac{1}{E(\tau)} \right] d\tau: \quad (14)$$

Դժվար չէ համոզվել, որ այս ինտեգրալ հավասարման մեջ հիմք ունենալով (9)-ը, վերջին ինտեգրալն ավելորդ է:

Իրականում, (9)-ի հիման վրա  $\sigma - \varepsilon$  կապն անհրաժեշտ է ներկայացնել՝

$$\varepsilon(t, \tau_1) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^t \sigma(\tau) \frac{\partial C(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau: \quad (15)$$

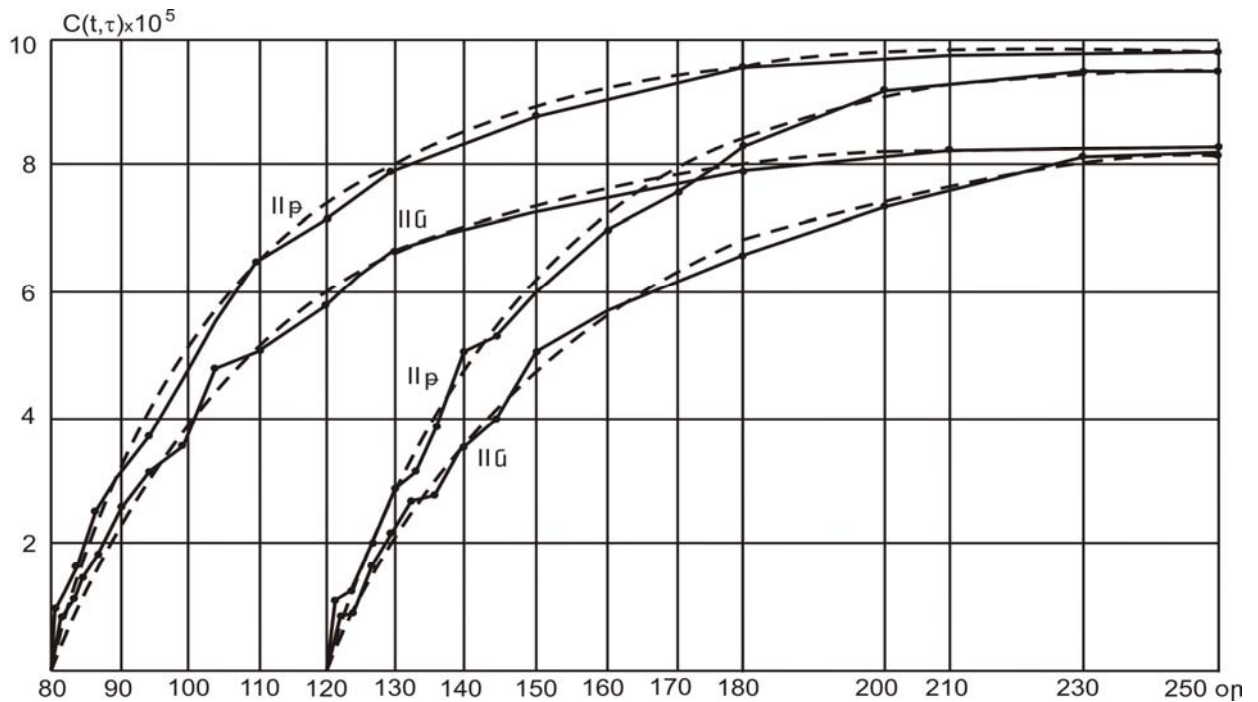
Ինչպես և նախորդ փորձերում, այստեղ նույնպես շաղախի մղման մեթոդի ազդեցությունը ճիշտ գնահատելու նպատակով թրթռացման եղանակով ստացված նույն բետոնները ենթարկվել են զուգահեռ փորձարկումների: Բոլոր երեքական մնուշները կաղապարազատվել են մեկ օրեկան հասակում և տևական բեռնավորման տակ են դրվել բետոնի  $\tau_1 = 7, 14, 28, 56, 80, 120, 360$  օրեկան հասակներում: Փորձի արդյունքներն ամփոփվել են աղյուսակներում և նրանց հիման վրա կառուցված գրաֆիկներում: Նկ. 8-ում բերված է այդ գրաֆիկներից մեկը՝ շաղախի



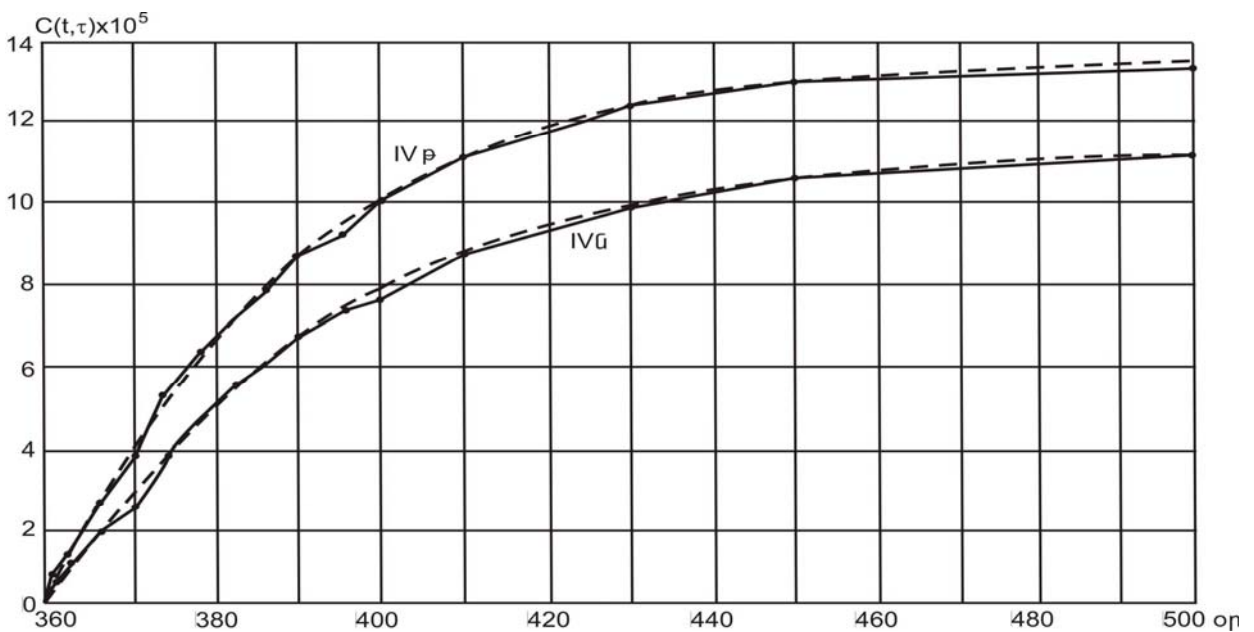
Նկ.8. Շաղախի մղման ( $V_N$ ) և թրթռացման մեթոդով ( $V_\theta$ ) ստացված հրաբխային խարամաբետոնի սողքի չափի գրաֆիկները ( $\tau_1 = 7, 14, 28, 56$  օր)

մղումով և թրթռացումով ստացված հրաբխային խարամաբետոնի (VՆ և VԹ) սողքի չափը, նմուշների բեռնավորման  $\tau_1=7, 14, 28, 56$  օրեկան հասակում:

Նկ. 9–ում բերված են բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի սողքի չափերը, երբ  $\tau_1=80$  և 120 օր:



Նկ.9. Շաղախի մղման (IIՆ) և թրթռացման մեթոդով (IIԹ) բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով ստացված բետոնների սողքի չափը ( $\tau = 80$  և 120 օր)



Նկ.10. Շաղախի մղման (IVՆ) և թրթռացման մեթոդով (IVԹ) ստացված լիթոիդային պեմզաբետոնի սողքի չափը ( $\tau = 360$  օր)

Նկ. 10-ում ցույց է տված լիթոիդային պեմզաբետոնի սողքի չափերը, երբ  $\tau_1=360$  օր:

Փորձի արդյունքները ցույց են տալիս, որ բոլոր բետոնների համար թրթռացումով ստացված սողքի չափը որոշակի կերպով գերազանցում է շաղախի մղումով ստացված սողքի չափից: Եթե մղումով ստացված նմուշների սողքի չափը նշանակենք  $C(t, \tau_1)$ , իսկ թրթռացման դեպքում  $\bar{C}(t, \tau_1)$ , ապա որպես օրինակ II, IV և V սերիաների բետոնների փորձարկումների արդյունքները կարելի է ամփոփել աղյուսակ 13-ով:

### Աղյուսակ 13

#### *Սողքի չափերի համեմատական ամփոփիչ աղյուսակ*

Անվանումը	II սերիա	IV սերիա	V սերիա
1	2	3	4
$C(7, 180) \times 10^5$	15,20	21,48	24,78
$\bar{C}(7, 180) \times 10^5$	17,90	24,53	27,74
Տարբերությունը	2,70	2,05	2,96
Տարբերությունը %-ով	17,76	9,54	11,95
$C(14, 180) \times 10^5$	14,10	18,52	21,32
$\bar{C}(14, 180) \times 10^5$	14,80	20,21	21,92
Տարբերությունը	1,70	1,69	2,60
Տարբերությունը %-ով	12,98	9,13	12,20
$C(28, 180) \times 10^5$	10,90	14,78	17,30
$\bar{C}(28, 180) \times 10^5$	12,13	16,27	19,73
Տարբերությունը	1,23	1,40	2,43
Տարբերությունը %-ով	11,29	9,42	14,05
$C(56, 180) \times 10^5$	8,70	11,97	14,32
$\bar{C}(56, 180) \times 10^5$	12,20	14,86	16,86
Տարբերությունը	1,50	1,89	2,54
Տարբերությունը %-ով	17,24	15,79	17,74
$C(80, 250) \times 10^5$	8,36	11,52	14,75
$\bar{C}(80, 250) \times 10^5$	9,86	14,71	16,31
Տարբերությունը	1,50	2,19	2,56
Տարբերությունը %-ով	17,94	19,01	18,62
$C(120, 280) \times 10^5$	8,22	11,26	14,56
$\bar{C}(120, 280) \times 10^5$	9,74	14,48	16,18
Տարբերությունը	1,52	2,22	2,62
Տարբերությունը %-ով	18,49	19,72	19,32
$C(360, 500) \times 10^5$	8,06	11,12	14,54
$\bar{C}(360, 500) \times 10^5$	9,65	14,36	16,15
Տարբերությունը	1,59	2,24	2,61
Տարբերությունը %-ով	19,73	16,77	19,28

Բետոնյա և երկաթբետոնյա տարրերի և կոնստրուկցիաների գործնական հաշվարկի համար, երբ հիմքում ընկած է սողքային գործընթացը, անհրաժեշտ է ունենալ բետոնի սողքի չափի անալիտիկ արտահայտությունը: Մեր փորձերով ստացված սողքի չափերի գրաֆիկները, ապրոկսիմացիայի ենթ ենթարկել սողքի չափի հետևյալ անալիտիկ արտահայտությանը՝

$$C(t, \tau) = C \frac{e^{\alpha t} - e^{\alpha \tau}}{e^{\alpha t} - 1} + A(e^{-\gamma \tau} - e^{-\gamma t}), \quad (16)$$

որտեղ  $C, A, \alpha, \gamma$ -ն փորձնական պարամետրեր են: Այս բանաձևն ստացվել է սողքի ժառանգաբար ծերացման տեսության հիմքում ընկած ռեոլոգիական մոդելի հիման վրա, որը մշակված է Ս.Գ. Եսայանի կողմից:

Այժմ կատարենք սողքի չափի (16) անալիտիկ արտահայտության հիման վրա ստացված թվային մեծությունների համապատասխանությունը, մեր կողմից կատարված փորձի որոշ արդյունքների հետ:

Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի համար (II սերիա) (16) բանաձևի մեջ մտնող հաստատունների արժեքներն են՝ շաղախի մղման դեպքում (IIՆ)

$$C = 8,2 \times 10^{-5} \text{ ՄՊա}^{-1}, \alpha = 0,028 \text{ օր}^{-1}, \\ A = 9,5 \times 10^{-5} \text{ ՄՊա}^{-1}, \gamma = 0,042 \text{ օր}^{-1}, \quad (17)$$

*Թրթռացման մեթոդով ստացված II սերիայի բետոնի համար (IIԹ)՝*

$$\bar{C} = 9,8 \times 10^{-5} \text{ ՄՊա}^{-1}, \bar{\alpha} = 0,032 \text{ օր}^{-1}, \\ \bar{A} = 12,3 \times 10^{-5} \text{ ՄՊա}^{-1}, \bar{\gamma} = 0,062 \text{ օր}^{-1}: \quad (18)$$

Այս մեծությունները ստացված են II սերիայի բետոնների սողքի փորձարկումների թվային արժեքների ապրոկսիմացիայով, հիմքում ունենալով (13) անալիտիկ արտահայտությունը:

Աղյուսակ 14-ում բերված են բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնների (ստացված շաղախի մղումով՝ IIՆ և թրթռացումով՝ IIԹ) փորձարկումներից ստացված սողքի չափերի (2-րդ սյունակում IIՆ սերիայի և 5-րդ սյունակում IIԹ սերիայի) և (16) անալիտիկ բանաձևով և այդ բանաձևի մեջ մտնող պարամետրերի (17) ու (18) թվային արժեքների հիման վրա ստացված սողքի տեսական արժեքները (3-րդ սյունակում IIՆ սերիայի և 6-րդ սյունակում IIԹ սերիայի), երբ նմուշները բեռնավորվել են բետոնի  $\tau = 7$  օրեկան հասակում: Աղյուսակի 4-րդ և 7-րդ սյունակներում բերված են փորձնական և տեսական սողքի չափերի արժեքների բացարձակ տարբերության տոկոսները՝ փորձնականի նկատմամբ: Բեռազտոնի նմուշների բեռնավորման մյուս տարիքների համար ( $\tau = 14, 28, 56, 80, 120, 360$  օր) տվյալները ներկայացված են ատենախոսության հավելվածի աղյուսակներ 49–54-ում:

*Աղյուսակ 14*

*II սերիա: Սողքի չափը  $\times 10^5$ , երբ  $\tau = 7$  օր*

$t$ օր	$C(t, 7)$	$C_T(t, 7)$	տարբ. %	$\bar{C}(t, 7)$	$\bar{C}_T(t, 7)$	տարբ. %
1	2	3	4	5	6	7
8	3.96	1.44	64.64	4.65	1.85	60.21
10	5.33	3.59	32.65	7.05	4.63	34.34
12	5.86	5.17	11.77	8.03	6.67	16.94
15	7.36	6.92	5.98	9.76	8.92	8.61
20	8.94	8.93	0.11	11.90	11.50	4.36
25	10.50	10.30	1.90	12.60	14.20	4.76
28	10.97	11.35	4.46	14.50	14.33	6.15

40	12.20	12.70	4.10	15.00	15.80	5.33
50	14.50	14.60	0.74	15.90	16.60	4.40
60	14.20	14.10	0.70	16.31	17.10	4.84
80	14.50	104.60	0.69	17.31	17.50	1.10
100	15.10	14.90	1.32	17.71	17.60	0.62
120	15.10	15.00	0.66	17.81	17.70	0.62
150	15.20	15.10	0.66	17.90	17.70	1.12
180	15.2	15.10	0.66	17.90	17.80	0.56

Աղյուսակում  $C_T$ –ով և  $\overline{C}_T$ –ով նշանակված են սողքի չափի տեսական բանաձևով (բանաձև (13)) ստացված արժեքները:

Սողքի չափի արտահայտության (16) բանաձևի հիման վրա ստացված կորերը կետագծով ցույց են տրված ատենախոսության բոլոր գրաֆիկներում (այստեղ բերված նկարներ 8,9,10-ում ևս):

**Ատենախոսության հինգերորդ գլուխը** նվիրված է բետոնների իրական ռելոլոգիական հատկությունների հաշվառմամբ բետոնի և երկաթբետոնի տարրերի և կոնստրուկցիաների լարվածադեֆորմացիոն վիճակների որոշմանը, որոնց փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում անշեղորեն ընթանում է կապված նյութի սողքային, կծկումային, դեֆորմացիոն հատկությունների փոփոխությանը զուգընթաց: Առանց բետոնագիտության համար հիմնային նշանակություն ունեցող այս պրոբլեմի մշակմանը անհմաստ են դառնում թեզի նախորդ երեք գլուխներում ստացված փորձնական և տեսական արդյունքները: Ժամանակի ընթացքում բետոնի առաձգականության մոդուլի, սողքի չափի, կծկումային դեֆորմացիաների փոփոխությունների օրինաչափությունների պարզաբանումը կատարվում է հենց այն նպատակով, որպեսզի այդ արդյունքների օգտագործումով հնարավոր լինի կատարել գործնական կառույցների հաշվարկ և նախագծում: Սակայն կառուցվածքի նախագծման փուլում գործնականում հաճախ շրջանցվում է այս կարևորագույն հաշվարկային փուլը, որը պայմանավորված է նրանով, որ այն կապված է մաթեմատիկական բարդությոների հետ, որոնք հաճախ անհաղթահարելի են:

Թեզի այս բաժնում լուծված են գործնական խնդիրներ այն մեթոդներով, որոնք նշանակալից կերպով իրագործելի են դարձնում սողքի տեսության հիմնային ինտեգրալ հավասարման լուծումը: Այդ մեթոդները հնարավորություն են տալիս ստանալու սողքի տեսության ցանկացած բարդության խնդրի լուծում՝ տալով գործնականում կիրառելի արդյունքներ: Այդ մեթոդների հիմքում ընկած է Վոլտերի երկրորդ սեռի ինտեգրալ հավասարման մեջ մտնող անհայտ ֆունկցիան Թեյլորի շարքի վերածումով: Բետոնի սողքի տեսության հիմնային ինտեգրողիֆերենցիալ հավասարման լուծումը կախված է բետոնի սողքի չափի անալիտիկ արտահայտությունից: Ընդհանրության նպատակով սողքի չափը ներկայացնենք ամենաընդհանուր տեսքով՝

$$C(t, \tau) = \sum_{n=1}^m \varphi_i(\tau) \theta_i(t), \quad (19)$$

որտեղ  $\varphi_i(\tau)$ –ի միջոցով արտահայտվում է բեռնավորման  $\tau$  պահին բետոնի  $t = \tau$  տարիքի ազդեցությունը սողքի վրա, իսկ  $\theta_i(t)$ –ն արտահայտում է բեռնավորման տևողությունը: Այսպիսով այս բանաձևն արտացոլում է բետոնի սողքային հիմնական հատկությունները՝ ծերացումն ու ժառանգականությունը:

(19) արտահայտության մեջ կատարելով համապատասխան տեղադրումներ կարող ենք ստանալ բետոնի սողքի տեսության մեջ օտագործություն գտած սողքի չափի այս կամ այն անալիտիկ արտահայտությունը: Այսպես օրինակ, բետոնի սողքի ժառանգականության տեսության հիմքում ընկած է սողքի չափի հետևյալ բանաձևը՝

$$C(t, \tau) = C[1 - e^{-\alpha(t-\tau)}] \quad (20)$$

որը (19)–ից կստացվի նրա մեջ կատարելով տեղադրում՝

$$\theta_1 = C; \varphi_1 = 1; \theta_2 = -Ce^{-\alpha t}; \varphi_2 = e^{\alpha \tau} : \quad (21)$$

Բետոնի սողքի ծերացման տեսության սողքի չափի բանաձևն է

$$C(t, \tau) = B(e^{-\gamma \tau} - e^{-\gamma t}), \quad (22)$$

որն ստանալու համար (19)–ում կկատարվի տեղադրում

$$\varphi_1 = Be^{-\gamma \tau}; \theta_1 = 1; \varphi_2 = 1; \theta_2 = -Be^{-\gamma t} : \quad (23)$$

Սողքի չափի ակադեմիկոս Ն.Խ. Հարությունյանի բանաձևն է

$$C(t, \tau) = \left( C + \frac{B}{\tau} \right) [1 - e^{-\alpha(t-\tau)}], \quad (24)$$

որն ստանալու համար անհրաժեշտ է (19)–ում տեղադրել

$$\varphi_1 = C + \frac{B}{\tau}; \theta_1 = 1; \varphi_2 = \left( C + \frac{B}{\tau} \right) e^{\alpha \tau}; \theta_2 = -e^{-\alpha t} : \quad (25)$$

Սողքի չափի պրոֆեսոր Ս.Գ. Եսայանի բանաձևն է

$$C(t, \tau) = C \frac{e^{\alpha t} - e^{\alpha \tau}}{e^{\alpha t} - 1} + B(e^{-\gamma \tau} - e^{-\gamma t}), \quad (26)$$

որի ստացումը (19)–ից պահանջում է տեղադրում

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= -Ce^{\alpha \tau}; \theta_1 = \frac{1}{e^{\alpha t} - 1}; \varphi_2 = C; \theta_2 = \frac{e^{\alpha t}}{e^{\alpha t} - 1}; \\ \varphi_3 &= Be^{-\gamma \tau}; \theta_3 = -Be^{-\gamma t}, \end{aligned} \quad (27)$$

Սողքի չափի էմպիրիկ բանաձևերից հետաքրքրության է արժանի պրոֆեսոր Ս.Վ. Ալեքսանդրովսկու բանաձևը

$$C(t, \tau) = \psi(\tau) - \psi(t) \left( \frac{e^{\gamma \tau} - A}{e^{\gamma t} - A} \right) + \Delta(\tau) [1 - e^{-\alpha(t-\tau)}], \quad (28)$$

որը կստացվի (14)–ում հետևյալ տեղադրումով

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \psi(\tau); \theta_1 = 1; \varphi_2 = A - e^{\gamma \tau}; \theta_2 = \frac{\psi(t)}{e^{\gamma t} - A}; \\ \varphi_3 &= \Delta(\tau); \theta_3 = 1; \varphi_4 = -\Delta(\tau)e^{\alpha \tau}; \theta_4 = e^{-\alpha t}. \end{aligned} \quad (29)$$

և այլն:

Սողքի տեսության հիմնային ինտեգրալ հավասարումն է

$$h(t) = E(t) \left[ \frac{\varepsilon(t)}{\sigma(\tau_0)} - \int_{\tau_0}^t h(\tau) \sum_{i=1}^m \varphi'_i(\tau) \theta_i(t) d\tau \right] : \quad (30)$$

որտեղ

$$h(t) = \sigma(t) / \sigma(\tau_0)$$

կլինի ժամանակի ընթացքում բետոնում լարումների փոփոխման օրինաչափությունն արտահայտող գործակից (իր ֆիզիկական բնույթով  $h(t)$ –ն լարումների ռելաքսացիայի գործակիցն է բետոնում):

(30) իմտեզրադիֆերենցիալ հավասարումն ընկած է սողքային դեֆորմացիայի հաշվառմամբ բետոնի և երկաթբետոնի կոնստրուկցիաների հաշվարկի հիմքում: Այդ հավասարման լուծումը, որը լուրջ բարդություն ունեցող մաթեմատիկական խնդիր է հանդիսանում, փնտրենք՝ այն վեր ածելով Թեյլորի աստիճանական շարքի ըստ ոչ թե  $t$  -ի, այլ  $T$  մասշտաբային փոփոխականի՝

$$T = 1 - e^{-\lambda(t-\tau)}, \quad (31)$$

որտեղ  $\lambda$  –ն դրական պարամետր է՝

$$h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{T^n}{n!} h^{(n)}(T_0): \quad (32)$$

