

ISSN 0002-306 X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ՀԱՏՈՐ LXXIV TOM

3

ԵՐԵՎԱՆ

2021

ЕРЕВАН

DOI 10.53297/0002306X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 74

N 3

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2021

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 74

N 3

ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ

ЕРЕВАН 2021

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES AND NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF
ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 74

N 3

JULY - SEPTEMBER

YEREVAN 2021

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Գլխավոր խմբագիր՝ Մելիքյան Վ.Շ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գլխ. խմբագրի տեղակալ՝ Գրիգորյան Ա.Խ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Պատասխանատու քարտուղար՝ Մեյրանյան Ժ.Ս., ՀՀ
Խմբագրական կոլեգիա՝
Աղբալյան Ս.Գ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ասլանյան Լ.Հ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղալյան Ն.Պ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Բաղդասարյան Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Գոնեւմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս
Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի
Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա
Ջոքյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Իյուշենկո Ա.Ֆ., Բելառուսի ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Լան Զ., տ.գ.թ., Չինաստան
Կրասնիկով Գ.Յ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Կուրտուա Բ., տ.գ.թ., Ֆրանսիա
Հախումյան Ա.Ա., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Հակոբյան Վ.Ն., ֆ.-մ.գ.դ., ՀՀ
Հահանով Վ.Ի., Կիրառական ռադիոէլեկտրոնիկայի Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ.,
Ուկրաինա
Ղույան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Մանդալիկա Ս., տ.գ.թ., Հնդկաստան
Մարուխյան Ռ.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ
Միխայլենիչ Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Շիխտման Ու., տ.գ.թ., Գերմանիա
Չանգ Ֆ., Թայվանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., Թայվան
Չապլիգին Յու.Ա., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Պետրոսյան Օ.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Պետրոսյանց Կ.Օ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Սապատնեկար Ս., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Մարգարյան Յու.Լ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Մքիտնն Ս.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ստեմպկովսկի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Վորոբյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., ՌԴ
Ցանովա Ս., տ.գ.թ., Բուլղարիա
Ուբար Բ., Էստոնիայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Էստոնիա
Ուսանով Վ.Ի., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Меликян В.Ш., член-корр. НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Заместитель главного редактора Григорян А.Х., д.т.н., проф., Армения

Ответственный секретарь Сейранян Ж.С., Армения

Редколлегия:

Агбалян С.Г., д.т.н., проф., Армения

Акопян В.Н., д.ф.-м.н., Армения

Асланиян Л.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Ахумян А.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Багдасарян М.К., д.т.н., проф., Армения

Багдасарян О.В., д.т.н., проф., Армения

Бадалян Н.П., д.т.н., проф., Россия

Воробьев А.Е., д.т.н., проф., Россия

Гагаринский А.Ю., д.ф.-м.н., проф., Россия

Гонейма М., к.т.н., Египет

Гримблат В., к.т.н., Чили

Гулян А.Г., академик НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Докич Б., д.т.н., Босния и Герцеговина

Зорян Е., к.т.н., США

Ильющенко А.Ф., член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф., Беларусь

Красников Г.Я., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Куртуа Б., к.т.н., Франция

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

Михайлович А.А., д.т.н., проф., Беларусь

Петросян О.А., д.т.н., проф., Армения

Петросянц К.О., д.т.н., проф., Россия

Сапатнекар С., к.т.н., США

Саркисян Ю.Л., академик НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Сбитнев С.А., д.т.н., проф., Россия

Симонян С.О., д.т.н., проф., Армения

Стемпковский А.Л., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Тихомиров Г.В., д.ф.-м.н., Россия

Убар Р., академик НАН Эстонии, д.т.н., проф., Эстония

Усанов В.И., д.т.н., проф., Россия

Хаханов В.И., академик Академии наук Украины по прикладной радиоэлектронике, д.т.н., проф., Украина

Цанова С., к.т.н., Болгария

Чанг Ф., академик Национальной академии Тайваня, д.т.н., Тайвань

Чаплыгин Ю.А., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Шлихтманн У., к.т.н., Германия

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: Melikyan V.Sh., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Deputy Editor-in-Chief: Grigoryan A.Kh., Sci.Dr., Prof., Armenia
Executive Secretary: Seyranyan Zh.S., Armenia
Editorial Board:
Aghbalyan S.G., Sci.Dr., Prof., Armenia
Aslanyan L.H., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Badalyan N.P., Sci.Dr., Prof., Russia
Baghdasaryan H.V., Sci.Dr., Prof., Armenia
Baghdasaryan M.Q., Sci.Dr., Prof., Armenia
Chang F., Member of National Academy of Taiwan, Sci.Dr., Taiwan
Chaplygin Yu.A., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Courtois B., Ph.D., France
Dokic B., Sci.Dr., Bosnia and Herzegovina
Gagarinski A.Yu., Sci.Dr., Prof., Russia
Ghoneima M., Ph.D., Egypt
Ghulyan A.G., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Grimblatt V., Ph.D., Chile
Hahanov V.I., Academician of Academy of Sciences of Ukraine in Applied Radioelectronics, Sci.Dr., Prof., Ukraine
Hakhumyan A.A., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Hakobyan V.N., Sci.Dr., Armenia
Ilyushenko A.F., Corr.member of NAS of Belarus, Sci.Dr., Prof., Belarus
Krasnikov G.Y., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Lan Ch., Ph.D., China
Mandalika S., Ph.D., India
Marukhyan V.Z., Ph.D., Prof., Armenia
Mikhaylevich A.A., Sci.Dr., Prof., Belarus
Petrosyan O.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Petrosyants K.O., Sci.Dr., Prof., Russia
Sapatnekar S., Ph.D., USA
Sargsyan Yu.L., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Sbitnev S.A., Sci.Dr., Prof., Russia
Schlichtmann U., Ph.D., Germany
Simonyan S.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Stempkovski A.L., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Tikhomirov G.V., Sci.Dr., Russia
Tsanova S., Sci.Dr., Bulgaria
Ubar R., Academician of Academy of Sciences of Estonia, Sci.Dr., Prof., Estonia
Usanov V.I., Sci.Dr., Prof., Russia
Vorobyov A.Y., Sci.Dr., Prof., Russia
Zorian Y., Ph.D., USA

Հրատ. խմբագիր՝

Խմբագիրներ՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. Техн. наук), 2021

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И НАЦИОНАЛЬНОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES AND
NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

2021

3

ՀԱՏՈՐ

ТОМ 74

VOLUME

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ

ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ

JULY - SEPTEMBER

Հրատ. Խմբագիր՝

ԺԱՆԱ Ա. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 01.12.2021

Թուղթը՝ «օֆսեթ»։ Տպագրությունը՝ ռիզո։ Ֆորմատ՝ (70×100) 1/16:

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 8.25 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 450: Տպաքանակ՝ 200

Հայաստանի ազգային
պոլիտեխնիկական
համալսարանի տպարան
Երևան, Տերյան 105,
Հեռ.՝ 520 356

Типография Национального
политехнического университета
Армении
Ереван, ул. Теряна 105,
Тел.: 520 356

Printing house of National
Polytechnic University
of Armenia
105 Teryan str. Yerevan,
Tel. 520 356

М.В. БЕЛУБЕКЯН, М.Г. САРГСЯН, И.М. САРГСЯН

**ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРУГЛОЙ БИМОРФНОЙ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ В ПЕРЕМЕННОМ
ПОПЕРЕЧНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Рассматриваются две задачи изгибных колебаний биморфной пьезоэлектрической круглой пластины, шарнирно закрепленной по контуру. С учетом однородности переменного электрического поля исследованы случаи симметричных и несимметричных (двумерных) колебаний. В указанных задачах дана взаимосвязь деформаций, прогибов, изгибающих моментов, перерезывающих усилий и переменного электрического поля и определены минимальные значения резонансных частот. Даны практические рекомендации по использованию пьезобиморфа в устройствах аэролизации и эмульгации жидкостей.

Ключевые слова: круглая пьезопластина, биморфная конструкция, изгибные колебания, переменное электрическое поле, резонансные частоты.

Введение. Современная мехатроника эффективно использует пьезоматериалы в качестве приводов (пьезоактюаторы), которые способны работать как в статическом [1], так и в динамическом [2-4] режимах. Так, в приборах эмульгации, аэролизации при распылении жидкостей [5] наряду с ультразвуковыми методами возможно использование пьезоактюаторов, работающих в режимах высокочастотных колебаний. Используемые пьезоп приводы могут быть прямоугольными или круглыми пластинами, имеющими биморфную конструкцию, что позволяет получать под действием переменного электрического поля изгибные колебания. Получаемые виды колебаний эффективно используются в вибромеханизмах современной мехатроники [6,7].

Постановка задачи и методы исследования. Рассматривается упругая круглая пластина, составленная из двух тонких пьезопластин, скрепленных по лицевым поверхностям (биморфная конструкция) (рис.).

