

**ԳԱԶԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ
ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄՆ ԱՄՐԱՑՆՈՂ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

Միհրան Գրիգորի Ստակյան*, Նարինե Վիլիկի Փիրումյան, Անգին Վիկտորի Մարտիրոսյան

Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ

**stakyan.mihran@yandex.ru*

Դիտարկված են զագատրանսպորտային համակարգում էլեմենտների (եռակցված կարերի) լարվածադեֆորմացիոն վիճակը և պլաստիկ դեֆորմացմամբ ամրացնող տեխնոլոգիայով էլեմենտներում հոգնածային երևույթների ազդագրեման եղանակները: Նշված են տվյալ երևույթներում գործոնների (երկրաչափական, լարումների կուտակման, պլաստիկ ամրացման) համատեղ ազդեցության ընթացակարգերը և դրանց գնահատումները համապատասխան գործակիցներով, որոնք էլքային և գործոնային դիմացկունության սահմանների հարաբերություններն են: Ըստ կատարված հոգնածային փորձարկումների որոշված են դիմացկունության պարամետրերը և ձևակերպված են ռեգրեսիոն հավասարումներ, որոնք գնահատում են յուրաքանչյուր գործակիցի փոփոխականությունը: Ներկայացված է համատեղ ազդող գործոնների բազմապարամետրական ֆունկցիոնալ կապը, որի միջոցով ձևակերպված են պարամետրական հավասարումների համակարգեր (I, II, III) ըստ յուրաքանչյուր գործոնի ազդման առաջնայնության: Դիտարկված են I համակարգի գրաֆիկական փոփոխման առանձնահատկությունները, որն ամրացման տեխնոլոգիան գնահատող համակարգն է և այդ տեխնոլոգիայի մաթեմատիկական մոդելը:

Բանալի բառեր. *զագատրանսպորտային համակարգի էլեմենտ, ազդող գործոններ, բազմապարամետրական ֆունկցիոնալ կապ, պարամետրական հավասարումների համակարգ*

Ներածություն

Գագատրանսպորտային համակարգը (ԳՏՀ) հանրապետության արդյունաբերական և գյուղատնտեսական կազմակերպությունների, լոգիստիկայի, կառավարման և սոցիալ-հասարակական կառույցների բնականոն գործունեությունն ապահովող կազմակերպություն է, որը կարևոր նշանակություն ունի: ԳՏՀ-ն հիմնականում տեղակայված է վերգետնյա՝ բարդ և կտրտված աշխարհագրական տեղանքով վայրերում, գործում է բաց մթնոլորտային պայմաններում, որի հետևանքով այն պետք է ապահովի անխափան աշխատանքի հուսալիության բարձր մակարդակ: ԳՏՀ-ով բնականոն զագամատակարարումն իրականացվում է խոշոր տրամագծի մայրուղային և տեղական խողովակաշարերով, որոնք միացված են եռակցված կարերով և տեղակայված հենարանային կառույցներում:

Գագամատակարարման փոփոխականությունն օրական և եղանակային տարբեր ժամանակահատվածներում, միջավայրի կոռոզիոն ներգործումը, ինչպես նաև ակտիվ երկրաշարժական

գոտում սեյսմիկ տատանումները ԳՏՀ-ում ազդող արտաքին գործոններ են: Ներքին ազդող գործոններից են. խողովակաշարերի կոնստրուկցիոն պողպատների ֆիզիկամեխանիկական բնութագրերը (կյութագիտական), երկրաչափական պարամետրերը, լարումների կուտակման երևույթը, եռակցված կարերի մակերևութային միկրոանհարթությունները և պլաստիկ ամրացման գործընթացը: Նշված գործոնները տարբեր թվաքանակներով և համակցումներով խողովակաշարերում նախաձեռնում են փոփոխական բարդ բեռնվածության ռեժիմ, հետևաբար և հոգնածային վնասվածքների զարգացում ԳՏՀ-ի էլեմենտների՝ եռակցված կարերի, վտանգավոր կտրվածքներում, որը որոշակի ներգործման պայմաններում կարող է խողովակաշարերի քայքայման պատճառ դառնալ: Բնականոն գազամատակարարման գործընթացն ապահովելու նպատակով անհրաժեշտ է հետազոտել ազդող գործոնները, դրանց տարատեսակներն ու ներգործման պայմանները (եզակի կամ համատեղ), որի համար իրականացնել հաշվանախագծային, տեխնոլոգիական, շահագործական, տեխնիկական սպասարկման և արատաորոշման գործընթացներ, որոնց արդյունքով կատարել ԳՏՀ-ի վնասված էլեմենտների վերանորոգման կամ փոխարինման աշխատանքներ:

Նյութեր և մեթոդներ

Կոնստրուկցիաների հոգնածային դիմադրությանը նվիրված հետազոտություններում հիմնականում դիտարկված են ներքին գործոնների ազդեցության առանձնահատկությունները և մեծամասամբ ուսումնասիրված են եզակի ներգործման դեպքերը, համաձայն որոնց նշագրված է դիմացկունության սահմանների զգալի նվազում (1,50...2,75 անգամ): Դիմացկունության սահմանների նվազումը զգալի է լարումների կուտակման դեպքում, մակերևութային միկրոանհարթությունների ազդեցությամբ նվազումը միջին բնույթ է կրում, իսկ երկրաչափական գործոնը թեթևացնում է այդ անկումը: Ամրացման գործընթացը, ընդհակառակը, զգալիորեն բարձրացնում է դիմացկունության սահմանի արժեքը: Նշված գործոնների համատեղ ազդեցությունը փոփոխում է դիմացկունության սահմանի գրադիենտը, հիմնականում աճի պայմաններում: Հարկ է նշել, որ գործոնների համատեղ ազդեցությունը համեմատաբար քիչ է հետազոտված և հաշվարկային մեթոդներում չեն առաջադրված դիմացկունության սահմանների հիմնավորված փոփոխումների միջոցառումները:

Աշխատանքի նպատակն է ԳՏՀ-ի հոգնածային երևույթների վրա գործոնների համատեղ ազդման օրինաչափությունների բացահայտումը և այդ հիմքով դիմացկունության սահմանների արժեքների ճշգրտումը:

Տվյալ աշխատանքում նշված գործոններից ընտրված են առավել հաճախ հանդիպող տարբերակները (մակերևութային ամրացում, երկրաչափություն, լարումների կուտակում) և դրանց համատեղ ազդեցությունը գնահատելու նպատակով համակարգային վերլուծության մեթոդի կիրառմամբ կատարված է գործոնների դասակարգումն ըստ առաջնայնության սկզբունքի և