(32) շարքի  $h^{(n)}(T_0)$  գործակիցները գտնում ենք հետևյալ կերպ: Օգտվելով բարդ ֆունկցիայի ածանցման կանոնից կստանանք  $h^{(n)}(T_0)$ –ի և  $h^{(n)}(\tau_0)$ –ի կապն արտահայտող բանաձևեր

$$\begin{aligned} h(t) &= h(T); \quad h'(t) = h'(T)T'(t); \quad h''(t) = h''(T)[T'(t)]^2 + h'(T)T''(t); \\ h'''(t) &= h'''(T)[T'(t)]^3 + 3h''(T)T'(t)T''(t) + h'(T)T'''(t); \\ h^{IV}(t) &= h^{IV}(T)[T'(t)]^4 + 6h'''(T)[T'(t)]^2 T''(t) + 3h''(T)[T''(t)]^2 + \\ &+ 4h''(T)T'(t)T'''(t) + h'(T)T^{IV}(t); \end{aligned} \quad (33)$$

.....,

որից հետևում է

$$\begin{aligned} h(T) &= h(t); \quad h'(T) = \frac{h'(t)}{T'(t)}; \quad h''(T) = \frac{1}{[T'(t)]^2} \left[ h''(t) - \frac{T''(t)}{T'(t)} h'(t) \right]; \\ h'''(T) &= \frac{1}{[T'(t)]^3} \left\{ h'''(t) - \frac{3T''(t)}{T'(t)} \left[ h''(t) - \frac{T''(t)}{T'(t)} h'(t) \right] - \frac{T'''(t)}{T'(t)} h'(t) \right\}; \\ h^{IV}(T) &= \frac{1}{[T'(t)]^4} \left\{ h^{IV}(t) - \frac{6T''(t)}{T'(t)} \left[ h'''(t) - \frac{3T''(t)}{T'(t)} \times \right. \right. \\ &\times \left. \left( h''(t) - \frac{T''(t)}{T'(t)} h'(t) \right) - \frac{T'''(t)}{T'(t)} h'(t) \right] - \left[ \frac{4T'''(t)}{T'(t)} + \frac{3[T''(t)]^2}{[T'(t)]^2} \right] \times \\ &\times \left. \left[ h''(t) - \frac{T''(t)}{T'(t)} h'(t) \right] - \frac{T^{IV}(t)}{T'(t)} h'(t) \right\}; \end{aligned} \quad (34)$$

.....

(31)–ից ստացվում են  $T^n(t)$ –ի և  $T_0^{(n)} = T^{(n)}(t)|_{t=\tau_0}$ –ի արժեքները

$$T^{(n)}(t) = -(-\lambda)^n e^{-\lambda(t-\tau_0)}, \quad (35)$$

$$T_0^{(n)} = T^{(n)}(\tau_0) = -(-\lambda)^n, \quad (36)$$

որոնք տեղադրելով (34)–ում կստանանք  $h^{(n)}(T_0)$ –ի բանաձևերը՝

$$\begin{aligned}
h(T_0) &= h(\tau_0) = 1; & h'(T_0) &= \frac{1}{\lambda} h'(\tau_0); \\
h''(T_0) &= \frac{1}{\lambda} h'(\tau_0) + \frac{1}{\lambda^2} h''(\tau_0); \\
h'''(T_0) &= \frac{2}{\lambda} h'(\tau_0) + \frac{3}{\lambda^2} h''(\tau_0) + \frac{1}{\lambda^3} h'''(\tau_0); \\
h^{IV}(T_0) &= \frac{6}{\lambda} h'(\tau_0) + \frac{11}{\lambda^2} h''(\tau_0) + \frac{6}{\lambda^3} h'''(\tau_0) + \frac{1}{\lambda^4} h^{IV}(\tau_0); \\
&\dots\dots\dots
\end{aligned} \tag{37}$$

$h_b^{(n)}(\tau_0)$  գործակիցները գտնում ենք (30)–ից՝ այն հաջորդաբար ածանցելով ըստ  $t$ -ի և ստացված արտահայտության մեջ տեղադրելով  $t = \tau_0$  (նկատենք, որ  $T = T_0 = 0$  արժեքն ստացվում է (31)–ից՝ նրանում տեղադրելով  $t = \tau$ ):

Մշակված որոշակի գործողությունները հնարավորություն են տալիս զգալի կերպով ակտիվացնել աստիճանային շարքի զուգամիտությունը և շարքի առաջին մի քանի անդամով ստանալ խնդրի գործնականում ընդունելի ճշգրտության լուծում: Մի քանի խնդիրների լուծումով ցույց է տրված մշակված մեթոդի արդյունավետությունը: Թվային հաշվարկների հիմքում ընկած են լաբորատոր փորձարկումներով ստացված թվային արդյունքները, որոնք ցույց են տալիս, թե շաղախի ներարկումով ստացված տարրի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում զգալի կերպով զիջում է թրթռացման տեխնոլոգիայով ստացված նույն տարրում ընթացող փոփոխություններից: Ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա այս կամ այն տեխնոլոգիայով ստացման ազդեցության լաբորատոր փորձարկումներով պարզաբանումը միայն բետոնագիտության տեսության մի մասն է կազմում: Մյուսը՝ դա ստացված արդյունքների համակողմանի օգտագործումն է բետոնից և երկաթբետոնից իրականացված տարրերի և կառուցվածքների լարվածադեֆորմացիոն վիճակների հետազոտման ընթացքում:

**Թեզի վեցերորդ գլխում** իրականացված հետազոտական գործընթացը կապված է բարձր լարվածությունների տակ բետոնում ընթացող սուր արտահայտված առաձգապլաստիկական հատկությունների ուսումնասիրությանը: Նախ և առաջ բետոնի դեֆորմացիայի ոչ գծայնության պայմաններում հիմնովին կերպով փոխվում է լարումների և դեֆորմացիաների կապը: Եթե տարրի ցանկացած կտրվածքում գործող նորմալ լարումները սկսած ժամանակի  $t = \tau_0$  պահից պահպանվում են հաստատուն, ապա սկսած այդ պահից հարաբերական դեֆորմացիաների ( $\varepsilon(t, \tau_0)$ ) և լարումների ( $\sigma(\tau_0)$ ) կապը կլինի ոչ գծային՝

$$\varepsilon(t, \tau_0) = f(\sigma) \left[ \frac{1}{E(t)} + C(t, \tau_0) \right]; \tag{38}$$

Այս հավասարման հիմքում ընկած է այն պոստուլատը, որ ոչ գծային կապը նույնն է ինչպես առաձգապլաստիկական, այնպես էլ սողքային դեֆորմացիաների համար:

Եթե լարումները ժամանակի ընթացքում ինչ որ  $\sigma = \sigma(\tau)$  օրինաչափությամբ փոփոխության են ենթարկվում, ապա (38)-ի հիման վրա  $\sigma - \varepsilon$  կապը կարտահայտվի ոչ գծային ինտեգրալ հավասարումով՝

$$\varepsilon(t, \tau_0) = \frac{f[\sigma(t)]}{E(t)} - \int_{\tau_0}^t f[\sigma(\tau)] \frac{\partial C(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau; \tag{39}$$

Այստեղ տեղին ենք համարում նշել, որ բետոնի սողքի կլասիկ տեսության մեջ, որը մշակված է ակադեմիկոս Ն.Խ. Հարությունյանի կողմից, լարումների և դեֆորմացիաների ոչ գծային կապը ներկայացված է՝



$$\varepsilon(t, \tau_0) = \frac{\sigma}{E(\tau_0)} + f(\sigma)C(t, \tau_0) \quad (40)$$

բանաձևով: Այս բանաձևն ունի երկու կարևոր թերություն: Նախ, որ դրանում հաշվի չի առնված այն կարևոր հանգամանքը, որ նյութի առաձգապլաստիկական վիճակում չի կարող լարումների և առաձգապլաստիկ դեֆորմացիաների կապը լինել գծային: Այսինքն այդ կապը նույն բնույթի ոչ գծային է, ինչ սողքային դեֆորմացիայի համար: Եվ երկրորդը, որ (40)-ում հաշվի չի առնված ժամանակի ընթացքում առաձգականության մոդուլի փոփոխության ազդեցությունը: Ժամանակի ընթացքում լարումների փոփոխության դեպքում (40)-ի հիման վրա կստացվի

$$\varepsilon(t, \tau_0) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_0}^t f[\sigma(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right] d\tau \quad (41)$$

ինտեգրալ հավասարումը, որը ինչպես որակական, այնպես էլ քանակական տեսակետից զգալի կերպով տարբերվում է (39)-ից և ոչ գծային դեֆորմացիոն վիճակը ներկայացնում է որոշակի խեղաթյուրումներով:

$f(\sigma)$  ֆունկցիայի անալիտիկ արտահայտությունը առաջարկվել է ավելի ընդհանուր բանաձևով

$$f(\sigma) = a\sigma + \beta\sigma^{n+1} \quad (42)$$

որտեղ  $a$ -ի,  $\beta$ -ի և  $n$ -ի արժեքները որոշվում են տվյալ բետոնի փորձարկումներով: Գծային սողքի դեպքում  $n=0$ :

Քանի որ  $a + \beta = 1$ , (42)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$f(\sigma) = (1 - \beta)\sigma + \beta\sigma^{(n+1)} \quad (43)$$

Առաձգապլաստիկության վիճակում, դեֆորմացիաների և լարումների կապը ունենալով  $f(\sigma)$ -ն ըստ (38)-ի կունենա հետևյալ տեսքը

$$\varepsilon = \frac{f(\sigma)}{E} = \frac{\sigma(1 - \beta + \beta\sigma^n)}{E} \quad (44)$$

Այս բանաձևից հետևում է դեֆորմացիայի  $E$  գործակցի կախվածությունը  $\sigma$  նորմալ լարումից՝

$$E(\sigma) = E_0 / (1 - \beta + \beta\sigma^n) \quad (45)$$

$\beta$ -ի արժեքները փորձարկված բետոնների համար ունի հետևյալ էմպիրիկ տեսքը

$$\beta = \frac{660 - R}{(R - 60)R^2} \quad (46)$$

$R$ -ի չափողականությունը կգուժ/սմ<sup>2</sup> է: Այս բանաձևը ընդունելի է  $R=100$ -:-600 կգուժ/սմ<sup>2</sup> արժեքների դեպքում:

Ունենալով տվյալ  $\sigma_i$  բեռնավորումների տակ ( $i=1,2,3,\dots$ ) լարումների  $f(\sigma_i)$  ֆունկցիայի արժեքները և հիմք ընդունելով (45)-ը կունենանք

$$\sigma_i(1 + \beta(\sigma_i^2 - 1)) = f(\sigma_i) = E_0 \varepsilon_i \quad (47)$$

որտեղից

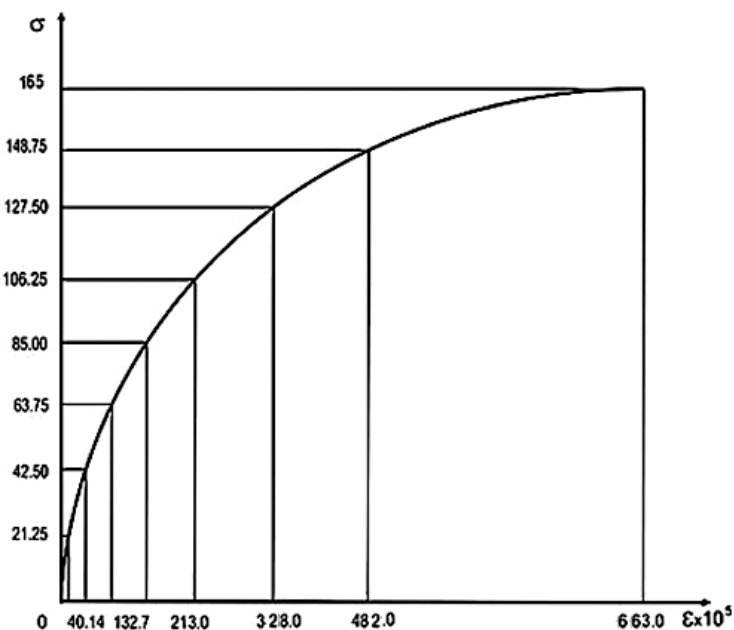
$$\beta_i = \frac{E_0 \varepsilon_i - \sigma_i}{(\sigma_i^2 - 1)\sigma_i} \approx [E_0 \varepsilon_i - \sigma_i] / \sigma_i^3 \quad (48)$$