Пластины имеют встречную поляризацию, что позволяет получать изгибные деформации. В цилиндрической системе координат (r, θ, Z) пластина занимает область:

$$0 \leq r \leq a, 0 \leq \theta \leq 2\pi; -h \leq Z \leq h.$$

С учетом однородности действия электрического поля по поверхности пластин уравнение колебаний имеет вид

$$D\Delta^2 w + 2gh \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Оператор Лапласа в цилиндрической системе координат имеет вид

$$\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}. \quad (2)$$

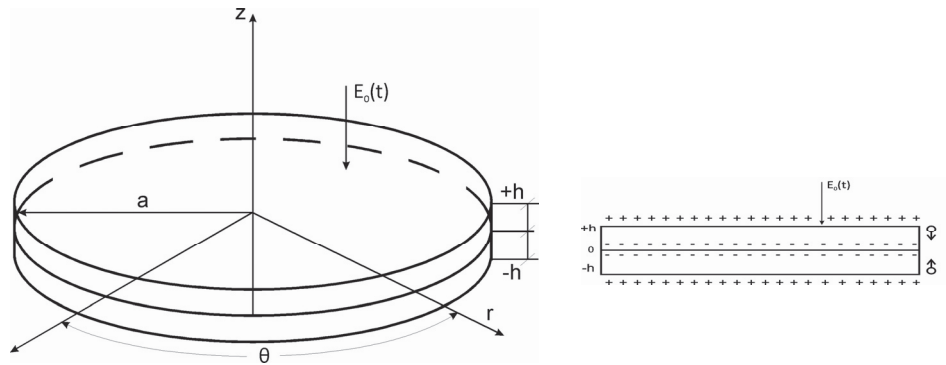


Рис. Круглая пьезоэлектрическая пластина биморфной конструкции со встречной поляризацией

Влияние заданного электрического поля по поверхности пластины однородно по координатам r и θ , поэтому в уравнении (1) оно не присутствует, однако имеет место в уравнении моментов, а также в граничных условиях.

Выражения для изгибных моментов и перерезывающих усилий имеют вид

$$\begin{aligned} M_r &= -D \left[\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{\nu}{r} \left(\frac{\partial W}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 W}{\partial \theta^2} \right) \right] - M_e, \\ H &= -(1-\nu)D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial W}{\partial r} - \frac{W}{r} \right), \\ N_r &= -D \frac{\partial}{\partial r} \Delta W, N_\theta = -D \frac{\partial}{\partial \theta} \Delta W, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$M_e = \alpha h^2 E_0(t) = \alpha h^2 A \sin \omega t - \quad (4)$$

момент от действия электрического поля; $\alpha = \frac{E\nu'}{E'(1-\nu)} e_{33} - e_{31}$ – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства пьезоматериала.

Рассмотрим две задачи колебания круглой пластины, шарнирно закрепленной по внешнему контуру: осесимметричные изгибные колебания и двумерные изгибные колебания.

1. **Осесимметричные колебания.** Для случая осесимметричных колебаний, т.е. $\frac{\partial}{\partial \theta} = 0$, решение уравнения (1) имеет вид

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\right) \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r}\right) + \frac{2gh}{D} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) с учетом выражения (4) представляется следующим образом:

$$W = f(r) \sin \omega t. \quad (6)$$

Подстановка (6) в (5) приводит к следующему дифференциальному уравнению относительно функции $f(r)$:

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}\right) \left(\frac{d^2 f}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{df}{dr}\right) - \beta^2 f = 0, \quad (7)$$

где

$$\beta^2 = \frac{2gh}{D} W^2. \quad (8)$$

Общее решение уравнения (7) имеет вид

$$f(r) = C_1 J_0(\beta r) + C_2 Y_0(\beta r) + C_3 I_0(\beta r) + C_4 K_0(\beta r), \quad (9)$$

где J_0, Y_0 - функции Бесселя действительного аргумента, а I_0, K_0 - функции Бесселя чисто мнимого аргумента [8].

Так как рассматривается сплошная круглая пластина (не кольцеобразная), то в центре пластины должно выполняться условие ограниченности прогиба и производной функции прогиба, поэтому в выражении (9) необходимо принять $C_2 = 0, C_4 = 0$.

Следовательно, общее решение для сплошной круглой пластины представляется в виде

$$W = [C_1 J_0(\beta r) + C_3 I_0(\beta r)] \sin \omega t. \quad (10)$$

Рассматривая пластинку, шарнирно закрепленную по контуру, граничные условия имеют следующий вид:

при

$$r = a: W = 0, M_r = 0, \quad (11)$$

или согласно (4) и (6):

$$f(a) = 0; \quad \frac{d^2 f(a)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{df(a)}{dr} = \frac{ah^2}{D} A. \quad (12)$$

Используя известные соотношения для функций Бесселя [4], получим

$$J_{n-1}(x) + J_{n+1}(x) = \frac{2n}{x} J_n(x); \quad \frac{dJ_n(x)}{dx} = J_{n-1}(x) - \frac{n}{x} J_n(x), \quad (13)$$

$$I(x) + I_{n+1}(x) = \frac{2n}{x} I_n(x); \quad \frac{dI_n(x)}{dx} = I_{n-1}(x) - \frac{n}{x} I_n(x).$$

Используя соотношения (13), в нашем случае получим

$$\frac{dJ_0(\beta r)}{dr} = \beta J_{-1}(\beta r); \quad \frac{d^2 J_0(\beta r)}{dr^2} = -\alpha^2 \left[J_0(\beta r) + \frac{1}{\beta r} J_{n-1}(\beta r) \right], \quad (14)$$

$$\frac{dI_0(\beta r)}{dr} = \beta I_{-1}(\beta r); \quad \frac{d^2 I_0(\beta r)}{dr^2} = -\alpha^2 \left[I_0(\beta r) + \frac{1}{\beta r} I_{n-1}(\beta r) \right].$$

Удовлетворяя граничным условиям (12), с учетом соотношений (14) получим систему уравнений, позволяющих определить произвольные постоянные C_1 и C_3 :

$$\begin{cases} C_1 J_0(\beta a) + C_3 I(\beta a) = 0, \\ C_1 \left[\beta J_0(\beta a) + \frac{1-v}{a} J_{-1}(\beta a) \right] - C_3 \left[\beta I_0(\beta a) - \frac{1-v}{a} I_{-1}(\beta a) \right] = -\frac{\alpha h^2}{\beta D} A. \end{cases} \quad (15)$$

Из системы (15) определяются искомые постоянные:

$$C_1 = -\frac{\alpha h^2 a}{(1-v)\beta D J_0(\beta a)} \cdot \frac{A}{F(\beta a, v)}, \quad (16)$$

$$C_3 = \frac{\alpha h^2 a}{(1-v)\beta D I_0(\beta a)} \cdot \frac{A}{F(\beta a, v)},$$

где

$$F(\beta a, v) = \frac{2\beta a}{1-v} + \frac{J_{-1}(\beta a)}{J_0(\beta a)} - \frac{I_{-1}(\beta a)}{I_0(\beta a)}. \quad (17)$$

Согласно (10) и (16), функция прогиба имеет вид

$$W = -\frac{\alpha h^2 a}{(1-v)\beta D} \left[\frac{J_0(\beta r)}{J_0(\beta a)} - \frac{I_0(\beta r)}{I_0(\beta a)} \right] \frac{A}{F(\beta a, v)}. \quad (18)$$

Из (18) следует, что резонансные колебания будут при условии

$$F(\beta a, v) = 0 \text{ (условия резонанса)}. \quad (19)$$

В частности, из (19) при $v=0,3$ для минимального корня имеем

$$\beta^2 = \frac{2\rho h}{D} \omega^2; \quad \beta a \approx 2,22. \quad (20)$$

Учитывая (8) и (20), в случае задания геометрических и физических параметров пьезопластины можно определить минимальную частоту резонансных колебаний.

2. Двумерные изгибные колебания круглой биоморфной пьезопластины. Рассматривается случай, когда прогиб пластины зависит от координат r и θ , т.е. колебания неосесимметричные. В этом случае решение уравнения (1) представляется в виде

$$W(r, \theta, t) = f_n(r) \cos n\theta \cdot \sin \omega t. \quad (21)$$

Подстановка (21) в (1) приводит к следующей системе последовательных обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} - \frac{n^2}{r^2} \right) \left(\frac{d^2 f_n}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{df_n}{dr} - \frac{n^2}{r^2} f_n \right) - \frac{2\rho h \omega^2}{D} f_n = 0. \quad (22)$$

В выражениях (21) и (22) $n=0, 1, 2, 3, \dots$ - число волн срединной поверхности пластины в окружном направлении.