ընտրված են գործառական տարբերակները: Արդյունքում կազմված է հոգնածային դիմադրության բազմապարամետրական ֆունկցիոնալ կապ, իսկ նշված գործառույթներն իրականացնելու համար ձևավորված են պարամետրական հավասարումների համակարգեր (I, II, III), որոնցից յուրաքանչյուրում որպես առաջնային ընտրված է երեք գործոններից մեկը, որի հիմնական ցուցանիշը հանդես է գալիս որպես հավասարումների համակարգի արգումենտ, իսկ մյուսները՝ որպես պարամետրեր: Որպես գործոնի ցուցանիշ առաջադրված է էլքային և գործոնային դիմացկունության սահմանների հարաբերությունը [1-5]՝

$$\bullet \text{ ամրացման գործակից} - K_{v\sigma} = \bar{\sigma}_{Rvd} / \bar{\sigma}_{Rd} > 1, \quad (1)$$

$$\bullet \text{ մասշտաբային գործակից} - K_{dv} = \bar{\sigma}_{Rd} / \bar{\sigma}_{Rd_0} \lesssim 1, \quad (2)$$

$$\bullet \text{ լարումների կուտակման գործակից} - K_{\sigma} = \bar{\sigma}_{Rdh} / \bar{\sigma}_{Rdl} < 1, \quad (3)$$

որոնք համախմբված են գործոնների ազդեցության գումարային գործակցի մեջ՝

$$K_{\sigma D} = K_{\sigma} / (K_{d\sigma} \cdot K_{v\sigma}): \quad (4)$$

Հետագուովող հիմնախնդրի վրա ազդող առաջնային գործոնները հաշվառող ցուցանիշներ են նաև ԳՏՀ էլեմենտների հիմնական երկրաչափական պարամետրերը (d, ℓ) և եզրագծի ձևից առաջացող լարումների կուտակումները ($\bar{\alpha}_{\sigma}$), աշխատանքային մակերևույթների վրա պլաստիկ դեֆորմացման արդյունքով ամրացված շերտի տվյալները ($\Delta h, HV_{max}$), որոնք ձևավորում են այդ մեծությունների առաջնային ենթախմբի կազմը:

$K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}$ գործակիցները՝ դրանք էլքային վիճակը և տվյալ գործոնը բնութագրող դիմացկունության սահմանների հարաբերություններն են, իսկ $\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ն այդ բոլոր գործակիցները հաշվառող միջնարժեքային դիմացկունության սահմանն է: Դրանք ընդգրկված են երկրորդ ենթախմբում և ներկառուցվածքային առումով փոխկապակցված մեծություններ են:

Արդյունքներ և քննարկում

Պարամետրերի նշված ենթախմբերը ներառված են մեկ ընդհանուր բազմապարամետրական ֆունկցիայի մեջ, որը հետագուովող հիմնախնդրի հանրագումարային մաթեմատիկական մոդելն է: Նշված գործոնների ցուցանիշների միջև փոխկապակցվածությունն ընդհանուր տեսքով կարելի է ներկայացնել որպես բազմապարամետրական ֆունկցիա [6-8]՝

$$\Phi[(\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}), (K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}, \bar{\sigma}_{R(v)})] = 0, \quad (5)$$

որը գործնական հաշվարկներում օգտագործվում է ռեգրեսիայի պարամետրական հավասարումների համակարգի տեսքով: Եթե (5)-ը ներկայացվի որպես երկչափ, եռաչափ կամ քառաչափ պարամետրական հավասարումների համակարգ, դրանց համապատասխան նշված համակարգերի ներսում կստացվեն ֆունկցիաների 30...70 համակցությունների տարբերակներ: Այդ դեպքում (1-3) համակարգերից որևէ մեկի, ինչպես նաև այդ համակարգից ֆունկցիաների համակցության որոշակի տարբերակի ընտրության անհրաժեշտություն է առաջանում, որն առավելապես համապատասխանում է առաջադրված խնդրի լուծմանը: Հավասարումների համակարգի

տեսակի ընտրությունը կատարվում է այդ համակարգի ներսում, ֆունկցիոնալ կապերի տեղեկատվության աստիճանից, որը թույլ է տալիս հեշտացնել ստացված արդյունքների ընդհանրացումը, որոնց գրաֆիկական տեսքը սովորաբար նմանատիպ կորերի ընտանիք է և ցուցաբերում է ուսումնասիրվող երևույթի ազդեցության արդյունավետությունը, որն իր հերթին հանգեցնում է գործոնների համակցության օպտիմալ տարբերակի ընտրությանը: Սա էլ իր հերթին թույլ է տալիս իրականացնել երկրորդ փուլային մոտեցումը՝ հավասարումների ընտրված համակարգի համակցությունների ամբողջությունից ընտրել այն տարբերակը, որը բոլորից պարզ է արտահայտում ուսումնասիրվող գործոնների փոփոխման առանձնահատկությունները [9, 10]:

(5) ֆունկցիայի կառուցվածքը և տեսքը կախված են առաջադրված հետազոտության հիմնախնդրի լուծման առանձնահատկություններից, որոնք թելադրում են (5)-ում ընդգրկված մեծությունների ենթախմբերի ձևավորումը, իսկ ենթախմբերի ներսում՝ այդ մեծությունների դասակարգումն ըստ հետազոտվող գործոնի առաջնայնության աստիճանի: Այդ պատճառով էլ մեծություններից մեկը ստանում է ֆունկցիայի արգումենտի կարգավիճակ, իսկ մյուսները դասակարգվում են ըստ կարգային պարամետրերի՝ էլնելով հետազոտության շրջանակում դիտարկվող մնացած գործոնների կարևորության աստիճանից: Այդ առումով (5)-ը կարելի է ներկայացնել երկու առանձին բազմապարամետրական ֆունկցիաների տեսքով, որոնցից յուրաքանչյուրի համար կարելի է ձևավորել պարամետրական հավասարումների առանձին համակարգ:

ա) $K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}, \bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի առանձին կապերը $\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}$ -ից, ըստ ազդող գործոնների,

բ) նույն մեծությունների փոխկապակցված կապերը $\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}$ -ից, որոնց շնորհիվ տրամաբանված հաջորդականությամբ կարելի է որոշել յուրաքանչյուրի արժեքը՝ հետագա հաշվանախազմային, տեխնոլոգիական, տեխնիկական սպասարկման և փորձագիտական գործողություններում առանձին գործոնի քանակական գնահատման համար:

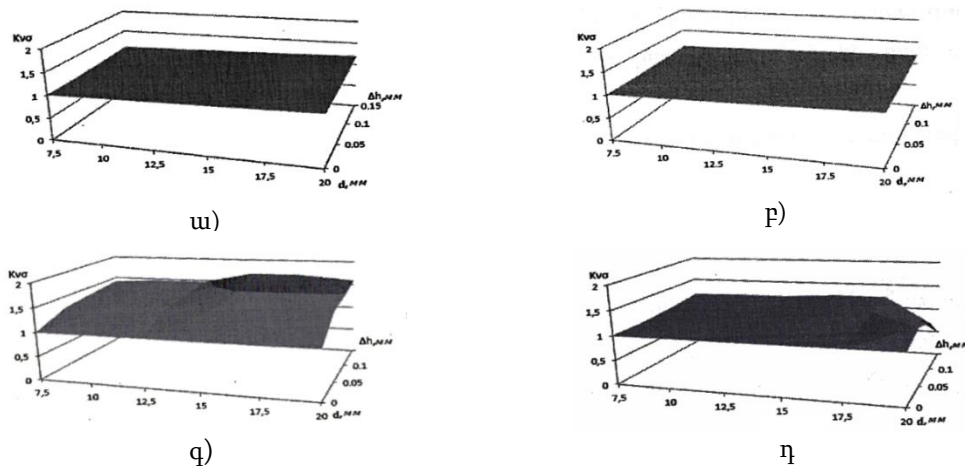
ա) դեպքի համար ազդող գործոնների առաջնայնության հնարավոր տարբերակներն են.

$$\begin{array}{lll} 1. & (\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}), & 3. & (d, \Delta h, \bar{\alpha}_{\sigma}), & 5. & (\bar{\alpha}_{\sigma}, \Delta h, d), \\ 2. & (\Delta h, \bar{\alpha}_{\sigma}, d), & 4. & (d, \bar{\alpha}_{\sigma}, \Delta h), & 6. & (\bar{\alpha}_{\sigma}, d, \Delta h): \end{array} \quad (6)$$

Տվյալ աշխատանքում դիտարկվել են նշված 6 տարբերակներից միայն թթ. 1-ը, 3-ը և 5-ը: (5) ֆունկցիաների հաշվառման մեծ թվով և բազմազան համակցություններից ընտրվել են այն բաղադրիչները, որոնք էապես են ազդում էլեմենտների հոգնածային դիմադրության վրա՝ $K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{v\sigma}, K_{\sigma D}, \bar{\sigma}_{R(v)}$: Որպեսզի հաշվանախազմային գործընթացների համար ստացվեն քանակական գնահատականներ, $\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}$ մեծություններից մեկն ընտրվում է որպես արգումենտ, իսկ մյուս երկուսը՝ լրացուցիչ պարամետրեր: Արդյունքում ստացվում են ֆունկցիաների երեք խմբեր, որոնք լիովին բավարարում են ամրացման արդյունքի քանակական գնահատումը ցանկացած ձևի և չափի էլեմենտների համար՝

I	II	III	
$K_{d\sigma} = f_1(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_{d\sigma} = \varphi_1(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_{d\sigma} = \psi_1(\bar{\alpha}_\sigma, \Delta h, d),$	
$K_\sigma = f_2(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_\sigma = \varphi_2(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_\sigma = \psi_2(\bar{\alpha}_\sigma, \Delta h, d),$	
$K_{v\sigma} = f_3(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_{v\sigma} = \psi_3(\bar{\alpha}_\sigma, \Delta h, d),$	(7)
$K_{\sigma D} = f_4(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_{\sigma D} = \varphi_4(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma),$	$K_{\sigma D} = \psi_4(\bar{\alpha}_\sigma, \Delta h, d),$	
$\bar{\sigma}_{R(v)} = f_5(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma),$	$\bar{\sigma}_{R(v)} = \varphi_5(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma),$	$\bar{\sigma}_{R(v)} = \psi_5(\bar{\alpha}_\sigma, \Delta h, d),$	
$(x = \Delta h),$	$(x = d),$	$(x = \bar{\alpha}_\sigma):$	

(7)-ում ֆունկցիաների I համակարգի համար առաջնային է ընդունված ամրացնող տեխնոլոգիայի գործոնը, II-ի համար՝ կոնստրուկցիոն տարրերի հիմնական երկրաչափական պարամետրերը, իսկ III-ի համար՝ լարումների կուտակման երևույթը: Արգումենտների նման տեղաշարժը $K_{d\sigma}, K_\sigma, K_{\sigma D}, K_{v\sigma}, \bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի կոորդինատների անփոփոխ արժեքների դեպքում թույլ է տալիս (x, y) կոորդինատային համակարգում ստանալ օրթոգոնալ դասավորված ֆունկցիաների ընտանիքներ, իսկ (K, x, y) եռաչափ կոորդինատային համակարգում՝ 3D սկզբունքով ձևավորված մակերևույթներ (նկ. 1): (7) ֆունկցիաների կապը թույլ է տալիս յուրաքանչյուր որոշակի դեպքի համար, հաշվի առնելով ներկայացված գործոններից գերակշռողին, որը գործնական հետաքրքրություն է ներկայացնում, կատարել դրա քանակական գնահատումը, համեմատելով (7) ֆունկցիաների գրաֆիկների ենթախմբերը, որոնք ներկայացնում են ոչ միայն ուսումնասիրված գործոնների, այլ նաև դրանց համակցված ազդեցությունները: Դիտարկվող գործոնների համալիր ազդեցության օպտիմալ լուծումների համար նպատակահարմար է հաշվարկների արդյունքները ներկայացնել 3D ձևաչափով (նկ. 1-ում ներկայացված են $K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma)$ ֆունկցիաների ենթախմբերը):



Նկ. 1. $K_{v\sigma} = \varphi_3(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma)$ ֆունկցիայի մակերևույթները, $\bar{\alpha}_{\sigma 1}$ (ա), $\bar{\alpha}_{\sigma 2}$ (բ), $\bar{\alpha}_{\sigma 3}$ (գ) և $\bar{\alpha}_{\sigma 4}$ (դ)-ի համար