Այսպիսով  $\beta$ -ն որոշելու համար ունենք (46) և (48) բանաձևերը: Այդ բանաձևերի համապատասխանությունը որոշելու համար, մեր կողմից կատարվել է համապատասխան փորձարկումներ, հիմն տարբեր կազմ ունեցող բետոնների համար: Այդ փորձարկումներից այստեղ ներկայացնում ենք մղման մեթոդով ստացված բազալտի խճով և լիթիդային պեմզայի ավազով, լիթիդային պեմզայի խճով և դրա ավազով բետոնների նմուշների փորձարկումներից ստացված արդյունքները:

**Լիթոնիդային պեմզայի խճով և դրա ավազով բետոն:** Այս բետոնի փորձարկումներով ստացվել է նրա ամրության միջին սահմանը  $t = 28$  օրեկան հասակում՝  $R(28) = 170$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>, իսկ առաձգականության  $E_0$  մոդուլի միջին արժեքն է՝  $E_0(28) = 1.353 \times 10^5$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>:

Փորձարկումներն իրականացվել են բետոնի 28 օրեկան հասակում: Հարաբերական  $\varepsilon_1(\sigma_1)$ ,  $\varepsilon_2(\sigma_2)$ ,  $\varepsilon_3(\sigma_3)$ ,  $\varepsilon_4(\sigma_4)$ ,  $\varepsilon_5(\sigma_5)$ ,  $\varepsilon_6(\sigma_6)$ ,  $\varepsilon_7(\sigma_7)$ ,  $\varepsilon_8(\sigma_8)$  դեֆորմացիաները չափագրվել են լարումների հետևյալ արժեքների տակ՝  $\sigma_1 = 21,25$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_2 = 42,5$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_3 = 63,75$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_4 = 85,00$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_5 = 106,25$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_6 = 127,50$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_7 = 148,75$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_8 = 165,00$  կգ.սմ<sup>2</sup>/սմ<sup>2</sup>: Երեքական չափագրումների միջինացված արժեքների հիման վրա նկ. 11-ում ներկայացված է  $\varepsilon(\sigma)$  կախվածության կորի գրաֆիկը: Ոչ գծայնության գործակից  $\beta_i$ -ի արժեքները որոշվել են (48) բանաձևով: Իսկ ըստ (46) էմպիրիկ բանաձևի  $\beta$ -ի արժեքը կլինի՝

$$\beta = \frac{660 - R}{(R - 60)R^2} = \frac{660 - 170}{(170 - 60)170^2} = 1,54 \times 10^{-5} : \quad (49)$$



Նկ. 11. Լիթոնիդային պեմզաբետոնի  $\varepsilon(\sigma)$  կախվածության գրաֆիկը

Տարբեր  $\sigma_i$  լարումների և դրանցից առաջացած  $\varepsilon_i$  դեֆորմացիաներին համապատասխանող  $\beta_i$  արժեքները, ստացված (48) բանաձևով, ի մի են բերված աղյուսակ 15-ում: Աղյուսակի հաջորդ տողում ներկայացված է (48) բանաձևով ստացված  $\beta_i$ -ների և (46)-ով ստացված  $\beta = 1,54 \times 10^{-4}$ -ի տարբերությունն արտահայտված տոկոսներով:

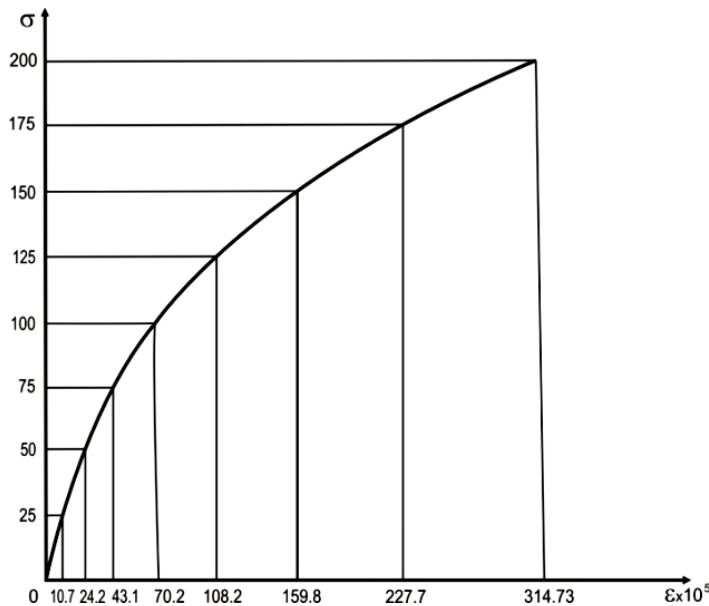
Աղյուսակ 15

Լիթոնիդային պեմզաբետոնի  $\beta_i(\sigma_i)$   
կախվածության թվային տվյալները

$\sigma$	21,25	42,50	63,75	85,00	106,25	127,50	148,75	165,0
$\varepsilon \times 10^5$	16,82	40,1	76,6	132,7	213,0	328,0	482,0	663,0
$\beta_i \times 10^5$	1,57	1,53	1,54	1,53	1,52	1,52	1,53	1,63
տարբ. %	1,9	0,6	0,0	0,6	1,3	1,3	0,6	5,5

**Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոն** - Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի ամրության միջին սահմանը  $t = 28$  օրեկան հասակում՝  $R(28) = 208$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>, իսկ առաձգականության  $E_0$  մոդուլի միջին արժեքն էր՝  $E_0(28) = 2,43 \times 10^5$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>: Փորձարկումներն իրականացվել են բետոնի  $t = 28$  օրեկան հասակում: Հարաբերական  $\varepsilon_1(\sigma_1)$ ,  $\varepsilon_2(\sigma_2)$ ,  $\varepsilon_3(\sigma_3)$ ,  $\varepsilon_4(\sigma_4)$ ,  $\varepsilon_5(\sigma_5)$ ,  $\varepsilon_6(\sigma_6)$ ,  $\varepsilon_7(\sigma_7)$ ,  $\varepsilon_8(\sigma_8)$  դեֆորմացիաները չափագրվել են լարումների հետևյալ արժեքների տակ՝  $\sigma_1 = 25$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_2 = 50$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_3 = 75$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_4 = 100$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_5 = 125$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_6 = 150$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_7 = 175$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>,  $\sigma_8 = 200$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>:

Երեքական չափագրումների միջինացված արժեքների հիման վրա նկ. 12-ում ներկայացված է  $\varepsilon(\sigma)$  կախվածության կորի գրաֆիկը: Ոչ գծայնության գործակից  $\beta_i$ -՝ արժեքները որոշվել են



**Նկ. 12. Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի  $\varepsilon(\sigma)$  կախվածության գրաֆիկը**

$$\beta = \frac{660 - R}{(R - 60)R^2} = \frac{660 - 208}{(208 - 60)208^2} = 7,06 \times 10^{-5}: \quad (49)$$

Տարբեր  $\sigma_i$  լարումների և դրանցից առաջացած  $\varepsilon_i$  դեֆորմացիաներին համապատասխանող  $\beta_i$  արժեքները, ստացված (48) բանաձևով, ի մի են բերված աղյուսակ 16-ում: Աղյուսակի հաջորդ տողում ներկայացված է (48) բանաձևով ստացված  $\beta_i$ -ների և (46)-ով ստացված  $\beta$ -ի տարբերությունն արտահայտված տոկոսներով:

$t = 28$  օրեկան հասակում հրաբխային խարամաբետոնի միջին ամրության սահմանն էր՝  $R(28) = 132$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>, իսկ առաձգականության  $E_0$  մոդուլի միջին արժեքն էր՝  $E_0(28) = 1,125 \times 10^5$  կգ.ուժ/սմ<sup>2</sup>:

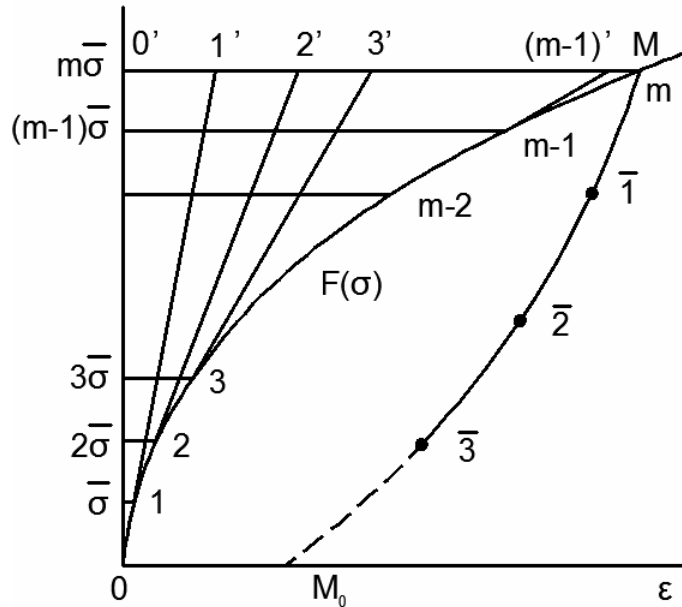
**Աղյուսակ 16**

***Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի  $\beta_i(\sigma_i)$  քվային կախվածությունը***

$\sigma$	25	50	75	100	125	150	175	200
$\varepsilon \times 10^5$	10,75	24,2	43,1	70,2	108,2	159,8	227,7	314,7
$\beta_i \times 10^5$	7,18	7,05	7,05	7,05	7,06	7,06	7,06	7,06
տարբ. %	1,7	2,8	2,8	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Ոչ գծային սողքի տեսության հիմնային ինտեգրալ (39) հավասարման լուծումը նույնպես կարելի է ստանալ նրա մեջ մտնող անհայտ  $f(\sigma)$  ֆունկցիան վերածելով աստիճանային շարքի ըստ  $T = 1 - e^{-\lambda(t-\tau)}$  մասշտաբային փոփոխականի: Այս գործընթացը անհրաժեշտ մանրամասնությամբ ներկայացված է ատենախոսությունում:

Ինչպես ցույց են տալիս լաբորատոր փորձարկումները առանցքային սեղմման դեպքում բետոնի պրիզմայի ցույց տված դեֆորմացիոն կորի հետազոտող իրականում կունենա նկ. 13-ում ցույց տված  $OM$  կորի տեսքը: Իսկ  $M$  վիճակից իրականացված բեռնաթափման գրաֆիկը կընթանա  $MM_0$  կորագծով: Բետոնագիտության համար կարևորագույն նշանակություն ունի այն