Общее решение уравнений (22) имеет вид

$$f_n(r) = C_1 J_n(\beta r) + C_2 Y_n(\beta r) + C_3 I_n(\beta r) + C_4 K_n(\beta r). \quad (23)$$

В отличие от осесимметричного случая, здесь будут участвовать функции Бесселя порядка “ n ” (не только нулевого порядка). Как и в осесимметричном случае, для сплошной пластинки необходимо принять $C_2 = 0$, $C_4 = 0$, т.е. взять

$$f_n(r) = C_1 J_n(\beta \cdot r) + C_3 I_n(\beta r). \quad (24)$$

Контур пластинки будет шарнирно закреплён, тогда граничные условия примут следующий вид:

при

$$r = a, W = 0; \frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{v}{r} \frac{\partial W}{\partial r} - \frac{M_e}{D} = 0. \quad (25)$$

С учетом (21) и (24) граничные условия (25) приводятся к виду

$$f_n = 0, \frac{d^2 f_n}{dr^2} + \frac{v}{r} \frac{df_n}{dr} - \frac{\alpha h^2}{D} A = 0. \quad (26)$$

С учетом свойств функции Бесселя [3] получим

$$\begin{aligned} \frac{dJ_n(\beta r)}{dr} &= -\frac{n}{r} J_n(\beta r) + \beta J_{n-1}(\beta r), \\ \frac{d^2 J_n(\beta r)}{dr^2} &= \left(\frac{2n^2}{r^2} - \beta^2 \right) J_n(\beta r) + \frac{n-1}{r} \beta J_{n-1}(\beta r), \\ \frac{dI_n(\beta r)}{dr} &= -\frac{n}{r} I_n(\beta r) + \beta I_{n-1}(\beta r), \\ \frac{d^2 I_n(\beta r)}{dr^2} &= \left(\frac{2n^2}{r^2} - \beta^2 \right) I_n(\beta r) - \frac{\beta}{r} I_{n-1}(\beta r). \end{aligned} \quad (27)$$

Для того чтобы решение $f_n(r)$ из (24) удовлетворяло граничным условиям (25) при использовании соотношений (27), получим систему уравнений относительно произвольных постоянных C_1 и C_3 :

$$\begin{cases} C_1 J_n(\beta a) + C_3 I_n(\beta a) = 0, \\ C_1 \left\{ \left[\frac{(2-v)n}{a^2} - \beta^2 \right] J_n(\beta a) + \frac{n-1+v}{a} \beta J_{n-1}(\beta a) \right\} + \\ + C_3 \left\{ \left[\frac{(2-v)n}{a^2} + \beta^2 \right] I_n(\beta a) - \frac{1-v}{a} \beta I_{n-1}(\beta a) \right\} = \frac{ah^2 A}{D}. \end{cases} \quad (28)$$

Из условия равенства нулю детерминанта системы (28) получим уравнение, определяющее безразмерный параметр βa , характеризующий частоту резонансных колебаний:

$$2\beta a J_n(\beta a) \cdot I_n(\beta a) - (1-v) J_n(\beta a) I_{n-1}(\beta a) - \\ -(n-1+v) J_{n-1}(\beta a) I_n(\beta a) = 0. \quad (29)$$

Для случая относительно большого радиуса пластины ($\beta a \gg 1$) можно использовать асимптотические формулы для функций Бесселя [8]:

$$J_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos\left(x - \frac{\pi n}{2}\right), \quad I_n(x) = \frac{e^x}{\sqrt{\pi x}}. \quad (30)$$

С учетом (30) уравнение (29) для безразмерных частот резонансных колебаний сводится к трансцендентному уравнению вида

$$\operatorname{ctg}\left(\beta a - \frac{\pi n}{2}\right) = \frac{n-1+v}{2\beta a-1+v}. \quad (31)$$

Для резонансной частоты первой моды ($n=1$) имеем

$$\operatorname{tg}(\beta a) = \frac{v}{2\beta a-1+v}. \quad (32)$$

В частном случае, когда $v = 0$, имеем $\beta a = \pi$. В общем случае уравнение (32) решается либо численным, либо графоаналитическим методом, задавая конкретные значения коэффициентов Пуассона (v).

Заключение. С учетом однородности действия поперечного переменного электрического поля по поверхности пластин предложено уравнение колебания пьезопластины биморфной конструкции в цилиндрической системе координат. Даны выражения изгибающих моментов и перерезывающих усилий, а также изгибающего момента от действия переменного электрического поля. Решены две задачи колебания круглой пьезопластины, шарнирно закрепленной по внешнему контуру: осесимметричные изгибные колебания, двумерные изгибные колебания. Для указанных задач определены минимальные частоты резонансных колебаний. Даны практические рекомендации по проектированию механизмов виброперемещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белубекян М.В., Саргсян М.Г., Саргсян И.М.** Исследование упругих перемещений пьезоэлектрического прямоугольного актюатора биморфной конструкции под воздействием поперечного электрического поля // Вестник Инженерной академии Армении. – Ереван, 2019. - Том 16, N 1. - С. 80-84.
2. **Belubekyan M., Garakov V., Sargsyan M.** Vibrations of Piezoelectric Plate in a Transverse Elastic Field // ICM SSC 2012 Intern. Congr. Match, Statistical Sciences and Computer. - Copenhagen, June 2012. – P. 11-17.
3. **Белубекян М.В., Саргсян М.Г.** Изгибные колебания прямоугольных пьезоэлектрических пластин биморфной конструкции в переменном поперечном электрическом поле // Известия НАН РА и НПУА. Серия Техн. науки. - 2020. – Т. LXXIII, N4. - С. 357-364.
4. **Шакери Мобарак П., Гриченко В.Т., Солтанина Б.В.** Изгибные колебания биморфных пьезоэлектрических пластин неканонической формы // Прикладная механика. – 2019. - Т. 55(65), N3. - С. 120-132.
5. **Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Д.Н., Шалунова А.В.** Выявление оптимальных режимов и условий ультразвукового воздействия для распыления вязких жидкостей // Электронный журнал “Техническая акустика” <http://www.ejta.org>. Бийский технологический институт АЛТ. ГТУ, Россия, 2018. – С. 87-95.
6. **Понамарев С.Д., Бидерман В.Л.** Расчеты на прочность в машиностроении. Том 23. - М.: Машгиз, 1959. - 864 с.
7. **Биргер И.А.** Круглые пластины и оболочки вращения. - М.: Оборонгиз, 1961. - 367 с.
8. **Ватсон Г.** Теория бесселевых функций. - М.: ИЛ, 1949. - 320 с.

Институт механики НАН РА, Национальный политехнический университет Армении.
Материал поступил в редакцию 14.06.2021.

Մ.Վ. ԲԵԼՈՒԲԵԿՅԱՆ, Մ.Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ի.Մ. ՍԱՐԳՅԱՆ

**ԿԼՈՐ ԲԻՄՈՐՖ ՊԻԵԶՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՍԱԼԻ ԾՈՄԱՆ ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ
ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՈՒՂԱԶԱՅ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ**

Դիտարկվել է հոդակապորեն ամրակցված բիմորֆ, պիեզոէլեկտրական կլոր սալի ծոման տատանումների երկու խնդիր: Հետազոտվել են առանցքասիմետրիկ և ոչ առանցքասիմետրիկ տատանումները համասեռ, փոփոխական էլեկտրական դաշտի առկայությամբ: Ներկայացվել է դեմոնֆացիայի, ճկվածքի, ծող մոմենտի, կտրող ուժի և փոփոխական էլեկտրական դաշտի փոխկապակցությունը: Որոշվել են ռեզոնանսային հաճախականությունների մինիմալ արժեքները: Տրվել են գործնական առաջարկներ աերոլացման և էմուլցացիայի սարքերում օգտագործման համար:

Առանցքային բառեր. կլոր սալ, բիմորֆ սարք, ծոման տատանումներ, փոփոխական դաշտ, ռեզոնանսային հաճախություն:

M.V. BELUBEKYN, M.G. SARGSYAN, I.M. SARGSYAN

**THE BENDING VIBRATION OF THE CIRCULAR BIMORPH
PIEZOELECTRIC PLATE IN NONSTATIONARY TRANSVERSE
ELECTRIC FIELD**

Two problems of the vibration bending of bimorph piezoelectric circular plate attached with a hinge is considered. The cases of the symmetric and nonsymmetric vibrations are investigated in the presence of the homogenous nonstationary electric field. The relationship of deformation, bending, bending moments, cutting forces and nonstationary electric field is given, and the minimal values of the resonance frequencies are determined. Recommendation for using bimorph plates in aerolization and emulsification devices are given.