$\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի միջինացված արժեքները հաշվարկված են փորձանմուշների ըստ հոգնածային փորձարկումների 10...12 շարքերի և դրանցից որոշվել են $K_{d\sigma}, K_\sigma, K_{\sigma D}, K_{v\sigma}$ գործակիցները, որոնք խմբավորված են ըստ $d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma$ պարամետրերի [11, 12]: Նշված գործակիցների և $\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի հաշվադրաֆիկական գնահատման համար, օգտագործելով համակարգչային ստանդարտ ծրագրերը, (7)

ֆունկցիաների համար ստացվել են 1...3-րդ կարգի ռեգրեսիայի հավասարումներ և ընտրվել են այն տարբերակները, որոնք ապահովում են դետերմինացիայի գործակցի՝ $R^2 > 0,9$ արժեքը: Համաձայն ընտրված ռեգրեսիայի հավասարումների, կառուցված են (7) ֆունկցիայի գրաֆիկները (1)-(4) գործակիցների և $\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի հաշվագրաֆիկական գնահատման համար, կախված ամրացման աստիճանից: (7) ֆունկցիաները, որոնք արտահայտված են բազմապարամետրական հավասարումներով, (x, y) կոորդինատային համակարգում գրաֆիկորեն ներկայացնելու դեպքում հանդես են գալիս կորերի ընտանիքների տեսքով, որոնք ըստ գրադիենտի և արժեքների փոփոխման բացահայտում են դիտարկվող գործոնի ազդեցության բնույթը և հիմնավորում դրա գնահատման աստիճանը: Այդ գործընթացն արդյունավետ դարձնելու նպատակով նշված կորերը համարակալված և ինդեքսավորված են ըստ գործոնը բնութագրող պարամետրերի $(d, \Delta h, \bar{\alpha}_\sigma)$: Դիտարկված են (7)-ի I համակարգում ընդգրկված ֆունկցիաների փոփոխման առանձնահատկությունները:

Կրողունակության վրա ազդող հիմնական գործոններից մեկն էլեմենտների աշխատանքային մակերևույթների պլաստիկ դեֆորմացումն է (ՄՊԴ), որպես հոգնածային դիմադրության բարձրացման առավել արդյունավետ և հասանելի մեթոդ, քանի որ կառուցվածքային էլեմենտների խափանումների մոտ 75 %-ը հոգնածային բնույթ է կրում: Այս համատեքստում դիտարկված են նախկինում կատարված փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները, որոնք նպատակաուղղված են եղել պողպատ 40X-ից պատրաստված էլեմենտների ամրացման երևույթի ուսումնասիրությանը [12-15]: Համապատասխան տվյալները դասակարգված և մշակված են ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդներով [16, 17] և ստացվել են I համակարգի նշված հավասարումներն ամրացման աստիճանի քանակական գնահատման համար: Որպես օրինակ տրվում է $K_{v\sigma} = f_3(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$ ֆունկցիայի հավասարումների փաթեթը (աղյուսակ): Մնացած գործակիցների և $\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի ֆունկցիաների համար նույնպես ստացվել են նմանատիպ 2-րդ և 3-րդ կարգի աստիճանային հավասարումներ:

Աղյուսակ

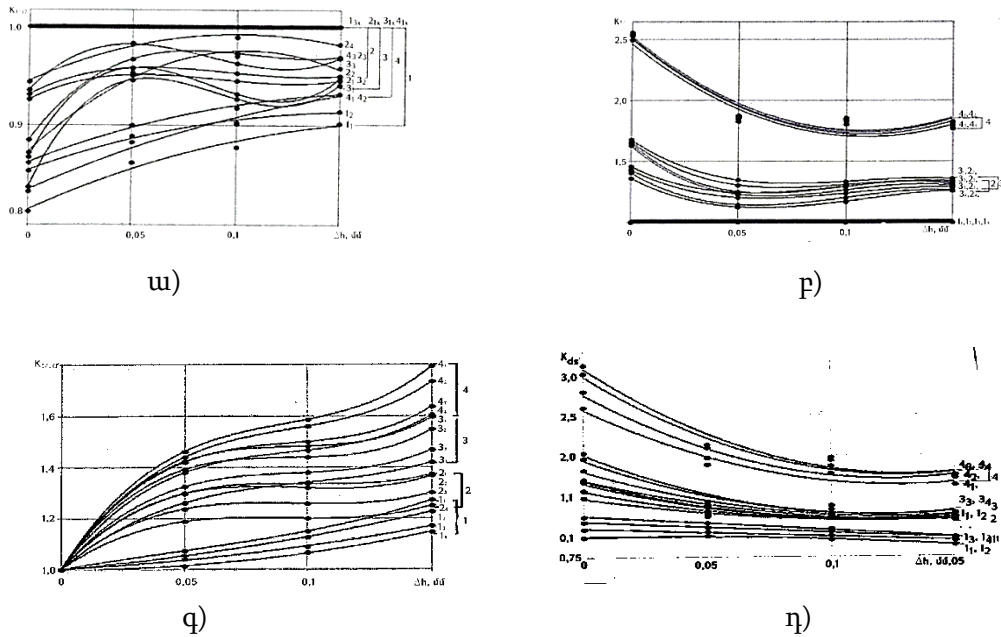
 $K_{v\sigma} = f_3(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$ ֆունկցիայի ռեգրեսիայի հավասարումները