Նկ. 13. Դեֆորմացիոն կորի փոխարինումը  
ներգծված բեկյալով

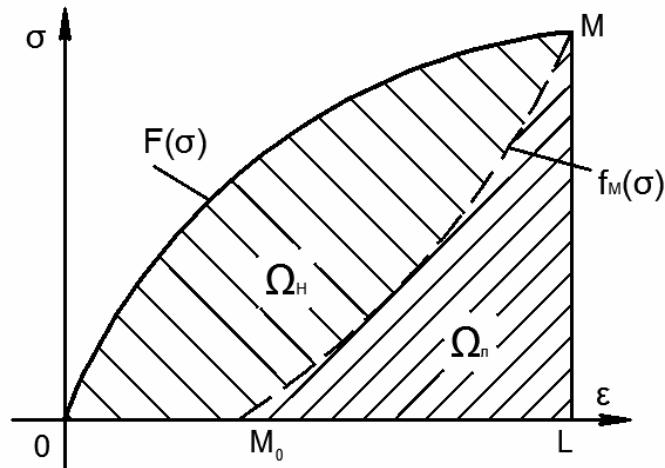
պրոբլեմը, թե ինչ հավասարումով կարտահայտվի բեռնաթափման  $f_M$  կորը, եթե հայտնի է բեռնավորման  $OM$  կորի հավասարումը՝  $\varepsilon = F(\sigma)$ : Ատենախոսությունում այս խնդրի լուծումը տրված է հետևյալ կերպ:  $\sigma_M$  լարումը բաժանվում է  $m$  հավասար մասերի՝  $\bar{\sigma} = \sigma_M : m$ , որի հետևանքով  $OM$  կորի վրա առաջանում են  $1, 2, 3, \dots, m (M)$  կետերը, իսկ  $OM$  կորը փոխարինվում է նրա մեջ ընդգծված  $1, 2, 3, \dots, m (M)$  բեկյալով: Այդ բեկյալը կլինի  $OM$  կորի գծայնացված մոդելը, որը հնարավորություն է տալիս  $\varepsilon = F(\sigma)$  կորը ներկայացնել որպես  $01, 12, 23, \dots, (m-1)m$  ուղղագծային պրոցեսների գումար՝

$$\varepsilon = F(\sigma_M) = O'1' + 1'2' + 2'3' + \dots + (m-1)'m, \quad (50)$$

ընդ որում՝ բեկյալի ամեն մի  $01, 12, 23, \dots, (m-1)m$  հատված աշխատում է որպես առանձին վերցրած առաձգական զսպանակ: Այս պայմանական փոխակերպումը հնարավորություն է տալիս առաձգապլաստիկական պրոցեսը ներկայացնել որպես առանձին-առանձին առաձգական պրոցեսների գումար: Այսպիսի փոխակերպման շնորհիվ ստացվել է բեռնաթափման  $MM_0$  կորի  $f_M$  ֆունկցիոնալ հավասարումը՝ արտահայտված հիմնային  $\varepsilon = F(\sigma)$  կորի հավասարումով՝

$$f_M = F(\sigma_M) - 2F[0,5(\sigma_M - \sigma)]: \quad (51)$$

Ունենալով բեռնաթափման կորի հավասարումը կարող ենք որոշել բետոնի պրիզմայի  $OMM_0$  հետագծով իրականացված բեռնում-բեռնաթափում պրոցեսում ծախսված առաձգական և դիսիպացված ու անդարձ կորած պլաստիկական էներգիաների մեծությունները: Նկ. 14-ում ցույց է տրված  $OMM_0$  դեֆորմացիոն պրոցեսում ծախսված էներգիաների քանակը: Ծախսված ամբողջ էներգիայի մեծությունը հավասար կլինի  $\Theta_0 = \Omega_0$ , որը բաղկացած է գծային-առաձգական ( $\Theta_{\text{Л}}$ ) և պլաստիկական ( $\Theta_{\text{Н}}$ ) էներգիաների գումարից՝  $\Theta_0 = \Theta_{\text{Л}} + \Theta_{\text{Н}}$ , կամ արտահայտված քանակապես, արտահայտված համապատասխան մակերեսներով՝  $\Omega_0 = \Omega_{\text{Н}} + \Omega_{\text{Л}}$ :



Նկ.14. Առաձգապլաստիկ դեֆորմացիայի պոտենցիալ էներգիան՝  $\Omega_{\text{Л}}$  -առաձգական էներգիան,  $\Omega_{\text{Н}}$  - դիսիպացված պլաստիկ էներգիան

Ինչպես երևում է նկ. 14-ից ծախսված ընդհանուր էներգիայի մեծությունը կլինի

$$\begin{aligned} \Theta_0 = \Omega_0 &= OLxML - \int_0^{\sigma_M} F(\sigma) d\sigma = \\ &= \sigma_M F(\sigma_M) - \int_0^{\sigma_M} F(\sigma) d\sigma : \end{aligned} \quad (52)$$

Բեռնաթափման դեպքում ծախսված ընդհանուր էներգիայի մաս կազմող առաձգական բաղկացուցիչ  $\Omega_{\text{Л}}$ -ը վերականգնվում է, իսկ ոչ գծային պլաստիկ մասը, որը ծախսվել է բետոնի ներքին, ոչ առաձգական դիմադրությունների հաղթահարման վրա, պայմանավորված նյութի զուտ պլաստիկ հատկություններով, անվերադարձորեն կորչում է:

$\varepsilon = F(\sigma)$  կորի  $M$  կետից իրականացված բեռնաթափման կորագիծը կունենա  $f_M(\sigma)$  անալիտիկ արտահայտությունը ըստ (51) հավասարման:  $\Omega(M_0ML)$  մակերեսը, որը սահմանափակված է  $f_M(\sigma)$  կորով և  $\sigma=0$  ու  $\varepsilon = \varepsilon_M$  ուղիղներով, կլինի ծախսված առաձգական էներգիայի մեծությունը և հավասար կլինի

$$\Theta_{\text{Л}} = \Omega(M_0ML) = OLxML - \int_0^{\sigma_M} f_M(\sigma) d\sigma : \quad (53)$$

Դիսիպացված  $\Theta_{\text{Н}}$  էներգիայի մեծությունը, որը հավասար է  $\Omega_{\text{Н}}$  մակերեսին, կլինի

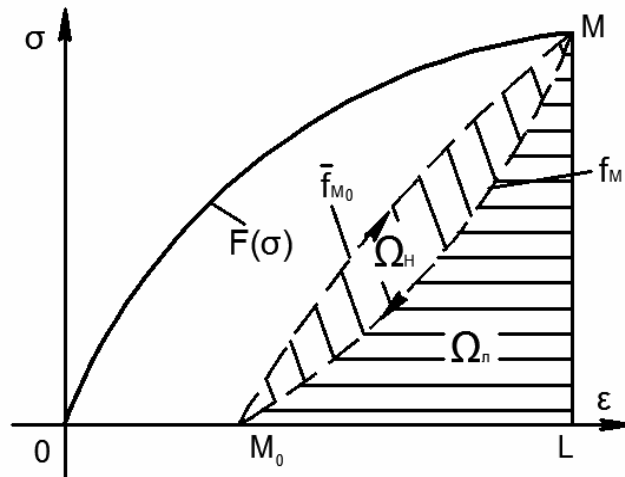
$$\Theta_H = \int_0^{\sigma_M} [f_M(\sigma) - F(\sigma)] d\sigma : \quad (54)$$

Բեռնաթափման ժամանակ, քանի որ տեղի են ունեցել ոչ առաձգական (պլաստիկական) երևույթներ և որոնց հետևանքով կլանվել է ծախսված ընդհանուր էներգիայի որոշակի մասը, պահպանված առաձգական էներգիան չի բավականացնում անմնացորդ դեֆորմացիա ապահովելու համար, բեռնաթափման գործընթացն ավարտվում է  $M_0$  կետում և ստացվում է մնացորդային  $\varepsilon_{\text{օք}} = OM_0$  դեֆորմացիա, որի մեծությունը կորոշվի

$$\varepsilon_{\text{օք}} = OM_0 = f_M(\sigma = 0) = F(\sigma_M) - 2F(0,5\sigma_M) \quad (55)$$

քանաձևով:

Եթե  $M_0$  վիճակից իրականացնենք նոր բեռնավորման պրոցես, ապա մինչև  $M$  կետը հասնելու համար կծախսվի ավելի քիչ էներգիա, քան ծախսվել էր սկզբնական  $O$  վիճակից նույն  $M$  կետը հասնելու համար: Սա հանգեցնում է ևս մի կարևոր հետևության, որ «բեռնում–բեռնաթափում» գործընթացը զգալի կերպով բարձրացնում է նյութի առաձգական հատկությունները (նկ. 15):



Նկ. 15. Հիստերեզիսային օղակի առաջացումը

$M_0$  վիճակից իրականացված նոր բեռնավորման գործընթացի հետևանքով  $f_M$  և  $\bar{f}_{M_0}$  կորերի միջակայքում առաջանում է «հիստերեզիսային օղակ (ելիպս)», որի մակերեսի մեծությունը հավասար է անվերադարձ ծախսված պլաստիկական էներգիայի  $\Omega_H$  չափին: Այդ դիսիպացված էներգիայի մեծությունը գտնելու համար անհրաժեշտ է ունենալ  $\bar{f}_{M_0}$  կորի անալիտիկ հավասարումը: Հիմքում ունենալով (51) հավասարումը կգտնենք  $\bar{f}_{M_0}$  կորի հավասարումը, ընդունելով  $f_M$ -ը որպես հիմնային կոր (ինչպես  $F(\sigma)$ -ն  $f_M$ -ի համար)՝

$$\bar{f}_{M_0} = \varepsilon_M - 2 \left[ F\left(\frac{\sigma_M}{2}\right) - F\left(\frac{\sigma}{2}\right) \right] : \quad (56)$$

Այս դեպքում ծախսված ընդհանուր էներգիայի մեծությունը հավասար կլինի  $f_{M_0}$  կորի և  $\sigma = 0$  ու  $\varepsilon = \varepsilon_M$  ուղիղների միջև կազմած  $M_0ML$  պատկերի մակերեսին՝

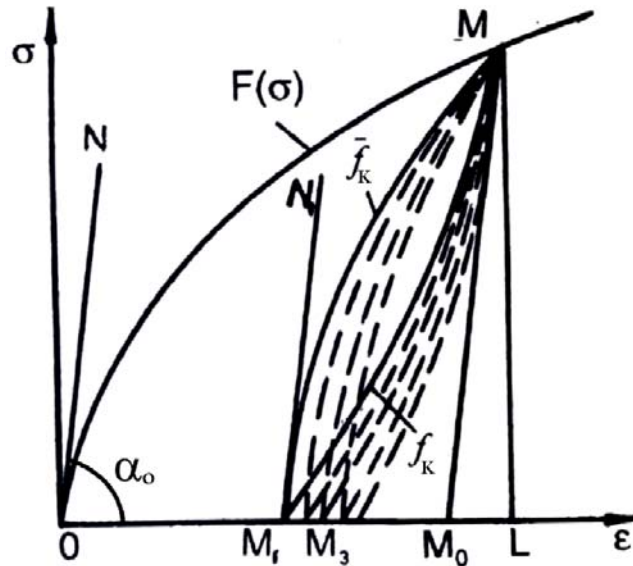
$$\Theta_{M_0} = \Omega(M_0ML) = OLxML - \int_0^{\sigma_M} \bar{f}_{M_0}(\sigma) d\sigma, \quad (57)$$

որը զգալի կերպով փոքր է այն էներգիայից, որն անհրաժեշտ էր ծախսել սկզբնական զերոյական վիճակից ( $O$  կետ) նույն  $M$  վիճակին հասնելու համար: Էներգիաների այդ տարբերությունը կազմում է՝

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_O - \mathcal{E}_{M_0} = \int_0^{\sigma_M} [f_{M_0}(\sigma) - F(\sigma)] d\sigma : \quad (58)$$

Ինչպես արդեն վերևում նշեցինք դա բացատրվում է նրանով, որ  $\bar{f}_{M_0}$  կորով  $M$  կետին հասնելու համար  $\bar{f}_{M_0}$  կորի առաձգական բաղկացուցիչը զգալի կերպով գերազանցում է  $F(\sigma)$  կորի բաղկացուցիչին: Այսինքն  $\bar{f}_{M_0}$  կորի ուղղագծայնության աստիճանն ավելի բարձր է, քան  $F(\sigma)$  կորի գծայնության աստիճանը (ինչը նշանակում է, որ ընդհակառակը՝  $\bar{f}_{M_0}$  կորի պլաստիկության աստիճանն ավելի ցածր է, քան  $F(\sigma)$  կորինը):