Keywords: circle piezoplate, bimorph construction, bending vibration, nonstationary electric field, resonance frequency.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Ս. ՊԱՊՈՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ

ՄԻՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ՊՈՂՊՈՏՅԱ ԱՐՏԱԴՐԱՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ
ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Մշակվել է միման ժամանակ պողպատյա արտադրատեսակների կառուցվածքի և հատկությունների կանխատեսման մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս նախագծողներին և տեխնոլոգներին՝ կատարելու նյութի ճիշտ ընտրություն և մշակելու ջերմամշակման համապատասխան տեխնոլոգիա՝ ապահովելով պահանջվող հատկությունների ստացման երաշխավորություն: Ցույց է տրված, որ նշված նպատակի համար լավագույն եղանակ է գլանակալի նմուշների ճակատային միման մեթոդը: Սառեցման կորերը տեղափոխելով տվյալ պողպատի ջերմակինետիկական դիագրամի վրա՝ որոշվում են ցանկացած ջերմաստիճանում ստացվող կառուցվածքը և հատկությունները: Ջերմակինետիկական դիագրամների վրա ֆազային փոխակերպությունները և դրանց սահմանները հնարավոր է որոշել տարբեր արագություններով պողպատյա արտադրատեսակի անընդհատ սառեցմամբ, իսկ փոխակերպության գործընթացների բնութագրերն ուսումնասիրելու համար պետք է վերծանել սառեցման կորերի ընթացքը:

Առանցքային բառեր. ճակատային միման, սառեցման կրիտիկական արագություն, միման կրիտիկական տրամագիծ, կառուցվածք, մարտենսիտ, տրոստիտ:

Ներածություն. Մեքենամասերի որակի բարձրացումը անքակտելիորեն կապված է նյութի ճիշտ ընտրության և ջերմամշակման գործընթացի բարելավման հետ: Ընդ որում, պահանջվող ամրության և կարծրության ապահովումն իրականացվում է միման և արձակման միջոցով:

Պողպատները միման, բացառությամբ միջանցիկ լիամիավելիության դեպքերի, հետագա արձակման ժամանակ արտադրատեսակների ծավալում առաջանում են տարբեր կառուցվածքներ և, հետևաբար, տարբեր հատկություններ [1], որոնք բնութագրվում են կոնստրուկցիոն ամրությամբ՝ ներառած ամրության, հուսալիության և երկարակեցության ցուցանիշները: Գործնականում արտադրատեսակների համար նյութ ընտրելիս նախագծողներն առաջնորդվում են միայն լիամիավելիությամբ և մեկ կամ, լավագույն դեպքում, երկու կառուցվածքային հատկություններով: Նյութի ընտրության ժամանակ, արտադրատեսակների շահագործման անվտանգությունն ապահովելու նպատակով, վերցնում են պահանջվող հատկությունների բարձր արժեքներ, որի համար թույլատրվում են լիամիավելիության արժեքների տատանումներ լայն սահմաններում: Դա բացատրվում է նրանով, որ

նախօրոք արտադրատեսակի հատկությունները գնահատելու համար շատ դժվար է հաշվարկել նրա իրական կառուցվածքային վիճակը: Մինչդեռ կառուցվածքը վերծանելու համար մետաղագիտական մեթոդները պահանջում են արտադրատեսակի կոտրում [2]: Այս նպատակի համար նմուշների ճակատային միմյան մեթոդի կիրառումը ամբողջությամբ չի լուծում խնդիրը, քանի որ այն թույլ է տալիս հաշվարկել միայն կարծրացած շերտի խորությունն ամենապարզ ձևերով արտադրատեսակների դեպքում: Լայն իմաստով, արտադրատեսակի նյութի ընտրության խնդիրը, ինչպես նաև կարծրացման և որակի վերահսկման պայմանները, որոնք խիստ արդիական հարցեր են, կարող են լուծվել նրա ծավալում կառուցվածքի ձևավորման կանխատեսման մեթոդի ստեղծմամբ և օգտագործմամբ՝ հաշվի առնելով դրանց ձևն ու չափը, օգտագործվող նյութի հատկությունները և միմյան ժամանակ սառեցնող միջավայրի բնութագրերը: Պետք է նշել, որ միումը հանդիսանում է արտադրատեսակի կառուցվածքի ստացման և, հետևապես, կանխատեսման հիմնական տեխնոլոգիական գործընթացը:

Ելնելով վերոնշյալից՝ աշխատանքի նպատակն է մշակել միմյան ժամանակ պողպատյա արտադրատեսակների կառուցվածքի և հատկությունների կանխատեսման մեթոդ, որը թույլ կտա կանխատեսել ջերմային մշակման ընթացքում կառուցվածքի և հատկությունների բաշխումը արտադրատեսակի ամբողջ ծավալում, հնարավորություն կտա նախագծողներին և տեխնոլոգներին՝ կատարելու նյութի ճիշտ ընտրություն և մշակելու ջերմամշակման համապատասխան տեխնոլոգիա՝ ապահովելով պահանջվող հատկությունների ստացման երաշխավորություն:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Ժամանակակից մեքենաշինական արդյունաբերության առջև ծառացած կարևորագույն խնդիրներից է մեքենամասերի որակի բարելավումը, որոնց հիմնական բնութագրերը կախված են դրանց արտադրության համար օգտագործվող նյութերի մեխանիկական հատկություններից, ինչպես նաև դրանց մշակման համար օգտագործվող տեխնոլոգիական գործընթացների իրականացման պայմաններից: Կոնստրուկցիոն և գործիքային պողպատների մեխանիկական հատկություններն ուղղակիորեն կախված են պողպատի քիմիական բաղադրությունից և դրա կառուցվածքից: Պողպատի կառուցվածքային վիճակը որոշվում է ջերմային մշակման պարամետրերով [3]: Արտադրության մեջ ընդունված ավանդույթի համաձայն՝ ներկայումս ջերմամշակվող նյութի և պարամետրերի ընտրությունն իրականացվում է այնպես, որ ապահովվի պահուստային ամրության և այլ մեխանիկական հատկությունների որոշակի սահման՝ պահանջվող մակարդակը գերազանցելով 1,5...2,0 անգամ կամ ավելի: Այսպիսով, մեքենաշինական արդյունաբերության մեջ արտադրվող մեքենամասերի որակի բարելավումը պահանջում է կատարելագործել օգտագործվող նյութի կառուցվածքային վիճակը որոշելու և տեխնոլոգիական մշակման պարամետրերը գտնելու մեթոդները:

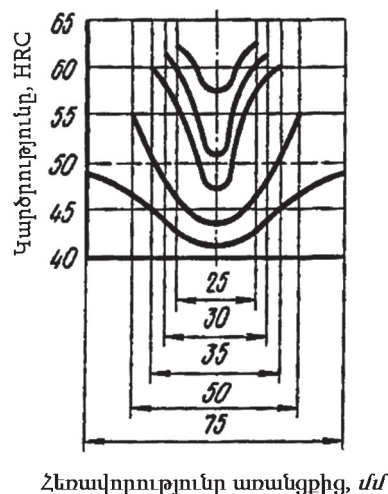
Նյութի կառուցվածքային վիճակը որոշելու խնդրի լուծման անհրաժեշտությունը հայտնի էր դեռևս անցյալ դարի կեսերից [4-7], համաձայն որի մշակվել են տարբեր փորձարարական եղանակներ և հաշվարկման մեթոդներ, որոնք այս կամ այն չափով թույլ են տալիս լուծել առաջադրված խնդիրը [2]: Մեքենամասերի շահագործման համար պահանջվող կայունության և հուսալիության բարձրացման ամենակարևոր գործոնը տվյալ ջերմային մշակմամբ ստացված կառուցվածքային վիճակի ձևավորումն է: Նախագծողներին և տեխնոլոգներին ներկայացվող օրեցօր աճող պահանջները հարկադրում են՝ կատարելու մեծաքանակ հետազոտություններ՝ տարբեր պողպատներում կառուցվածքային փոխակերպությունների բնույթի վրա ջերմամշակման գործոնների ազդեցությունն ուսումնասիրելու նպատակով: Տարիների ընթացքում կուտակվել են հսկայական քանակությամբ փորձարարական նյութեր և հաստատվել տեսական դիրքորոշումներ տարբեր տեսակի կառուցվածքների ձևավորման ուղղությամբ՝ կախված կառավարման գործոններից և առաջին հերթին՝ սառեցման պայմաններից [8]: Թվում է, թե նշվածը հնարավորություն կտա՝ կատարելու մեքենամասերի ռացիոնալ ջերմամշակման ռեժիմների ճիշտ ընտրություն՝ հաշվի առնելով մեքենամասերի զանգվածի, չափի և ձևի գործոնները: Այն թույլ է տալիս ողջամտորեն իրականացնել պողպատի տեսակի ընտրություն արտադրատեսակի նախագծման և դիզայնի մշակման փուլում: Այս օրինաչափությունների իմացությունը հնարավորություն է տալիս տեխնոլոգներին՝ վերահսկելու և գնահատելու տեխնոլոգիական գործոնների և պողպատների քիմիական բաղադրության թույլատրելի տատանումների ազդեցությունը մեքենամասերի ջերմամշակման արդյունքների վրա, գնահատելու կառուցվածքային վիճակի հնարավոր շեղումները և սահմանելու այդ շեղումների թույլատրելի աստիճանը: Նման խնդիրները լուծելու համար անհրաժեշտ է կանխատեսել կառուցվածքային փոխակերպությունները՝ կախված մշակման գործոններից և, առաջին հերթին, միմյան ընթացքում սառեցման պայմաններից: Այդ նպատակի իրականացման համար կատարվել է պողպատների սերտիֆիկացում ըստ տեսակների՝ միմյան ընթացքում տարբեր կառուցվածքային վիճակներ ապահովելու հնարավորությունը բնութագրող չափանիշներ և ցուցանիշներ ստանալու նպատակով: Այդ ցուցանիշներից կարելի է առանձնացնել պողպատի կրիտիկական տրամագիծը և սառցման կրիտիկական արագությունը: Միաժամանակ, քանի որ այդ ցուցանիշներն ըստ սահմանման չափազանց իդեալականացված են (իրական մեքենամասերը միշտ չէ, որ գլանաձև են, իսկ սառեցման կորը սառեցման արագության ցուցադրման շատ պարզեցված ձևն է) և ունեն արժեքների շատ մեծ ցրվածություն, հետևապես՝ հնարավոր չէ դրանց արդյունավետ օգտագործումը: Համաձայն փորձանմուշների ճակատային միմյան արդյունքների (ГОСТ 5657-82) [9], նորմավորված է գրեթե ցանկացած մակնիշի պողպատի սառեցման գործընթացը՝ սառեցման տարբեր արագությունների դեպքում, որոնք ներկայացված են լիամիլվելիության գոտիների տեսքով: Սակայն նախագծողների և տեխնոլոգների