N°	$\bar{\alpha}_\sigma$	$d, \text{մմ}$	$K_{v\sigma} = f_3(\Delta h)$ ռեգրեսիայի հավասարումները, $d = 7,5 \dots 20,0 \text{ մմ}, \bar{\alpha}_{\sigma 1} \dots \bar{\alpha}_{\sigma 4}, (x = \Delta h)$	R^2
1	$\bar{\alpha}_{\sigma 1}$ (հարթ), 1,00	7,5	$K_{v\sigma} = 0,017x^2 - 0,038x + 1,020$	0,999
2		10,0	$K_{v\sigma} = 0,011x^2 + 0,989$	0,997
3		15,0	$K_{v\sigma} = 0,011x^2 - 0,016x + 0,972$	0,999
4		20,0	$K_{v\sigma} = 0,006x^3 - 0,037x^2 + 0,137x + 0,893$	1,0
5	$\bar{\alpha}_{\sigma 2}$, 1,25	7,5	$K_{v\sigma} = 0,035x^3 - 0,297x^2 + 0,833x + 0,429$	
6		10,0	$K_{v\sigma} = 0,039x^3 - 0,344x^2 + 0,993x + 0,312$	
7		15,0	$K_{v\sigma} = 0,049x^3 - 0,434x^2 + 1,251x + 0,133$	
8		20,0	$K_{v\sigma} = 0,043x^3 - 0,387x^2 + 1,158x + 0,186$	
9	$\bar{\alpha}_{\sigma 3}$, 1,75	7,5	$K_{v\sigma} = 0,030x^3 - 0,277x^2 + 0,877x + 0,369$	
10		10,0	$K_{v\sigma} = 0,050x^3 - 0,433x^2 + 1,273x + 0,110$	
11		15,0	$K_{v\sigma} = 0,064x^3 - 0,575x^2 + 1,646x - 0,138$	
12		20,0	$K_{v\sigma} = 0,069x^3 - 0,600x^2 + 1,735x - 0,205$	
13	$\bar{\alpha}_{\sigma 4}$, 2,75	7,5	$K_{v\sigma} = 0,057x^3 - 0,488x^2 + 1,444x - 0,013$	
14		10,0	$K_{v\sigma} = 0,066x^3 - 0,566x^2 + 1,656x - 0,156$	
15		15,0	$K_{v\sigma} = 0,062x^3 - 0,533x^2 + 1,603x - 0,133$	
16		20,0	$K_{v\sigma} = 0,070x^3 - 0,59x^2 + 1,740x - 0,221$	

Համաձայն ստացված ռեգրեսիայի հավասարումների, կառուցված են (7) ֆունկցիայի գրաֆիկները (1) - (4) գործակիցների և $\overline{\sigma}_{R(v)}$ -ի հաշվադրաֆիկական գնահատման համար, կախված ամրացման աստիճանից (Δh – ից): Դիտարկված են նշված գործակիցների և $\overline{\sigma}_{R(v)}$ -ի փոփոխման բնույթը, կախված մակերևութային ամրացման տեխնոլոգիայի կիրառումից:

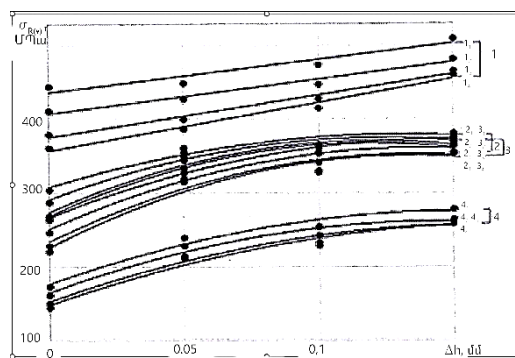
1. ՄՊԴ-ի ազդեցությունը $K_{d\sigma}$ մասշտաբային գործակցի վրա: Նշված գործոնները հոգնածային դիմադրության ցուցանիշի վրա ունեն հակադիր ազդեցություն: Եթե չափերի մեծացման հետ նյութագիտական և տեխնոլոգիական բնույթի միկրոկառուցվածքային անհարթությունների և տարասեռ արատների առաջացման հավանականությունը մեծանում է, իսկ ցիկլային ծոմամբ կամ ոլորմամբ բեռնավորման դեպքում ուժեղանում է մակերևութային շերտերի լարվածությունը, որտեղ սովորաբար առաջանում և զարգանում են հոգնածային վնասվածքները, ապա ՄՊԴ-ի կիրառման դեպքում մեծանում է այդ շերտերի ամրությունը և լավանում մակերևութի որակը՝ առաջանում են սեղմման մնացորդային լարումներ, որոնք բեռնաթափում են աշխատանքային լարումները, որի արդյունքում էլ տեղի է ունենում էլեմենտների հոգնածային ամրության աճ [18]: Ելակետային փորձարկումների համար (հարթ էլեմենտներ, $\Delta h = 0$), երբ $d=7,5...20,0$ մմ, $K_{d\sigma}$ -ի արժեքները փոխվում են $K_{d\sigma} = 1,00 ... 0,81$ միջակայքում, իսկ մակերևութային ամրացված շերտի հաստության մեծացման դեպքում ($\Delta h = 0,15$ մմ) այդ միջակայքը նեղանում է մինչև $K_{d\sigma} = 1,0 ... 0,9$ (նկ. 2ա): $d=20$ մմ տրամագծի համար մեծանում է նաև $K_{d\sigma} = f_1(\Delta h, d, \overline{\alpha}_{\sigma})$ ֆունկցիայի գրադիենտը: Լարումների վերանայման և համատեղ հաշվառման դեպքում ամրացման ազդեցությունն ուժեղանում է և նշված ֆունկցիաները տեղաշարժվում են $K_{d\sigma} = 0,94 ... 1,00$ արժեքների գոտի (նկ. 2ա):

2. ՄՊԴ-ի ազդեցությունը լարումների կուտակման K_{σ} գործակցի վրա: ՄՊԴ-ի կիրառումը կարող է էապես բարձրացնել հոգնածային դիմադրության ցուցանիշը լարումների կուտակման առկայության դեպքում: Այդ դեպքում մակերևութային ամրացման արդյունավետությունն այնքանով է բարձր, որքանով սուր է լարումների կուտակիչը: Տեղամասերի տեղային ամրացումը, որտեղ տեղակայված են կուտակիչները, ստեղծում է բարենպաստ պայմաններ կուտակված լարումների ազդեցության իջեցման համար, ի հաշիվ այդ տեղամասում կուտակիչի շրջագծի պլաստիկ դեֆորմացման հետևանքով վերադրված սեղմող մնացորդային լարումների: Բայց այդ գործընթացը մարող բնույթ է կրում և Δh -ի որոշակի արժեքից հետո դրա հետագա մեծացումը K_{σ} -ի արժեքի էական նվազման չի հանգեցնում (նկ. 2 բ): $\overline{\alpha}_{\sigma 2}$, $\overline{\alpha}_{\sigma 3}$, $\overline{\alpha}_{\sigma 4}$ -ի միջակայքերի համար ՄՊԴ-ի կիրառումը նվազեցնում է K_{σ} -ի արժեքը համապատասխանաբար՝ 16...17 %, 20...25 % և 28...30%-ով: Ընդ որում, էլեմենտների չափերի ազդեցությունը լարումների բարձր կուտակումների ($\overline{\alpha}_{\sigma 3}$) դեպքում նշանակալի չէ (նկ. 2 բ):