Այսպիսով «բեռնում-բեռնաթափում» կրկնվող ցիկլային գործընթացի դեպքում նկ.16 ունենալով բետոնի դեֆորմացիոն կորերի անալիտիկ հավասարումները հնարավորություն ենք ստանում որոշելու պրոցեսի ռեալիզացիայի վրա ծախսված ընդհանուր էներգիայի առաձգական և պլաստիկ բաղկացուցիչները:



Նկ. 16. Բեռնում-բեռնաթափման դեֆորմացիոն հետքերը

Այս զարգացումը հնարավորություն է տվել նաև «բեռնում-բեռնաթափում» կրկնվող ցիկլերի դեպքում ոչ միայն որոշել յուրաքանչյուր ցիկլի ռեալիզացիայի համար անվերադարձ ծախսված դիսիպացված էներգիայի քանակությունը, այլ նաև նյութի կլանման գործակցի արժեքները: Այսպես օրինակ, եթե բետոնի դեֆորմացիայի ոչ գծայնության բանաձևը ներկայացված է՝

$$F(\sigma) = [a\sigma + (b\sigma)^{n+1}] / E_0 \quad (59)$$

հավասարումով, որտեղ  $a$ -ն,  $b$ -ն,  $n$ -ը՝ համապատասխան փորձարկումներով ստացված պարամետրեր են, կլանման  $\psi$  գործակցի մեծությունը  $k$ -րդ ցիկլի ռեալիզացիայի դեպքում կորոշվի հետևյալ ռեկուրենտ բանաձևով՝

$$\psi_k = \frac{n+1-2^{-n}}{n+1+\frac{(n+2)a}{2\beta R^n}2^{(k-1)n}} : \quad (60)$$

Եթե բետոնում գործող  $\sigma$  լարումներն այնպիսին են, որ միջավայրը գտնվում առաձգական վիճակում ( $\sigma < R_T$ –ից, որտեղ  $R_T$ –ն տվյալ բետոնի ճաքակայունության սահմանն է) կարելի է ընդունել, որ  $n=0$  և  $\psi=0$ : Իդեալական պլաստիկ նյութի համար  $\psi=1$ :

Այստեղ հատկապես կարևոր նշանակություն ունի այն հանգամանքը, որ կլանման գործակից  $\psi$ –ն կախված է  $k$  ցիկլերի քանակից՝ այն  $k$ –ի աճին զուգընթաց նվազում է, քանի որ այդ դեպքում ընթանում է պրոցեսի ավելի ու ավելի զծայնացում:

Մեր կողմից իրականացված լաբորատոր փորձարկումների տվյալներից դիտարկենք այն դեպքը, երբ  $a=0,9$ ,  $\beta=0,1$ ,  $R=20$  ՄՊա: Այս դեպքում  $\psi_k$  կլանման գործակիցների արժեքները, երբ բետոնի ոչ զծայնության աստիճանը տատանվում է  $n=1-4$  և  $k=1-8$  դեպքում հաշվարկված և տեղադրված են աղյուսակ 17–ում:

Աղյուսակ 17

$\psi$ –ի կախվածությունը ցիկլերի քանակից

$n$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\psi_3$	$\psi_4$	$\psi_5$	$\psi_6$	$\psi_7$	$\psi_8$
1	0,560	0,448	0,319	0,203	0,117	0,064	0,033	0,017
2	0,903	0,865	0,739	0,468	0,189	0,056	0,015	0,003
3	0,968	0,963	0,927	0,712	0,250	0,040	0,005	0,001
4	0,988	0,987	0,979	0,868	0,307	0,027	0,002	0,0001

Այս աղյուսակում ներկայացված տվյալների հիման վրա կարելի է կատարել մի շարք կարևոր եզրահանգումներ: Այսպես օրինակ՝  $n$ –ի աճին զուգընթաց  $\psi_k$  գործակիցներն աճում են ընդհուպ մինչև վեցերորդ ցիկլը: Վեցերորդ ցիկլից սկսած  $n$ –ի աճը զուգակցվում է  $\psi_{6,7,\dots}$  գործակիցների փոքրացումով, այսինքն՝

$$\psi_{6,7,\dots}(n=1) > \psi_{6,7,\dots}(n=2) > \psi_{6,7,\dots}(n=3) > \psi_{6,7,\dots}(n=4): \quad (61)$$

Սա հետևանք է նրա, որ ինչքան մեծ է ոչ զծայնության աստիճանը, այնքան ակտիվ է ընթանում պրոցեսի աստիճանական ուղղազծայնացումը, որը զուգակցում է «բեռնում-բեռնաթափում» ցիկլերի աճին: Այսինքն՝ որքան մեծ է ներքին շփումը, այնքան ավելի ակտիվ է ընթանում դեֆորմացիոն պրոցեսի վրա ծախսված ընդհանուր էներգիայի պլաստիկ բաղադրիչի դիսիպացիան, որի հետևանքով աճում է առաձգական և պլաստիկ էներգիաների հարաբերությունը կազմող մեծությունը: Սա կարևոր նշանակություն ունի հատկապես կառուցվածքի սեյսմակայունությունը ճիշտ գնահատելու համար:



## ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ամփոփելով թեզում ներկայացված տվյալները կարելի է կատարել հետևյալ համառոտ եզրահանգումները:

1. Շաղախի մղման տեխնոլոգիայի շնորհիվ բարձրանում է բետոնների ամրությունը համեմատած թրթռացման մեթոդով ստացված նույն բետոնների ամրության հետ: Մեկ օրեկան հասակում արտակադապարման դեպքում այդ տարբերությունը տարբեր կազմության բետոնների հմար կազմում է մոտ 14%: Շաղախի մղման մեթոդը բարձրացնում է բետոնի առաձգականության մոդուլի մեծությունը սովորական եղանակով ստացված բետոնների նկատմամբ մինչև 10%:

2. Արտակադապարման ժամկետի մեծացումը դրական ազդեցություն է ունենում ինչպես շաղախի մղումով ստացված բետոնների ամրության, նույնպես և դրանց առաձգականության մոդուլի արժեքի մեծացման վրա: Սա նշանակում է, որ անհրաժեշտության դեպքում արտակադապարման ժամկետի երկարացման միջոցով շաղախի մղումով ստացված բետոնների ամրության համեմատական աճը թրթռացումով ստացված նույն կազմի բետոնների ամրության նկատմամբ կարելի է հասցնել մինչև 25%-ի, իսկ առաձգականության մոդուլի մեծության տարբերությունը մինչև 20%-ի: Սակայն այստեղ անհրաժեշտ է ի նկատի ունենալ, որ հերմետիկության դրական ազդեցությունը բետոնի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա առավել ինտենսիվ է բետոնի հասակի սկզբնական շրջանում: Այսպես օրինակ՝ շաղախի ներարկումով ստացված բազալտի խճով և գետի ավազով բետոնի դեպքում 28 օր փորձանմուշների հերմետիկ կադապարում պահելը բարձրացնում է բետոնի ամրությունը 1 օրեկան հասակում արտակադապարված նմուշների նկատմամբ 8,53%-ով, այն դեպքում, երբ հերմետիկ կադապարում ևս 32 օր պահելը ամրության լրացուցիչ աճ է տալիս ընդամենը 1,03%-ով: Նույն օրինաչափությունն է նկատվում նաև մյուս 4 սերիայի բետոնների դեպքում՝ բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի դեպքում այդ աճը կազմում է համապատասխանաբար 1,15%, տուֆաբետոնի դեպքում՝ 1,24%, լիթոիդային պեմզաբետոնի դեպքում՝ 1,06% և հրաբխային խարամաբետոնի դեպքում՝ 1,14%: Այս կարևոր օրինաչափություններն անհրաժեշտ է հաշվի առնել հերմետիկության գործոնն օգտագործելու ժամանակ:

3. Մղման և թրթռացման մեթոդներով ստացված բետոնների սեղման ամրության և առաձգականության մոդուլի փոփոխությունների օրինաչափությունների անալիտիկ արտահայտությունը կախված դրանց հասակից, առաջարկվել է համապատասխանաբար (1) և (7) բանաձևերով:

4. Թրթռացման մեթոդով ստացված բետոնների կծկումները նշանակալից կերպով գերազանցում են ճնշման տակ շաղախի ներարկումով ստացված նույն բետոնների կծկումային դեֆորմացիաներից: Ըստ ստացված արդյունքների միջին տարբերությունները կազմում են մոտ 42.6%:

5. Կծկումների դեֆորմացիայի արժեքի վրա որոշակի ազդեցություն է թողնում նմուշի կադապարազատման ժամկետը: Այսպես օրինակ՝ 28 օրեկան հասակում արտակադապարված նմուշների կծկումները փոքր են 1 օրեկան հասակում արտակադապարված նմուշների կծկումներից և միջինը կազմում են 48.6%:

6. Արտակադապարման ժամկետից կախված կծկումային դեֆորմացիաների կրճատման մեծությունը կարելի է գնահատել  $\eta(t)$  էմպիրիկ գործակցի օգնությամբ՝ ըստ (8) բանաձևի: Գործնականում կադապարազատման օրերի օպտիմալ քանակը կազմում է 200 օր և ավել ահելը դեպքում:

7. Շաղախի մղման տեխնոլոգիան բարերար ազդեցություն է ունենում կառուցվածքային բետոններում սողքային դեֆորմացիաների նվազեցման վրա՝ համեմատած թրթռացման մեթոդով ստացված նույն բետոնների նկատմամբ: Ծնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոնների

համար սողքի ազդեցության համեմատական նվազեցումը թրթռացումով ստացված նույն կազմի բետոնների սողքի նկատմամբ հասնում է մինչև 20%-ի:

Պատճառները նույն բացատրությունն ունեն, ինչ որ կծկումների փոքրացման, ամրության և կոշտության համեմատական բարձրացման դեպքում:

8. Մեծանում է շաղախի մղման մեթոդով արտադրված, երկաթուղու համար նախատեսված, նախալարված երկաթբետոնե կոճի ճաքակալությունը և փոքրանում է նախալարման ճիգը բետոնին հաղորդելուց հետո սողքային դեֆորմացիան՝ թրթռացված մեթոդով արտադրվածի նկատմամբ:

9. Ճնշման տակ շաղախի մղումով ստացված բետոնների սողքի փորձարկումների հիման վրա սողքի չափի անալիտիկ արտահայտության համար առաջարկվել է (26) բանաձևը, որն ստացվում է սողքի ժառանգաբար ծեղացման տեսության հիմքում ընկած ժառանգաբար ծեղացման առաձգամածուցիկ ռեոլոգիական մոդելը:

10. Օգտագործելով սողքի տեսության հիմնական ինտեգրալ հավասարման լուծման մշակված մեթոդը, լուծված են սողքի տեսության մի քանի գործնականորեն կարևոր նշանակություն ունեցող խնդիրներ, որոնց արդյունքները ցույց են տալիս, որ երկու տարբեր տեխնոլոգիաներով ստացված (ճնշման տակ շաղախի ներարկումով և թրթռացումով) բետոնների սողքային հատկությունները ժամանակի ընթացքում զգալի ազդեցություն են ունենում բետոնից և երկաթբետոնից իրականացված ցանկացած կոնստրուկտիվ էլեմենտում գործող լարումների փոփոխության՝ մեծության և բնույթի վրա: Սողքի տեսության հիմնային ինտեգրալ հավասարման լուծման ատենախոսությունում առաջադրված մեթոդը հնարավորություն է տալիս որոշելու բետոնից և երկաթբետոնից իրականացված ցանկացած տարրի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը բետոնի սողքի հաշվառմամբ:

11. Առաձգապլաստիկ վիճակի համար դեֆորմացիայի գործակիցը կախված է գործող նորմալ լարումից: Այս կախվածությունը կարելի է արտահայտել (45) բանաձևով:

12. Թեզույն ուսումնասիրված երկու տարբեր տեխնոլոգիաներով ստացված բետոնների առաձգապլաստիկական հատկությունների համեմատական հետազոտությունները հանգեցրել են հետևյալ արդյունքների:

- Բետոններում ճաքառաջացման և այդ ճաքերի զարգացման պրոցեսը կախված է ինչպես բետոնի կազմից, այնպես էլ դրա ստացման տեխնոլոգիայից: Նույն կազմ ունեցող բետոնների ճաքակալության սահմանը շաղախի ներարկման տեխնոլոգիայի կիրառման դեպքում գերազանցում է թրթռացումով ստացվածից:

- Ժամանակի ցանկացած պահին, անկախ նրանից, թե մինչև այդ ժամանակահատվածում ինչպիսի օրինաչափությամբ են փոփոխվել լարումներն ու նյութի առաձգականության մոդուլը, դեֆորմացիան կորոշվի հենց այդ պահին գործող նորմալ լարումով ու առաձգականության մոդուլով:

13. Ոչ գծային սողքը նշանակալից կերպով դրսևորվում է այն դեպքում, երբ միջավայրում գործող նորմալ լարումների մեծությունները գերազանցում են բետոնի ճաքառաջացման սահմանը և նյութը գտնվում է լայն արտահայտված առաձգապլաստիկական վիճակում: Այդ դեպքում սողքի հիմնային ինտեգրալ հավասարումները պետք է կազմված լինեն լարումների (43) ֆունկցիայի հիմքով, որի մեջ մտնող  $\beta$  գործակիցը կարելի է որոշել (46) էմպիրիկ բանաձևով:

Ոչ գծային սողքի տեսության հիմնային ինտեգրալ հավասարումը ներկայացվում է (39) տեսքով:

14. Համաձայն փորձի արդյունքների առաձգապլաստիկական վիճակում «բեռնում–բեռնաթափում» կրկնվող ցիկլերի դեպքում բետոնի կլանելիության  $\psi_k$  գործակիցը ունի աղյուսակ 17-ում ներկայացված արժեքները:

Ինչպես համապատասխան լաբորատոր փորձարկումները, այնպես էլ տեսական հաշվարկները ցույց են տալիս, որ  $\psi_k$  գործակիցը աճում է մինչև ( $k=6$ ) վեցերորդ ցիկլը, որից հետո այն սկսում է աստիճանաբար նվազել:

**ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԵՆ  
ՀԵՏԵՎՅԱԼ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐՈՒՄ**

1. Արտոնագիր №1056 գյուտի, հայտի №P20000112: Արտոնագրատեր և հեղինակ Դ.Կլեկյան: Երկաթբետոնե հակասեյսմիկ բազմանցք ծածկի սալ և այդ սալերի մոնտաժման եղանակ, գրանցված է 28.12.2001թ., 10 էջ
2. Патент на изобретение №2189902, по заявке №2000115599. Авторы: Григорян В. И., Бчемян Л. К., Клекчан Д. Г. Поточная линия приготовления строительного раствора. Г. Москва 27. сентября 2002г., 6с.
3. Դ.Հ. Կլեկյան, Ճնշման ազդեցությունը շաղախի մղման եղանակով ստացված բետոնների ամրության վրա: Հայաստանի շինարարների տեղեկագիր (հ.թողարկում), N2(23),2003 թ.,էջ8-9:
4. Есаян С.Г., Клекчан Д.Г. Влияние старения на прочность и жесткость бетонов, изготовленных методом нагнетания раствора. Бюлетень, строителей Армении (спец. выпуск), 2003, N 2(23), с. 41-43.
5. Есаян С.Г., Клекчан Д.Г. Ползучесть бетона, изготовленного методом нагнетания раствора. Бюллетень, троителей Армении, 2003, N 2, (79), с. 22-26.
6. Есаян С.Г., Клекчан Д.Г. Нелинейная ползучесть и пластичность бетона. Сб.н.т.ЕрГУАС, 2004, т. 1, с. 89-92.
7. Գրիգորյան Վ.Ի., Եսայան Ս.Գ., Կլեկյան Դ., Ճնշման տակ շաղախի ներարկումով ստացված բետոնի կծկումները: Գիտ.աշխ.ժողովածու, ԵրՃՇՊՀ, 2004, հատոր 1, էջ 86-88:
8. Դ. Կլեկյան, Հ. Սահակյան. Ուղղանկյուն կտրվածքով և խարամաբետոնի միջուկով խողովակաբետոնի կողողունակությունն ու արդյունավետության գործակիցը:// Հայաստանի շինարարների ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ, 10-11, (146-147) 2009, էջ 30-32:
9. Արտոնագիր №204Ս, օգտակար մոդելի հայտի № AM20100035Ս: Արտոնագրատեր և հեղինակ Դ. Կլեկյան: Երկաթուղու երկաթբետոնե կոճերում դատարկություն առաջացնող սարք: գրանցված է 25.08.2010թ., 14 էջ
10. Р. Аветисян, М. Аветисян, Д. Клекчан. Преднапряженные железобетонные шпалы для рельсового пути. Бюллетень, строителей Армении, №5-6, (153-154), 2010. - с. 72-74
11. Արտոնագիր №235Ս, օգտակար մոդելի, հայտի №AM20100145Ս: Արտոնագրատեր և հեղինակ Դ. Կլեկյան: Երկաթուղու երկաթբետոնե կոճերի պատրաստման կադապար: գրանցված է 25.03.2011թ., 7 էջ
12. Դ. Հ. Կլեկյան, Խ. Կաղզվանցյան. Բազալտի խճով և լիթոիդային պեմզայի ավազով բետոնի սողքային հատկությունների վրա ջերմային շոգեհարման տեխնոլոգիայի ազդեցությունը:// Հայաստանի շինարարների միության «Տեղեկագիր» (գիտական աշխատանքների ժողովածու) 6-7, 2011թ. (166-167) -էջ 61-65:
13. Карапетян К. А., Клекчан Д. Г., Манукян Е. С. Влияние ориентации по отношению к слоям укладки на влажностную усадку и ползучесть при осевом растяжении старого бетона.// Труды VII международной конференции сентября 19-23 Горис-Степанкерт. Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред., 2011г., (175-176), с. 200-206.
14. Դ. Հ. Կլեկյան. Ճնշման տակ մղումով շաղախի ներարկման տեխնոլոգիայով ստացված տուֆաբետոնի սողքային հատկությունները// Հայաստանի շինարարների միություն, «Տեղեկագիր», №3-4, 2012թ. (175-176) -էջ 71-74:
15. Դ. Հ. Կլեկյան: Շաղախի մղման եղանակով ստացված բետոնի ռելոգիական հատկությունների ազդեցությունը ժամանակի ընթացքում երկաթբետոնի ձողի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի փոփոխության վրա:// Հայաստանի շինարարների միություն «ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ» №5-6, 2012թ., (177-178), էջ 15-23:
16. Դ.Հ. Կլեկյան: Ժամանակի ընթացքում բետոնի հասունացման ազդեցությունը դրա դեֆորմացիոն հատկությունների վրա: // Հայաստանի շինարարների միության «ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ», №5-6, 2012թ., (177-178), էջ 24-29:
17. Դ.Հ. Կլեկյան: Առաձգալիաստիկության ազդեցությունը բետոնի դեֆորմացման հատկությունների վրա: //Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի ԼՐԱԲԵՐ, հատոր 9, №4, 2012թ., էջ 777-780:
18. Դ. Հ. Կլեկյան, Խ. Մ. Կաղզվանցյան: Ջերմաշոգեհարված երկաթբետոնի տարրի լարվածա-

- դեֆորմացիոն վիճակի որոշումը բետոնի սողքի հաշվառմամբ:// ՀՊՃՀ, ԼՐԱԲԵՐ գիտական հոդվածների ժողովածու, մաս II, ԵՐԵՎԱՆ ԾԱՐՏԱՐԱԳԵՏ 2012. - էջ 659-664:
19. Գ. Հ. Կլեկչյան, Խ. Մ. Կաղզվանցյան: Լաբորատոր փորձարկումով բետոնի սողքի չափի որոշման գործընթացը://ՀՊՃՀ ԼՐԱԲԵՐ գիտական հոդվածների ժողովածու, ՄԱՍ II, ԵՐԵՎԱՆ ԾԱՐՏԱՐԱԳԵՏ, 2012 թ. - էջ 665-669:
  20. Գ. Հ. Կլեկչյան. Դնշման տակ շաղախի մղումով ստացված երկաթբետոնե հեծանի լարվածադեֆորմացված վիճակը բետոնի սողքի և ծերացման հաշվառմամբ:// Հայաստանի շինարարների միության «ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ» №9-10, 2012թ., (181-182), էջ 42-47
  21. Карапетян К. А., Клекчян Д. Г., Манукян Е. С. Влияние масштабного фактора на вызванную десорбцией влаги ползучести старого бетона при одноосном сжатии. Известия национальной академии наук Армении, Механика, том 65, №3, 2012г., с. 54-60
  22. Карапетян К. А., Клекчян Д. Г., Манукян Е. С. Влияние масштабного фактора на сопротивляемость влажностной усадке старого бетона.// Известия национальной академии наук Армении, Механика, том 65, №2, 2012г., с. 77-82.
  23. К. Карапетян, Д. Клекчян, Е. Манукян. Исследование влажностной усадки и ползучести в условиях одноосного сжатия старого бетона с учетом ориентации по направлению слоев укладки.«Сборник научных трудов Ереванского государственного университета архитектуры и строительства» том 1 (44) 2012г.,стр.69-75
  24. Клекчян Д. Г. Диссипация пластической энергии и коэффициент поглощения при циклическом нагружении-разгрузении гидротехнического бетона. //Министерство образования и науки Грузии институт водного хозяйства Грузинского технического университетасборник научных трудов №67, 2012г., с. 137-140
  25. Клекчян Д. Г. Пластические свойства бетонов. Коэффициент поперечного расширения. //ВЕСТНИК инженерной академии Армении том9, №2, 2012г., с.383-385.
  26. Клекчян Д. Г. Влияние метода нагнетания раствора на вязкостные свойства бетона.//НАН Армении Институт Механики. Актуальные проблемы механики сплошной среды. Труды международной конференции, посвященной 100-летию академика НАН Армении Н.Х. Арутюняна 08-12 октября 2012г. Цахкадзор, Издательство ЕГУАС,Ереван-2012г.,том1 с. 304-306.
  27. Клекчян Д. Г. Напряженно-деформированное состояние железобетонных элементов с учетом ползучести бетона.//ВЕСТНИК инженерной академии Арм.,том 9 №3,Ереван 2012г.,с. 547-551
  28. Тамразян А. Г., Есаян С. Г., Клекчян Д. Г. Продольные колебания железобетонного стержня на основе теории упругой наследственности. Строительство и реконструкция “Государственной университет-учебно-научно-производительный комплекс ” (ФГБОУ ВПО “Госуниверситет-УНПК” ) №4(42) 2012г. стр. 66-71
  29. Тамразян А. Г., Клекчян Д. Г. О теории вязко-упруго- пластичности бетона. //VZNIK MODERNI VEDECKE-2012-Dil 17, Matematika Fyzika Vystavba a architektura,Praha Publishing house <<Education and Scichce>> s.r.o,2012г., с. 66-71
  30. Тамразян А. Г., Клекчян Д. Г. Особенности расчета железобетонных элементов ползучести и старения бетона.// Материали за 8-а международна научна практична конференция,“ Научният потенциал на света” 2012г. Том18. Здание и архитектура.Физика. София“Бял ГРАД-БГ”. ООД, Стр. 27-33.
  31. Тамразян А.Г., Клекчян Д.Г. К учету особенностей свойств бетона как вязко-упруго-пластической наследственно стареющей среды// Российская академия архитектуры и строительных наук, Администрация Курской области. Центральное региональное отделение РААСН. Курский государственный университет. Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы международных академических чтений 15-16 ноября 2012г., с.45-51
  32. Գ. Հ. Կլեկչյան, Շաղախի ներարկումով ստացված բետոնների ռելոգիական հատկությունները: Մենագրություն, Երևան, ԵՃՇՊՀ, 2013թ. -219 էջ:
  33. Գ. Հ. Կլեկչյան, Բետոնում սողքի և ծերացման հետևանքով լարումների ռելաքսացիան: //Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի ԼՐԱԲԵՐ, հատոր 10, №1, 2013թ.,էջ 79-82:
  34. Клекчян Д. Г. Ползучесть бетона изготовленного по технологии нагнетания раствора. //Министерство просвещения и науки Грузии. Грузинский технический университет Институт водного хозяйства Экоцентр охраны окружающей. Тбилиси-Боржоми,Грузия 2013г.с.112-116

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ РАСТВОРА**

**Резюме**

Диссертационная работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям основных длительных процессов, происходящих в конструктивных бетонах, изготовленных методом нагнетания растворов под давлением: закономерностей изменения прочности, модуля упругости, усадочных деформаций и ползучести. Особое место в работе отводится выявлению закономерностей влияния срока герметичной распалубки на прочностные и деформативные характеристики бетонов, полученных методом нагнетания растворов.