համար դրանք ավելի շատ դիդակտիկ հետաքրքրություն են ներկայացնում, քան տեղեկատվություն: Այն կարող է օգտագործվել արտադրատեսակների նախագծման փուլում տեխնոլոգիական գործընթացը ճշգրտելու համար: Տվյալների ցրման տեսակետից ներկայացված լիամիավելիության գոտին չափազանց մեծ է: Թվում է, թե պողպատի ջերմակլիներտիկական դիագրամները (ՋԿԴ) կհաղթահարեն սառեցման կրիտիկական արագությանը բնորոշ թերությունները և հնարավորություն կտան կանխատեսել անընդհատ սառեցման պայմաններում կառուցվածքի ձևավորման բնույթը: Ավելի վաղ, գրեթե բոլոր գործիքաշինական պողպատերի համար, կառուցվել են նշված դիագրամները [10]: Այնուամենայնիվ, պողպատների միմյան ժամանակ կառուցվածքագոյացման կանխատեսմանը վերաբերող խնդրի լուծման ընթացքը վերջնական չէ: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ջերմակլիներտիկական դիագրամը չի հանդիսանում տվյալ մակնիշի պողպատի բնութագրիչ, այլ այն նկարագրում է տվյալ ձուլվածքից ստացված որոշակի խմբաքանակով մետաղի վարքը: Մեկ այլ խմբաքանակի համար ջերմակլիներտիկական դիագրամը կարող է ստացվել փոքր-ինչ տարբեր, ինչը պայմանավորված է տարբեր ձուլվածքներում քիմիական բաղադրության որոշակի տարբերությամբ: Մետալուրգիական գործընթացներում դա չի նշանակում, թե ՋԿԴ-ների կարիքը չկա: Դրանք թույլ են տալիս ներկայացնել ստացվող կառուցվածքային վիճակների ամբողջ հնարավոր սպեկտրը և սառեցման գործոնների ազդեցության միտումը որոշակի կառուցվածք ստանալու հնարավորության վրա: Այնուամենայնիվ, նշված կանխատեսման ճշգրտությունը, կախված տեխնոլոգիական գործոններից, միանշանակ անբավարար է ջերմամշակման տեխնոլոգիայի մշակման և կառավարման խնդիրները լուծելու համար: Ելնելով վերոնշյալ հանգամանքներից, անհրաժեշտ է տվյալ խմբաքանակի պողպատի համար ունենալ սառեցման պայմանները բնութագրող հիմնական պարամետրերը: Սառեցման ինտենսիվություն հասկացությունը, ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, նույնպես պետք է հստակեցվի: Կառուցվածքագոյացման ձևավորումը կանխատեսելու համար սառեցման կորի գծայնացումը բավարար չէ: Կանխատեսման համար անհրաժեշտ է, որ կառուցվածքագոյացման բնույթն իր ամբողջական տեսքով կապվի սառեցման կորի հետ: Այս դեպքում հնարավորություն է ստեղծվում լուծել կառուցվածքագոյացման կանխատեսման խնդիրը: Մակայն դրա համար պետք է ունենալ միմյան ժամանակ արտադրատեսակի ցանկացած կետի ջերմաստիճանի փոփոխման վերաբերյալ տեղեկատվություն: Նախկինում նման խնդրի առաջադրումը, երբ կառուցվում էին ՋԿԴ-երը, եղել է անհնար: Թվային մեթոդների զարգացումը [11] ներկայումս հնարավորություն է տալիս նորովի դնել և լուծել ջերմամշակման ժամանակ արտադրատեսակի ամբողջ ծավալում կառուցվածքագոյացման խնդիրը:

Հետազոտության արդյունքները. Պողպատների միմյան ընթացքում կառուցվածքագոյացման գործընթացը կանխատեսելու վերաբերյալ խնդիրը լուծելու համար առաջին հերթին պետք է կատարվի պողպատների հավաստագրում և խմբա-

վորում, որի իրականացման համար պետք է որոշվի նմուշի կառուցվածքը միջին կտրվածքում [2]: Այս մեթոդն օգտագործվում է նմուշի ընդլայնական կտրվածքներում կարծրության բաշխվածությունը որոշելու համար: Համապատասխան փորձարկումն իրականացնելու նպատակով Y7 մակնիշի պողպատից պատրաստված կլոր կտրվածքով նմուշը, որի երկարությունը 2,5...3 անգամ մեծ է տրամագծից, տաքացվել է մինչև միսման ջերմաստիճանը (800...830°C), պահվել այդ ջերմաստիճանում որոշակի ժամանակ, մինչև տեղի ունենա ընդլայնական կտրվածքով հավասարաչափ տաքացում, այնուհետև սառեցվել է ջրում, որի ընթացքում գնահատվել է պողպատի կառուցվածքագոյացման գործընթացը՝ կախված սառեցման արագությունից: Սառեցված նմուշը կտրվել է միջնամասի ընդլայնական կտրվածքով, այնուհետև կտրվածքի տեղամասը ենթարկվել է հղկման, և չափվել կարծրությունը տրամագծով յուրաքանչյուր 2 մմ հեռավորության վրա: Ստացված տվյալների հիման վրա կառուցվել է կախվածություն՝ «կարծրություն – նմուշի առանցքից հեռավորություն» կոորդինատային առանցքներով (նկ. 1): Հիմք ընդունելով կարծրության բաշխվածությունը և օգտագործելով մետաղագիտական հետազոտման մեթոդները, որոշվել է տվյալ կտրվածքում և տվյալ ուղղությամբ կառուցվածքի բաշխվածությունը:

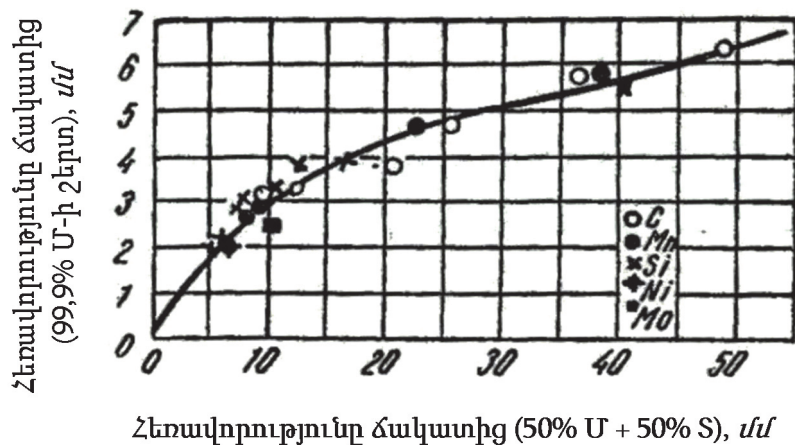
Միաված շերտի հաստությունը և կառուցվածքի բաշխվածությունը որոշելու այս մեթոդն օգտագործվում է ածխածնային պողպատների, հիմնականում ածխածնային գործիքային պողպատերի համար, որոնց լիամիավելիությունը բարձր չէ (մինչև 25...30 մմ): Մեթոդն ունի որոշակի տարբերություն գործիքային և կոնստրուկցիոն պողպատերի վրա այն իրականացնելու դեպքում:



Նկ. 1. Y7 մակնիշի պողպատից պատրաստված և միաված գլանաձև արտադրատեսակների կարծրության բաշխվածությունը առանցքից ունեցած հեռավորությունից

Կոնստրուկցիոն պողպատի կառուցվածքում տրոստիտի որոշակի քանակության առկայությունը (մինչև 20%) հանգեցնում է կարծրության փոքրացմանը, ինչը դժվարացնում է մաքուր մարտենսիտային կառուցվածքով գոտու որոշումը: Այս պողպատների համար ավելի նպատակահարմար է որոշել կիսամարտենսիտային գոտու խորությունը, որը ներկայացնում է մարտենսիտի և տրոստիտի խառնուրդ: Տրոստիտի քանակության հետագա ավելացումը հանգեցնում է կարծրության կտրուկ նվազմանը: Բացի այդ, կիսամարտենսիտային շերտը հեշտ է որոշել միկրոկառուցվածքային վերլուծության միջոցով:

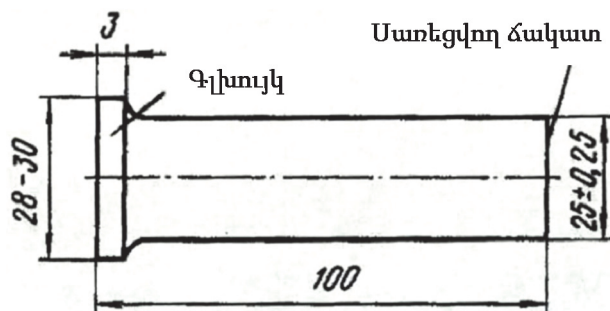
Մարտենսիտային և կիսամարտենսիտային գոտիների խորությունների միջև կա մեծ փոխկապակցվածություն (նկ. 2), ինչը թույլ է տալիս հաշվարկային եղանակով որոշել մարտենսիտային գոտու խորությունը կիսամարտենսիտային գոտու խորության համեմատ: Առավել ևս հայտնի է, որ մարտենսիտի և տրոստիտի կարծրությունները հիմնականում որոշվում են պողպատի մեջ ածխածնի պարունակությամբ և ավելի քիչ են կախված լեգիրող տարրերի առկայությունից: Հետևաբար, կիսամարտենսիտային շերտի կարծրությունը կարող է նախապես հայտնի լինել, եթե հայտնի է դիտարկվող պողպատում ածխածնի պարունակությունը [4]: Միննոյն ժամանակ, միաված գործիքային պողպատի կիսամարտենսիտային գոտու կարծրությունը կախված է մնացորդային աուստենիտի քանակությունից, որը, կախված պողպատի բաղադրությունից և միմյան պայմաններից, կարող է լինել տարբեր: Մնացորդային աուստենիտի նույնիսկ փոքր քանակությունը նկատելիորեն նվազեցնում է պողպատի կարծրությունը՝ գործիքների համար թույլատրելի սահմանային կարծրությունից ցածր: Կիսամարտենսիտային գոտին, մնացորդային աուստենիտի առկայության և կառուցվածքի մեծ դիսպերսայնության պատճառով, մանրադիտակային վերլուծության միջոցով հայտնաբերվում է մեծ դժվարությամբ:



Նկ. 2. Մարտենսիտային և կիսամարտենսիտային շերտերի նմուշի ճակատից ունեցած հեռավորության կախվածությունը

Այս մեթոդի առավելությունը դրա իրականացման պարզությունն է: Այն կարող է օգտագործվել ջերմամշակման ռեժիմների մշակման փուլում կամ դրա իրականացման գործընթացում՝ նմուշի կառուցվածքն ու կարծրությունը որոշելու համար, որպես հավաստիացում օգտագործելով փորձանմուշները: Որպես թերություն կարելի է նշել, որ այս եղանակով ստացված լիամիսվելիության կորերը բնութագրում են կառուցվածքի և կարծրության բաշխումը միայն տվյալ տրամագծով նմուշում: Ավելի ամբողջական բնութագիր ստանալու համար անհրաժեշտ է կրկնել փորձերը տարբեր տրամագծերով նմուշների վրա և դրանք սառեցնել տարբեր միջավայրերում, ինչը բավականին աշխատատար է:

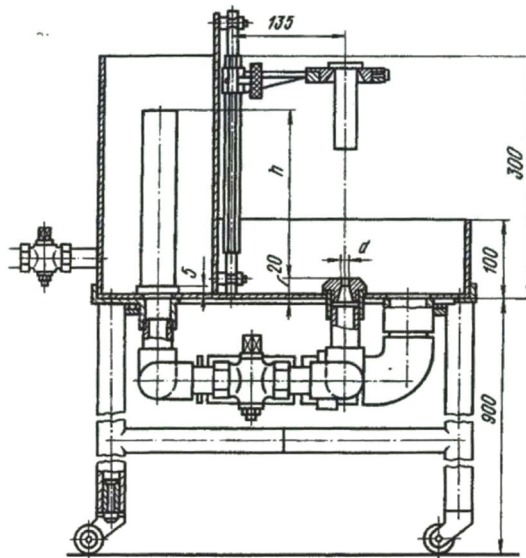
Այսպիսով, մշակվել է ճակատային միսվող փորձանմուշի տեխնոլոգիական փորձարկման համապատասխան մեթոդ, որի կանոնակարգերը բերված են համապատասխան փաստաթղթերում [9, 12]: Այս մեթոդի համար օգտագործվել են 25 մմ տրամագծով և 100 մմ երկարությամբ փորձանմուշներ (նկ. 3): Դրանք մի կողմում ունեն գլխույկ, որը թույլ է տալիս մխելիս դրանք կախել ուղղահայաց դիրքով: Տաքացումը կատարվել է էլեկտրական լաբորատոր վառարանում՝ առանց պաշտպանիչ միջավայրի: Այդ իսկ պատճառով նմուշը տեղադրվել է պողպատե տուփի մեջ՝ ստորին ծայրով հենված գրաֆիտե ափսեին:



Նկ. 3. Ճակատային միսման եղանակով լիամիսվելիության որոշման փորձանմուշի արտաքին տեսքը

Միսման ջերմաստիճանում պահելուց հետո փորձանմուշը սառեցվել է հատուկ սարքավորման մեջ (նկ. 4), որը գտնվում է վառարանից որոշակի հեռավորության վրա, և նմուշը տեղափոխելու սկզբից մինչև սառեցման սկիզբի ժամանակը չի գերազանցում 5 վ-ը: Տաքացված նմուշը տեղադրվել է սարքավորման մեջ, որից հետո միացվել է ջրամատակարարումը: Այն տրվել է ծայրափողակի միջոցով՝ ճնշման տակ: Ճնշումը կարգավորվել է այնպես, որ ազատ հոսքի բարձրությունը լինի 65 մմ: Ծայրափողակից մինչև սառեցվող փորձանմուշի ստորին ճակատային մասը եղել է 12,5 մմ, իսկ շիթը հպվել է միայն փորձանմուշի ճակատային մակերևույթին: Փորձանմուշը պահվել է ջրի շիթի տակ մինչև ամբողջությամբ

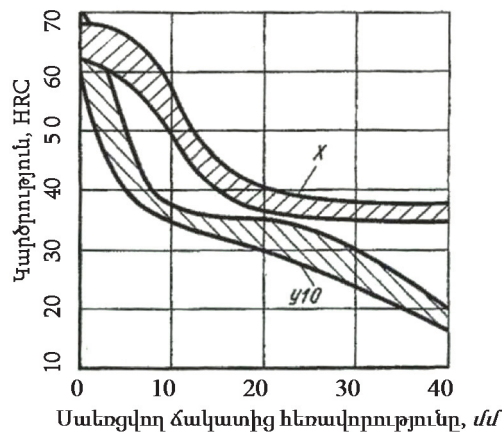
սառչելը (ոչ պակաս 10 *քաղ*): Ջրի ջերմաստիճանը ընտրվել է 10...25 °C-ի սահմաններում: Այս պայմաններում փորձանմուշի ներքին ճակատային մասի սառեցման արագությունը համապատասխանում է ջրում արտաքին մակերևույթի սառեցման արագությանը (1000 °C/ի), իսկ վերին ճակատային մասի սառեցման արագությունը՝ օդում սառեցման արագությանը (3...4 °C/ի): Նմուշի մնացած հատվածը, որը գտնվում է երկու ճակատների միջև, այսինքն՝ ըստ բարձրության, սառեցվում է միջանկյալ արագությամբ [2]: Միսված փորձանմուշի երկարությամբ կարծրությունը չափելու համար տրամագծի երկու հակառակ կողմերից՝ նրա երկարությամբ, հղկվել է 0,5 *մմ* հաստությամբ շերտ: Հղկման գործընթացը ուղեկցվել է ինտենսիվ սառեցմամբ: Հղկման արդյունքում ստացված հարթության վրա չափվել է կարծրությունը: Համաձայն ГОСТ-ի՝ առաջին չափումն իրականացվել է ճակատային մակերևույթից 3 *մմ* հեռավորության վրա: Առաջին տասը չափումները կատարվել են յուրաքանչյուր 3 *մմ* հեռավորությամբ, իսկ հաջորդները՝ յուրաքանչյուր 1,5 *մմ*-ով:



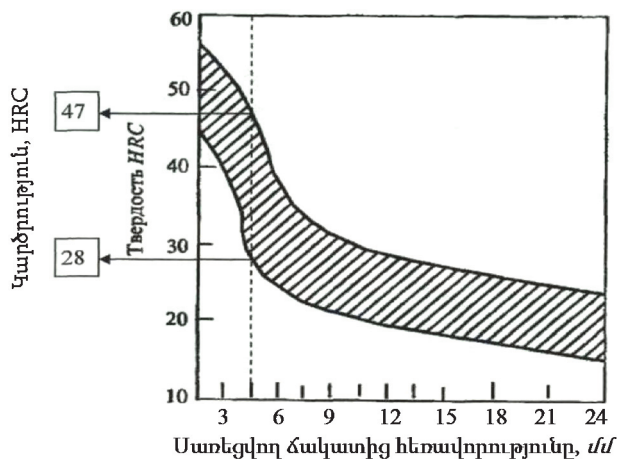
Նկ. 4. Մակերևութային միսման սարքավորման սխեման