Նկ. 2. I համակարգի ֆունկցիաների փոփոխությունը. ա) $K_{d\sigma} = f_1(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$, բ) $K_\sigma = f_2(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$, գ) $K_{v\sigma} = f_3(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$, դ) $K_{\sigma D} = f_4(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$: Եզրային նշանակությունները. $(1_1, \dots, 1_4)$ – հարթ էլեմենտներ, $(2_1, \dots, 2_4)$, $(3_1, \dots, 3_4)$, $(4_1, \dots, 4_4)$ – $\bar{\alpha}_{\sigma 2}$, $\bar{\alpha}_{\sigma 3}$, $\bar{\alpha}_{\sigma 4}$ –ով էլեմենտներ: 1, ..., 4 ինդեքսները համապատասխանում են $d = 7,5, 10,0, 15,0$ և $20,0$ մմ արժեքներին

3. $K_{v\sigma}$ ամրացման գործակցի ֆունկցիայի առանձնահատկությունները: Միալար աճող ֆունկցիա է $\Delta h = 0 \dots 0,15$ միջակայքում, ինչպես ցույց է տրված կ. 2-ում, ամրացման արդյունավետությունն առավելագույնն է լարումների խիստ կուտակումների դեպքում (նկ. 2գ): $\Delta h = 0 \dots 0,15$ մմ միջակայքում հարթ էլեմենտների ($\bar{\alpha}_{\sigma 1}$) համար $K_{v\sigma}$ -ի արժեքները հասնում են մինչև $K_{v\sigma} = 1,14 \dots 1,26$, և $1,25 \dots 1,37$, $1,42 \dots 1,59$, $1,61 \dots 1,74$ ՝ համապատասխանաբար $\bar{\alpha}_{\sigma 1}$, $\bar{\alpha}_{\sigma 2}$, $\bar{\alpha}_{\sigma 3}$ լարումների կուտակիչներով էլեմենտների համար, ընդ որում $K_{v\sigma}$ -ի միջակայքերի ծայրահեղ աջ արժեքները համապատասխանում են առավելագույն չափերին: $K_{v\sigma dk}$ ֆունկցիայի փոփոխության բնույթը և միջակայքային արժեքները հաստատում են լարումների խիստ կուտակումների դեպքում ամրացման արդյունավետության բարձրացման տեսակետը: Սա թույլ է տալիս լուծել գործնական մի կարևոր խնդիր՝ K_σ -ի որոշակի արժեքով էլեմենտի համար կարելի է ընտրել ամրացման օպտիմալ ռեժիմ, որն ամբողջովին ազդագրվում է լարումների կուտակման երևույթը:



Նկ. 3. $\bar{\sigma}_{R(v)} = f_5(\Delta h, d, \bar{\alpha}_\sigma)$ ֆունկցիաների փոփոխությունը
(նշանակումները նույնն են, ինչ նկ. 2-ում)

Այս ամենը հետևում է հետևյալ ոչ բարդ ձևափոխությունից՝

$$K_{v\sigma d\lambda} = \bar{\sigma}_{R(v)d\lambda} / \bar{\sigma}_{Rd\lambda}, \quad K_{\sigma} = \bar{\sigma}_{Rdh} / \bar{\sigma}_{Rd\lambda} \quad (8)$$

որտեղ $K_{v\sigma d\lambda} / K_{\sigma} = \bar{\sigma}_{R(v)dh} / \bar{\sigma}_{Rdh}$: ՄՊԴ-ի օպտիմալ ռեժիմի դեպքում կարելի է հասնել $K_{v\sigma d\lambda} \approx K_{\sigma}$, հետևաբար

$$\bar{\sigma}_{R(v)d\lambda} \approx \bar{\sigma}_{Rdh} \quad (9)$$

1. Գործոնների ազդեցության $K_{\sigma D}$ գումարային գործակցի ֆունկցիան: Հաշվի առնելով $K_{\sigma D}$ -ի կառուցվածքը և (1)- (4) գործակցների ֆունկցիաների գրադիենտները (նկ. 2 ա, բ, գ), ինտեգրալ տեսքով $K_{\sigma D}$ -ն ընդհանրացնում է դրանց ֆունկցիոնալ առանձնահատկությունները և հիմնականում կրկնում է K_{σ} ֆունկցիայի տեսքը, որպես ըստ մեծության և գրադիենտի առավել նշանակալի գործակցի, որի հետ ուղիղ համեմատական կապի մեջ է գտնվում (նկ. 2 դ): Բայց ի տարբերություն K_{σ} -ի, $\Delta h = 0,15$ մմ միջակայքում $K_{\sigma D}$ ֆունկցիայի գրադիենտը նշանակալի է, որի շնորհիվ նշվում է $K_{\sigma D}$ -ի միալար և կտրուկ իջեցում լարումների բարձր կուտակումների և $\Delta h = 0,15$ մմ-ի դեպքում:

Հարթ էլեմենտների համար $K_{\sigma D}$ ֆունկցիայի փոփոխությունը համարյա ուղղագծային բնույթ է կրում, իսկ լարումների կուտակման աճի հետ անցնում և կորագծային տեսք է ստանում: $K_{\sigma D}$ -ի վրա էլեմենտների տրամագծի ազդեցությունն էական է, երբ դրանք ամրացված չեն (նկ. 2 դ) և լարումների բարձր կուտակումների առկայության դեպքում, բայց ամրացման աստիճանի աճին զուգահեռ այն զգալիորեն նվազում է (նկ. 2 դ, $\Delta h = 0,15$ մմ):

$K_{\sigma D}$ գործակցի ֆունկցիան որակապես և քանակապես բացահայտում է հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների վրա ամրացման երևույթի ազդեցության ընդհանուր միտումը և մեծությունը, որն էլ վերջնական արդյունքում արտահայտվում է դրանցից հիմնականի՝ երկարատև դիմացկունության սահմանի արժեքի փոփոխությամբ, ինչը լայնորեն կիրառվում է կառուցվածքային էլեմենտների ամրության նախագծային և ստուգողական հաշվարկներում:

2. $\bar{\sigma}_{R(v)}$ դիմացկունության սահմանի ֆունկցիայի փոփոխությունը: $\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի արժեքները համարվում են եզրափակող, որոնք ձևավորվում են էլեմենտների հոգնածային ամրության վրա բոլոր գործոնների և առաջին հերթին՝ լարումների կուտակման ազդեցության արդյունքում: Քանի որ նշված հաշվարկներում $\bar{\sigma}_{R(v)}$ և $K_{\sigma D}$ -ի արժեքների փոխազդեցությունը հակառակ է, ապա ֆունկցիաների մոտավորապես նույն գրադիենտի դեպքում դրանց բացարձակ արժեքները դիտարկված $\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}$ գործոնների ազդեցությունից, որոնք հակադիր ուղղվածություն ունեն (նկ. 3): Ամրացման աստիճանի ուժեղացմամբ (մինչև $\Delta h = 0,5 \dots 0,8$ մմ), որը տեխնոլոգիապես հաղթահարելի է, դիմացկունության սահմանի համապատասխանության մակարդակն ավելի զգալի կլինի, ինչով և արտահայտվում է ՄՊԴ-ի արդյունավետության հիմնական առավելությունը, որը մեղմում է լարումների կուտակման ազդեցությունը: Ինչպես և K_{σ} , $K_{\sigma D}$ ֆունկցիաների համար, Δh -ի արժեքների աճի հետ էլեմենտների երկրաչափական պարամետրերի ազդեցությունը $\bar{\sigma}_{R(v)}$ -ի վրա փոքր-ինչ թուլանում է (նկ. 3):

Եզրակացություն

Դասակարգված են ԳՏՀ էլեմենտների վրա ազդող գործոնները և տարբեր զուգորդումներով դրանց համատեղ ազդեցությունները, որոնց գումարային արդյունքով հաստատվում է էլեմենտների կրողունակությունն ըստ դիտարկվող չափանիշների: Սակայն, չնայած նախկին հետազոտությունների զգալի ծավալին և կիրառման բնագավառներին, համեմատաբար քիչ են ուսումնասիրված մակերևութային շերտերի ֆիզիկամեխանիկական վիճակի պարամետրերի և օպտիմալ տեխնոլոգիական ռեժիմների դասակարգման և ընտրության հարցերը:

Ստացվել են ռեգրեսիայի հավասարումներ նշված գործոնների ցուցանիշների միջև և կազմվել է բազմապարամետրական ֆունկցիոնալ կապ, որը փաստորեն հոգնածային դիմադրության մաթեմատիկական մոդելն է: Հաշվարկների հավաստիության աստիճանը բարձրացնելու նպատակով կատարված են պողպատե փորձանմուշների հոգնածային փորձարկումներ և HV միկրոկարծրությունների զանգվածային չափումներ: Արդյունքները մշակված են մաթ. վիճակագրական մեթոդներով գործող ստանդարտ ծրագրային միջոցներով:

Առաջադրված են բազմապարամետրական ֆունկցիա և պարամետրական հավասարումների համակարգեր ըստ ազդող գործոնների առաջնայնության սկզբունքի, որը բխում է հաշվարկային ընթացակարգերում որևէ գործոնի ցուցանիշի ստացման պահանջից:

$\bar{\sigma}_{R(v)}$ դիմացկունության սահմանների և $K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{\sigma D}, K_{v\sigma}$ գործակիցների ընդգրկումը կրողունակության հաշվարկներում ամրացման տեխնոլոգիաների կիրառման դեպքերում առաջադրում է նշված ցուցանիշների ճշգրտված արժեքների ստացում, հաշվի առնելով հոգնածային գործընթացի վրա հիմնական գործոնների համատեղ ազդեցությունը, որը կարող է զգալիորեն փոխել այդ ցուցանիշների արժեքները:

Նշված ցուցանիշների փոխկապակցվածությունը հաշվի առնելու և ամրացման տեխնոլոգիաների կիրառմամբ ստացված արդյունքների քանակական գնահատումներ կատարելու նպատակով առաջադրվել են հետևյալ հաշվարկային գործընթացները՝ վերլուծել ամրության ցուցանիշների ($\bar{\sigma}_{R(v)}, K_{d\sigma}, K_{\sigma}, K_{\sigma D}, K_{v\sigma}$) և հիմնական գործոնների պարամետրերի ($\Delta h, d, \bar{\alpha}_{\sigma}$) ֆունկցիոնալ կապերն արգումենտների առաջնայնության տարբեր սխեմաների դեպքում, որոնք բխում են կոնստրուկցիայի նախագծային և տեխնոլոգիական ընթացակարգերի պահանջներից:

Տվյալ փուլում ձևավորված պարամետրական հավասարումներով բացահայտվել են հետևյալ արդյունքները. ամրացման կիրառումն ազդազերծում է երկրաչափական պարամետրերի և լարումների կուտակման համատեղ ազդեցությունը $d = 10,0 \dots 40,0$ մմ և $\bar{\alpha}_{\sigma} = 1,1 \dots 1,7$ միջակայքերում: d -ի և $\bar{\alpha}_{\sigma}$ -ի ավելի բարձր արժեքների դեպքում ազդազերծման երևույթը որոշ չափով նվազում է, իսկ արդյունքները մոտենում են $d = 30,0 \dots 40,0$ մմ և $\bar{\alpha}_{\sigma} = 1,7 \dots 2,5$ արժեքներով, բայց չամրացված մեքենամասերի ցուցանիշներին:

Գրականության ցանկ

- [1] **С.В. Серенсен**, Усталостное разрушение материалов и элементов конструкций. «Наукова думка», Киев, 1985, т.3, 232 с.
- [2] **В.П. Когаев**, Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени, «Машиностр.», Москва, 2003, 232 с.