Для оценки эффекта технологии нагнетания проводились параллельные адекватные опыты над бетонами того же составов, но полученных по традиционной технологии – методом вибрации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения. Основная работа представлена на 298 страницах и содержит 133 таблицы, 54 рисунка и графики. Приложение состоит из 36 страниц и содержит 66 таблиц. Список литературы включает 213 наименования.

Первая глава посвящена изучению технологических особенностей бетонов, изготовленных методом нагнетания раствора под давлением. Обосновывается актуальность экспериментального и теоретического исследования основных физико-механических свойств, активно изменяющихся с возрастом бетонов. Приводятся основные характеристики исходных материалов для получения испытуемых по программе бетонов. Для лабораторных испытаний выбраны пять разных составов бетона: базальтового щебня и речного песка, базальтового щебня и песка из литоидной пемзы, щебня и песка из местного туфа, щебня и песка из литоидной пемзы, шлакобетона.

Вторая глава посвящена подробному анализу результатов проведенных лабораторных опытных исследований для выявления закономерности на прочность и модуль упругости бетонов, изготовленных методом нагнетания. Полученные результаты сопоставляются с соответствующими показателями бетонов тех же составов, но полученных методом вибрации. Выведена закономерность влияния времени распалубки образцов на их прочность и деформативность. Предложены аналитические эмпирические формулы для определения прочности и модуля упругости в зависимости от возраста бетона.

В третьей главе приводятся результаты лабораторных испытаний усадочных деформаций бетонов полученных методом нагнетания раствора и, для сравнения, бетонов тех же составов традиционного изготовления – способом вибрации. Результаты опытов показали, что величина усадочных деформаций, благодаря применения технологии нагнетания раствора, в среднем снизились:

а) при бетоне из базальтового щебня и речного песка на 21%, б) при бетоне из базальтового щебня и песка из литоидной пемзы на 22%, в) при туфобетоне до 39%, г) при литоидном пемзобетоне до 55%, д) при шлакобетоне до 76%.

Анализируются результаты серии экспериментов, с целью выявления зависимости величин усадочных деформаций от времени распалубки. Опыты показали, что время распалубки значительно влияет на величину усадочных деформаций: чем дольше созревает бетонный элемент в герметической опалубке, тем меньше усадочные деформации. Так например, если

распалубка происходит в двадцативосьмидневном возрасте бетона, то усадочные деформации в бетоне из базальтового щебня и песка литоидной пемзы уменьшаются на 44%-а, а шлакобетоне – на 47%-ов.

Для определения влияния времени распалубки на уменьшения усадочных деформаций предложена эмпирическая формула, расчеты по которой достаточно удовлетворительно совпадают с результатами опытов.

Экспериментальные и теоретические исследования ползучести конструктивных бетонов одного состава полученных методами вибрации и нагнетания раствора под давлением, представлены в четвертой главе. В шести параграфах главы анализируются опытные числовые значения меры ползучести разных бетонов (из базальтового щебня и речного песка, базальтового щебня и песка из литоидной пемзы, туфобетона, литоидного пемзобетона и вулканического шлакобетона) загруженных в разном возрасте. Результаты опытов показывают, что метод нагнетания благотворно влияет также и на уменьшения деформаций ползучести. Это влияние усиливается при увеличении времени распалубки бетонных образцов: чем дольше элемент находится в герметической опалубке, тем меньше деформации ползучести. Численно эти зависимости соответствуют аналогичными влияниями на усадочные деформации.

Экспериментальные кривые ползучести аппроксимируются с предложенной аналитической функцией меры ползучести, которая получена реологическим моделированием бетона как стареющей вязкоупругой среды. Подробные сравнительные анализы показали, что примененная формуле меры ползучести достаточно адекватно отражает основные реологические свойства бетонов разного состава.

Экспериментальные и теоретические исследования влияния технологий изготовления на длительные процессы, убедительно доказывают значительное улучшение основных физико-механических и деформативных параметров конструктивных бетонов (прочность, жесткость, усадка, ползучесть), полученных методом нагнетания раствора по сравнению со способом вибрационного уплотнения, что позволяет рекомендовать технологию нагнетания раствора под давлением для широкого практического внедрения.

Пятая глава диссертации посвящена расчету конструктивных элементов из бетона и железобетона с учетом длительных процессов происходящих в бетоне. В основе числовых расчетов использованы экспериментальные данные, приведенные в диссертации. Сравнительные расчеты показывают, что применение метода нагнетания раствора значительно сокращают степень изменения напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных элементов, вызванных изменениями реологических свойств, происходящих в бетоне со временем.

Шестая глава посвящена исследованию упругопластических свойств бетонов и влияние на них технологии изготовления. Выведены уравнения связи напряжение-деформация на основе нелинейной функции напряжения с учетом ползучести. Предложена аналитическая функция напряжения, которая достаточно хорошо отражает характерные особенности нелинейности ползучести при высоких напряжениях. Особое место в этой главе уделено составлению уравнения упругопластической деформации при повторных циклических загрузениях по программе: «загрузка-разгрузка-загрузка-.... При этом определены коэффициенты поглощения, величина которых зависит от состава бетона, степени нелинейности деформационного процесса, количества циклов. Аналитически получены количество диссипированной пластической энергии в процессе упругопластического деформирования. Здесь тоже показатели бетонов изготовленных методом нагнетания раствора сравнительно лучше, чем тех же бетонов, полученных традиционным методом вибрирования.

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CONCRETE  
RECEIVED BY THE METHOD OF FORCING OF SOLUTES

Summary

The thesis is devoted to theoretical and experimental studies of the basic long processes happening in constructive concrete, made by a method of forcing the solutes under pressure: regularities of the change of durability, module of elasticity, shrinkable deformations and creep. The special place in work is allocated for detection of influence regularities of term tight removal from a timbering on strength and deformation characteristics of the concrete received by a method of forcing of solutes.

For assessment the technological effect of forcing parallel adequate experiments were held over the concrete of the same structures, out it was received by traditional technology that is vibration method.

The thesis consists of an introduction, six chapters, conclusion, the list of references and appendix. The main work is presented on 298 pages and contains 133 tables, 54 drawings and graphes. The appendix consists of 36 pages and contains 66 tables. The list of references includes 204 names.

Chapter 1 is devoted to the study of technological features of the concrete made by a method of forcing of solutes under pressure. Relevance of experimental and theoretical study of the basic physicommechanical properties which are actively changing with age of concrete. The main characteristics of initial materials for receiving of the concrete are provided according to the program. Five different compositions of concrete are chosen for laboratory researches: basalt rubble and river sand, basalt rubble and sand from lithoid pumice, rubble and sand from a local tuf, rubble and sand from lithoid pumice, dross-concrete.

Chapter 2 is devoted to the detailed analysis of results of the conducted laboratory skilled researches for detection of regularity on durability and the module of elasticity of the concrete made by a method of forcing. The received results are compared with the corresponding indicators of concrete of the same structures received by a vibration method. The regularity of time influence of the removal from a timbering samples is brought to their durability and a deformation property. Analytical empirical formulas for determination of durability and the elasticity module depending on age of concrete are offered.

Chapter 3 explains the results of laboratory researches of shrinkable deformations of concrete received by a method of forcing of solutes and, the way of vibration for comparison of concrete of the same structures of traditional production. Results of experiments showed that the size of shrinkable deformations, due to applications of technology of forcing of solutes, on the average decreased:

a) at concrete from basalt rubble and river sand for 21%, b) at concrete from basalt rubble and sand from lithoid pumice for 22%, c) at tuf-concrete to 39%, d) at lithoid pumice concrete to 55%, e) at dross-concrete to 76%.

The results of a series of experiments, for the purpose of detection the dependence of shrinkable deformations size from time of the removal of timbering are analyzed. Experiments showed that time of the removal from a timbering considerably influences the size of shrinkable deformations: the longer of the concrete element in a hermetic timbering, the less shrinkable deformations ripens. So for

example, if the removal from a timbering occurs at twenty-eight-day of concrete, shrinkable deformations in concrete from basalt rubble and sand of lithoid pumice decrease by 44% - and dross-concrete – for 47% .

For definition of influence of time of the removal from a timbering on reduction of shrinkable deformations the empirical formula calculations by which rather well coincide with results of experiences are offered.

Experimental and theoretical studies of creeping constructive concrete of one structure received by methods of vibration and soluties forcing under pressure, are presented in chapter 4. Six paragraphs of chapter skilled numerical values of a measure of creeping of different concrete (from basalt rubble and river sand, basalt rubble and sand from lithoid pumice, tuf-concrete, lithoid pumice concrete and volcanic dross-concrete) loaded at different age are analyzed. Results of experiments show that the forcing method influences on reduction of deformations of creeping also well. This influence grows when increase the time of the removal from a timbering concrete samples: the longer the element is in a hermetic timbering, the less is the deformation of creep. These dependences correspond to numerically similar influences on shrinkable deformations.

Experimental curves of creep are approximated with the offer of analytical function of the measure of creeping which is received by rheological modeling of concrete as the gething old viscoelastic environment. The detailed comparative analyses showed that the applied formula of creeping measures rather adequately reflects the main rheological properties of concrete of different structure.

Experimental and theoretical studies of influence of manufacturing techniques on long processes, prove convincingly considerable improvement of the key physicomechanical and deformation property parameters of constructive concrete (durability, rigidity, shrinkage, creeping), received by a method of forcing of soluties in comparison with the way of vibration consolidation that allows to recommend technology of forcing of soluties under pressure for widespread practical implantation.

The 5th chapter of the thesis is devoted to calculation of constructive elements from concrete and reinforced concrete taking into account long processes occurring inside concrete. At the basis of numerical calculations the experimental data are used wich is introduced in the thesis. Comparative calculations show that application of method of forcing of soluties considerably reduce the extent change of intense deformed condition of the concrete and ferroconcrete elements caused by changes of rheological properties, occurring inside concrete over time.

Chapter 6 is devoted to the research of elastoplastic properties of concrete and the influence on their manufacturing techniques. The deduced equations of tension deformation on the basis of nonlinear function of tension taking into account of creeping are deduced. Analytical function of tension which rather well reflects characteristics of nonlinearity of creeping at a high tension is offered. The special place in this chapter is given to drawing up the equation of elastoplastic deformation at repeated cyclic charging according to the program: "charging-discharging- charging -...". The absorption coefficients which size depends on composition of concrete, degree of nonlinearity of deformation process, quantity of cycles are defined. In the course of elastoplastic deformation quantity of dissipating plastic energy are analytically received. Here indicators of concrete are also made by a method of forcing of soluties it better, than the same concrete received by a traditional method of vibration.