- [3] В.А. Левин, Е.М. Морозов, Ю.Г. Матвиенко, Избранные нелинейные задачи механики разрушения, ФИЗМАТЛИТ, Москва, 2004, 408 с.
- [4] В.И. Большаков, К.Ф. Стародубов, М.А. Тылкин, Термическая обработка строительной стали повышенной прочности, «Металлургия», Москва, 1987, 200с.
- [5] И.М. Жарский и др., Технологические способы обеспечения надежности машин, «Высш.шк.», Минск, 2010, 336 с.
- [6] Л.В. Агамиров, А.Н. Лисин, В.В. Мозалев, Прогнозирование сопротивления усталости барабанов авиационных колес, подверженных поверхностному пластическому деформированию, Упрочняющие технологии и покрытия 3 (2011) 8-15.
- [7] В. Шибыльский, Технология поверхностной пластической обработки, «Металлургия», Москва, 1991, 479 с.
- [8] Д.В. Соловьев, А.В. Киричек, А.Г. Лазуткин, Технология и оборудования статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием, Библиот. Технолога, «Машиностр.», Москва, 2004, 288 с.
- [9] Մ.Ս. Թորոսյան, Մ.Գ. Ստակյան, Մեքենամասերի հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների փոխադարձ կապն ամրացնող տեխնոլոգիաների կիրառման դեպքում, Հայաստանի ճարտ. Ակադ. Լրաբեր 14(1) (2017) 90-95:
- [10] Մ.Գ. Ստակյան, Շ.Զ. Միստանի, Մ.Է. Հայկազյան, Աշխատանքային մակերևույթների ամրացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելավորումը, ՀԳԱԱ և ՀՊՀՀ Տեղեկագիր, ՏԳ սերիա 66(1) (2013) 20-27:
- [11] Շ.Զ. Միստանի, Ֆ.Հ. Փարիկյան, Ա.Ս. Բաբայան, Լարումների կուտակիչներով լիսեռների լարվածային վիճակը փոփոխական բարդ բեռնվածության դեպքում և ամրացնող տեխնոլոգիաների կիրառումը, ՀՊՀՀ (Պ) Գիտ. հոդվ. Ժող., Լրաբեր Մ.1 (Երևան, 2012) 124-128:
- [12] М.А. Балтер, Упрочнение деталей машин, Машиностроение, Москва, 1987, 206 с.
- [13] Р.В. Гуров, Взаимосвязь режимов обработки и геометрических параметров инструмента с параметрами качества поверхностного слоя при отделочных и отделочно-упрочняющих режимах ОУО ППД, Упрочняющие технологии и покрытия 8 (2010) 7-10.
- [14] А.В. Кирпичев, М.Н. Саушкин, В.А. Смыслов, К математическому моделированию полей пластических деформаций, возникающих при различных видах упрочняющей обработки, Мат. мод. физ., эконом., техн., соц. систем и процессов: Тр. XVII межд. конф., Ульяновск, 2009, 116-117.
- [15] Л.Г. Одинцов, Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник, Машиностроение, Москва, 2005, 329 с.
- [16] С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян, Прикладная статистика, «Юнити», Москва, 2001, 270 с.
- [17] Г.А. Соколов, И.М. Гладких, Математическая статистика, «Экзамен», Москва, 2007, 431 с.
- [18] М.Е. Попов, Упрочняющая обработка деталей поверхностным пластическим деформированием ударно-импульсным инструментом с пружинным приводом, Упрочняющие технологии и покрытия 8 (2008) 19-22.

ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Мигран Григорьевич Стакян*, Нарине Виликовна Пирумян, Ангин Викторовна Мартиросян

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА

*stakyan.mihran@yandex.ru

Рассмотрены напряженно-деформационное состояние элементов (сварных швов) газотранспортной системы и методы компенсации усталостных явлений в элементах посредством применения упрочняющей технологии пластическим деформированием. Указаны процедуры совместного влияния факторов (геометрических, концентрации напряжений, пластического упрочнения) в этих явлениях и их оценка #, являющимися отношениями исходных и факторных пределов выносливости.

Согласно выполненным усталостным испытаниям, определены параметры выносливости и оформлены регрессионные уравнения, которые оценивают вариацию каждого коэффициента. Представлена многопараметрическая функциональная связь совместно действующих факторов, с помощью которой оформлены системы параметрических уравнений (I, II, III) согласно приоритетности каждого из действующих факторов. Рассмотрены графические особенности уравнений системы I, которая является системой оценки упрочняющей технологии и математической моделью этой технологии.

Ключевые слова: элемент газотранспортной системы, действующий фактор, многопараметрическая функциональная связь, система параметрических уравнений

IMPROVING FATIGUE RESISTANCE OF GAS TRANSPORTATION SYSTEM ELEMENTS BY USING THE HARDENING TECHNIQUES

Mihran Stakyan*, Narine Pirumyan, Angin Martirosyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

*stakyan.mihran@yandex.ru

The stress-strain state of the elements (welds) of the gas transportation system and the methods of application the hardening techniques by plastic deformation that compensates for the fatigue phenomena in these elements are considered. The procedures of the combined impact of factors (geometric ones, stress concentration, plastic hardening) in these phenomena and their assessment per the corresponding coefficients, which are the ratios of the initial and factor-based endurance limits, are listed. According to the completed fatigue tests, the endurance parameters were determined and regression equations were formulated to assess the variation of each coefficient. A multi-parametric functional relationship of the combined impacting factors was presented, which was used to formulate systems of parametric equations (I, II, III) according to the priority of each of the impacting factors. The graphical peculiarities of the I equations system were considered, which is the assessment system of the hardening techniques and its mathematical model.

Keywords: element of gas transportation system, impacting factors, multi-parametric functional relationship, system of parametric equations

Ստակյան Միհրան Գրիգորի, տ.գ.դ., պրոֆեսոր (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, ավագ գիտաշխատող, (+374)33554560, stakyan.mihran@yandex.ru, **Փիրումյան Նարինե Վիլիկի, տ.գ.թ.** (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, ավագ գիտաշխատող, (+374)77700901, pirumyannarine@gmail.com, **Մարտիրոսյան Անգին Վիկտորի, տ.գ.թ., դոցենտ** (ՀՀ, ք. Երևան) - ՃՇՀԱՀ, Մաթեմատիկայի, շինարարական մեխանիկայի և ֆիզիկայի ամբիոն, (+374)94762396, angin84@mail.ru

Стакян Мигран Григорьевич, д.т.н., профессор (РА, г. Ереван) - НУАСА, старший научный сотрудник, (+374)33554560, stakyan.mihran@yandex.ru, **Пирумян Нарине Виликовна, к.т.н.** (РА, г. Ереван) - НУАСА, старший научный сотрудник, (+374)77700901, pirumyannarine@gmail.com, **Мартirosyan Ангин Викторовна, к.т.н., доцент** (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Математики, строительной механики и физики, (+374)94762396, angin84@mail.ru

Stakyan Mihran, Doctor of Science (engineering), professor (RA, Yerevan) - NUACA, Senior scientific researcher, (+374)33554560, stakyan.mihran@yandex.ru, **Pirumyan Narine, doctor of philosophy (Ph.D) in Engineering** (RA, Yerevan) - NUACA, Senior scientific researcher, (+374)77700901, pirumyannarine@gmail.com, **Martirosyan Angin, doctor of philosophy (Ph.D) in Engineering, Associate Professor** (RA, Yerevan) - NUACA, Department of Mathematics, Structural Mechanics and Physics, (+374)94762396, angin84@mail.ru

Ներկայացվել է՝ 22.01.2026թ.

Գրախոսվել է՝ 05.02.2026թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 30.04.2026թ.