Ստացված արդյունքներով «կարծրություն – սառեցվող ճակատից հեռավորություն» կոորդինատներով կառուցվել է գրաֆիկական կախվածություն (նկ. 5): Օգտվելով կարծրության ցուցանիշներից՝ որոշվել է կառուցվածքը ցանկացած կետում: Ճակատային միսման այս եղանակն օգտագործվում է ինչպես ածխածնային, այնպես էլ խոր լիամիսվելիությամբ լեգիրված պողպատների համար, որոնք միսվում են յուղում: Այս մեթոդի առավելությունն այն է, որ թույլ է տալիս որոշել առաջացող կառուցվածքները սառեցման լայն տիրույթում: Որպես թերու-

թյուն պետք է նշել, որ այս մեթոդը հնարավորություն է տալիս որոշել միայն պարզ տեսքով արտադրատեսակների կառուցվածքները: Այն չի կարելի կիրառել բարդ տեսքով արտադրատեսակների, ինչպես նաև նույն մակնիշի պողպատների դեպքում, որոնք ունեն կարծրության մեծ շեղումներ՝ կախված ձուլվածքի խմբաքանակից (նկ. 6): Մեթոդը չի կարելի օգտագործել նաև այն պողպատների դեպքում, երբ դրանք միավում են օդում սառեցնելիս, քանի որ արտադրատեսակի ամբողջ երկարությամբ ստացվում է նույն կարծրությունը: Այն անընդունելի է նաև այն դեպքում, երբ ջրով միավող ճակատային մասի և կիսամարտենսիտային գոտու հեռավորությունը ստացվում է 50 մմ-ից ավելի և այլն:

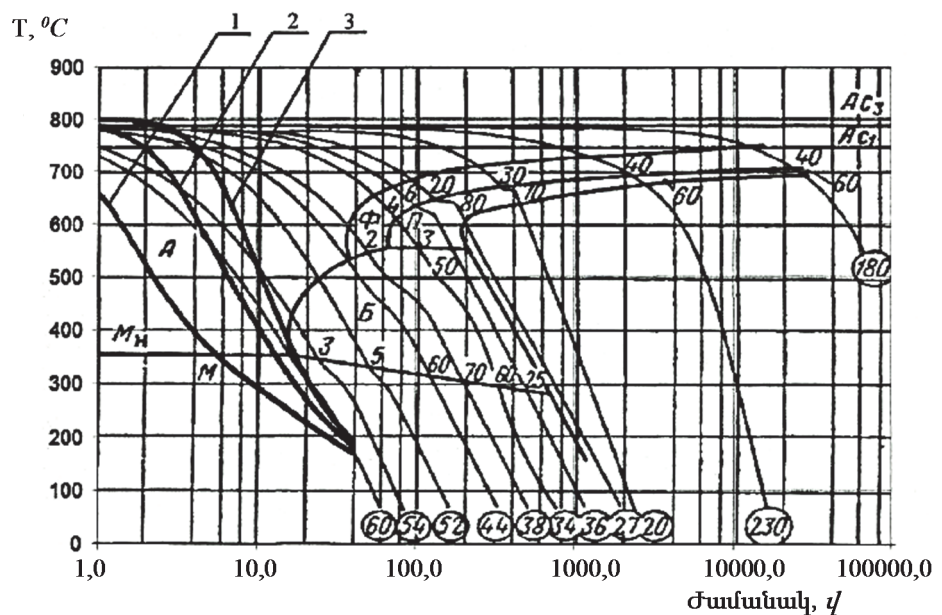


Նկ. 5. Y10 և X (MIX15) մակնիշի պողպատների լիամիջլիության գոտիները, միտումը 840°C յուղում (X) և 800°C ջրում (Y10)



Նկ. 6. Cr50 մակնիշի պողպատե ձուլվածքի տարբեր խմբաքանակների կարծրության արժեքների ջրում (միտումը 840°C) սառեցվող ճակատից ունեցած հեռավորությունից համապատասխանում է ջրով սառեցվող ճակատից 4,5մմ հեռավորությանը

Ճակատային միսման մեթոդի թերությունները հաղթահարելու համար, պարզ տեսքի փորձանմուշների լիամիավելիության որոշման նպատակով, կիրառվել է հաշվարկային մեթոդ: Այն հիմնված է պողպատի ջերմակինետիկական դիագրամի վրա, որը կառուցվում է յուրաքանչյուր մակնիշի պողպատի համար: Ջերմակինետիկական դիագրամների վրա ֆազային փոխակերպությունները և դրանց սահմանները որոշվում են պողպատի՝ տարբեր արագությամբ անընդհատ սառեցմամբ: Փոխակերպության գործընթացների բնութագրերն ուսումնասիրելու համար պահանջվում է վերլուծել սառեցման կորերի ընթացքը (նկ. 7):



Նկ. 7. Արտադրատեսակի տարբեր կետերում կառուցվածքի որոշումը ջերմադինամիկական դիագրամով և սառեցման կորերով. 1 – մակերևույթում, 2 – միջանկյալ տիրույթում, 3 – միջուկում, օ – կարծրության ցուցանիշը (HRC)

Տվյալ մեթոդով անհրաժեշտ ցուցանիշները ստանալու համար պետք է գծել սառեցման կորերը ջերմակինետիկական դիագրամի վրա, որը կառուցվել է ընտրված մակնիշի պողպատի համար: Այն կետերը, որոնցով անցնում է սառեցման կորը, ձևավորվում է միկրոկառուցվածքն արտադրատեսակի տվյալ կետում: Բազմաթիվ կետեր տեղադրելու պարագայում կստանանք միկրոկառուցվածքներն արտադրատեսակի ամբողջ ծավալում: Այս մեթոդի առավելությունն այն է, որ հնարավոր է որոշել միկրոկառուցվածքի բաշխվածությունն ամբողջ ծավալով բարդ տեսքով արտադրատեսակների դեպքում:

Այս մեթոդի բացասական կողմերն են՝ շեղումների մեծ տարբերությունը նույն պողպատի տարբեր ձուլվածքների դեպքում՝ կախված ԴՕՏ-ով թույլատ-

րելի քիմիական բաղադրության տատանումներով, ֆազային փոխակերպության ոչ միանշանակ դիրքը ջերմակլինետիկական դիագրամների վրա, որոնք բերված են տարբեր տեղեկատվություն, և բոլոր ձուլվածքների դեպքում ջերմակլինետիկական դիագրամների ստացման անհնարությունը:

Պարզ ձևով արտադրատեսակների դեպքում, որոնք հանդիսանում են մետալուրգիական արտադրության կիսաֆաբրիկատներ, առաջարկվում է օգտագործել աուստենիտի տրոհման այլ դիագրամներ: Այս դեպքում սառեցման տևողությունը (պողպատի սառեցումը) 830-ից 500°C ջերմաստիճանային տիրույթում տեղադրվում է հորիզոնական առանցքի երկարությամբ: Ըստ արդյունքների որոշվում են տարբեր կառուցվածքային բաղադրիչների համամասնությունը և կարծրության ստացված արժեքները [13]:

Հայտնի է գերսառեցված աուստենիտի տրոհման դիագրամների կառուցումը՝ գլանաձև փորձանմուշների կիրառմամբ, երբ կառուցվածքագոյացման բնութագրերը համընկնում են տաբեր տրամագծերով գլանական նախապատրաստվածքների սառեցման որոշակի պայմաններին [10]: Այս մոտեցումները համընդհանուր չեն և չեն կարող առաջարկվել մեքենաշինական արտադրատեսակների միմյան ժամանակ՝ կառուցվածքի կանխատեսման խնդրի լուծման համար:

Դիտարկված մեթոդների ուսումնասիրությունը ցույց տալիս, որ դրանք պարունակում են անբավարար տեղեկատվություն միավոր արտադրատեսակների կառուցվածքների կանխատեսման համար: Շատ հաճախ կառուցվածքի կանխատեսումը կապում են լիամիսվելիության հետ: Լիամիսվելիության որոշման համար պրակտիկայում կիրառում են կրիտիկական տրամագիծը [14]: Այն նկարագրում է արտադրատեսակի միջանցիկ միմյան հնարավորությունը: Սակայն շատ հաճախ, ելնելով շահագործման պահանջներից, միմյան ժամանակ ներքին լարումների փոքրացման նպատակով, միջանցիկ միմյան ցանկալի չէ: Փոխակերպության դիագրամների կիրառմամբ պողպատի միսվելիությունը որոշելու համար այն վերջնական արդյունքում բերվում է միմյան կրիտիկական տրամագծով (աղյուսակ):

Աղյուսակ

Պողպատների լիամիսվելիության ցուցանիշները [14, 15]

Մակնիշ	Կրիտիկական տրամագիծը, մմ		Կրիտիկական արագությունը՝ V, °C/վ
	ջուր	յուղ	
45	15...35	6...12	190...340
40X	38...76	16...48	38...205
IIIХ15	28...60	9...37	36
XFC	80...100	40...50	30

Միման արագությունը միակ մեծությունն է պողպատյա արտադրատեսակների սառեցման գործընթացի ողջ ջերմաստիճանային տիրույթում, որը հնարավորություն է տալիս որոշակի շեղումներով կանխատեսել ստացվող կառուցվածքները արտադրատեսակի ամբողջ ծավալում: Սառցման ռեժիմներն այս պարագայում ընտրվում են փորձարարական մեթոդով:

Ելնելով վերոհիշյալից, պարզ է դառնում, որ մեքենաշինական արտադրությունում արտադրատեսակների որակական հատկանիշները բարձրացնելու համար անհրաժեշտ է ունենալ ամբողջական պատկերացում կառուցվածքի ձևավորման վրա ազդող գործոնների մասին, որը հնարավորություն կտա կանխատեսել միման ընթացքում ստացվող կառուցվածքները:

Եզրակացություն. Ցույց է տրված, որ միման ընթացքում արտադրատեսակների ծավալում առաջացած կառուցվածքները կանխատեսելու առկա մեթոդները, ինչպես նաև այդ ծավալում կարծրության բաշխվածության արժեքներն ունեն լուրջ թերություններ, որոնք ազդում են արդյունքների ճշգրտության վրա: Այս առումով խնդիր է առաջանում մշակել պողպատների միման և հետագա արձակման ընթացքում կառուցվածքի տեսակների առաջացումը կանխատեսելու նոր մեթոդ, որը թույլ կտա ստանալ բարձր ճշտությամբ արդյունքներ: Ճակատային միման մեթոդն ամենամոտն է իրական տվյալների ստացմանը, ուստի այն կարող է կիրառվել որպես հիմք հետագա մեթոդների մշակման համար: Գործնական կիրառման համար մշակվող մեթոդը, որը հնարավորություն կտա կանխատեսել արտադրատեսակի կառուցվածքը միման և արձակման գործընթացներից հետո, պետք է հիմնված լինի սառեցման ջերմային խնդիրը լուծելու համար պահանջվող տեղեկատվության վրա, ինչպիսիք են տվյալ արտադրատեսակի նյութի իմացությունը, որից այն պատրաստվել է, միման միջավայրի սառեցման ունակության մասին և տվյալ արտադրատեսակի ձևի ու չափերի վերաբերյալ տվյալները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Смирнов М.А., Счастливцев В.М., Журавлев Л.Г.** Основы термической обработки стали: Учебное пособие.- М.: Наука и технологии, 2002.- 519 с.
2. **Геллер Ю.А., Рахпгадт А.Г.** Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи (6-е изд., перераб. и доп.).- М.: Металлургия, 1989.- 456 с.
3. Материаловедение: Учебник для вузов / **Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.;** Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина (3-е изд., перераб. и доп.).- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.- 648 с.
4. **Блантер М.Е.** Методика исследования металлов и обработки опытных данных.- М.: Гос. н-т. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1952.- 444 с.
5. **Одинг И.А.** Современные методы испытания металлов: Учебное пособие для вузов.- М.: Металлургиздат, 1944.- 300 с.

6. **Гудремон Э.** Специальные стали.- М.: Гос. н-т изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1959.- 952 с.
7. **Grossmann M.A., Asimov M., Urban S.F.** The Hardenability of Alloy Steel.- Cleveland: ASM, 1939.- P. 124-180.
8. **Гуляев А.П.** Металловедение: Учебник для вузов (6-е изд., перераб. и доп.).- М.: Металлургия, 1986.- 544 с.
9. ГОСТ 5657-82. Метод испытания на прокаливаемость.- М.: Изд-во стандартов, 1993.- 10 с.
10. **Попова Л.Е., Попов А.А.** Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста (3-е изд., перераб. и доп.).- М.: Металлургия, 1991.- 503 с.
11. **Карташов Э.М.** Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел (3-е изд., перераб. и доп.).- М.: Высшая школа, 2001.- 550 с.
12. ISO 642:1999. Steel - Hardenability test by end quenching (Jominy test).- TC 17/SC 7.- 24 p.
13. **Бернштейн М.Л.** Металловедение и термическая обработка стали. Т.1.- М.: Металлургия, 1995.- 336 с.
14. **Качанов Н.Н.** Прокаливаемость стали (2-е изд. перераб. и доп.).- М.: Металлургия, 1978.- 192 с.
15. Стали и сплавы. Марочник: Справочное издание / **В.Г. Сорокин и др.**; Под науч. ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева.- М.: Интермет Инжиниринг, 2003.- 608 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.06.2021:

С.Г. АГБАЛЯН, Р.С. ПАПОЯН, Г.А. ВАСИЛЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ВО ВРЕМЯ ЗАКАЛКИ

Разработан метод прогнозирования свойств и структуры сталей во время закалки, что дает возможность технологам и конструкторам выбрать правильный материал и обработать соответствующий метод термообработки, гарантируя получение необходимых свойств. Показано, что для достижения вышеуказанных целей больше всего подходит метод торцевой закалки цилиндрических материалов. Перенос кривые охлаждения на термокинетическую диаграмму стали, определяются структура и свойства стали при любой температуре. Фазовые превращения и их границы на термокинетических диаграммах возможно определить непрерывным охлаждением стальных изделий с разными скоростями. Для исследования характера процессов превращения следует расшифровать протекание кривых охлаждения.

Ключевые слова: торцевая закалка, критическая скорость охлаждения, критический диаметр закалки, структура, мартенсит, тростит.

S.G. AGHBALYAN, R.S. PAPOYAN, G.A. VASILYAN

**DEVELOPING A METHOD FOR FORECASTING THE STRUCTURE
AND PROPERTIES OF STEEL PRODUCTS AT HARDENING**

A method for predicting the properties and structure of steels at hardening is developed. The method enables technologists and designers to choose the correct material, and develop the appropriate heat treatment method which will guarantee the necessary properties. The most suitable possibility to achieve the above mentioned goals is the end hardening of cylindrical materials. To obtain the structure and properties of steels at any temperature, we transfer the cooling curves to the thermokinetic diagram of the steel. To determine phase transformations and their boundaries on thermokinetic diagrams, it is possible to continuously freeze the steel product with different velocities. In order to investigate the transformation processes, it is necessary to decipher the process of the cooling curves.

Keywords: end hardening, freezing critical velocity, hardening critical diameter, structure, martensite, troostite.

А.Г. ОГАНЕСЯН, Л.С. МАИЛЯН

**НОВАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА
ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПОДЭТАЖНЫМИ ШТРЕКАМИ СО
ЩЕЛЕВОЙ ВЫЕМКОЙ И С ОТБОЙКОЙ ШПУРАМИ ИЗ
ВОССТАЮЩИХ**

На основе принципов развития, совершенствования и создания новых систем разработана рабочая гипотеза по созданию универсальной системы подземной разработки для отработки весьма тонких и тонких крутопадающих рудных тел или отдельных их частей, представленных как устойчивым, так и неустойчивым породно-рудными массивами, которая является комбинацией системы разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды (при устойчивом породно-рудном массиве) и системы разработки с магазинированием руды с отбойкой шпурами из восстающих (при неустойчивом породно-рудном массиве).

Новая универсальная комбинированная система подземной разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой и с отбойкой шпурами из восстающих позволяет обеспечить безопасность ведения подземных горных работ и высокие качественно-количественные показатели добычи руды при любой степени устойчивости породно-рудного массива.

Ключевые слова: золото, устойчивость, руда, порода, жила, система разработки, эксплуатация.

Введение. Одно из золоторудных месторождений на юге Армении расположено в отдаленном, труднодоступном районе (вдали от населенных пунктов и промышленных центров), в горной местности [1].

Рудные тела рассматриваемого месторождения отличаются сложной морфологией и условиями залегания, характеризуются раздувами и пережимами, смещениями участков жил по простиранию и сближенным расположением некоторых жил.

Примерно 70% запасов руды на рассматриваемом месторождении сосредоточены в крутопадающих рудных телах или на их отдельных частях мощностью до 0,7 м, а около 30% - мощностью от 0,7 до 1,0 м.

Согласно данным геологоразведочных и эксплуатационных работ, месторождение характеризуется прерывистостью оруденения по простиранию; достаточной крепостью руды и вмещающих пород (коэффициент крепости

пород по шкале проф. И.М. Протодяконова - 8...12, а для рудных образований – 12...14); устойчивостью руды, за исключением в контактах и в зонах жильных внедрений; устойчивостью вмещающих пород, за исключением в контактах рудных тел, где они местами трещиноваты и недостаточно устойчивы; неслеживаемостью руды.

Гидрогеологические условия весьма благоприятные.

Постановка задачи и методы исследования. В работе [2] способом прямого отбора выделены технически применяемые 7 систем подземной разработки, которые для горногеологических и горнотехнических условий данного месторождения обеспечивают безопасность горных работ и возможность осуществления производственных процессов при очистной выемке руды. Причем из отобранных систем разработки 4 применимы для крутопадающих рудных тел, представленных устойчивой рудой и вмещающими породами, а 3 – для крутопадающих рудных тел, представленных неустойчивой рудой и вмещающими породами.

На основе выбора оптимальных систем с использованием оценочного показателя “критическая мощность” рудного тела установлено [3], что для весьма тонких и тонких рудных тел (мощностью до 1,0 м), представленных устойчивым породно-рудным массивом, оптимальной является система разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды (рис. 1), а для рудных тел с той же мощностью, представленных неустойчивым породно-рудным массивом, – система разработки с magazинированием руды с отбойкой шпурами из восстающих (рис. 2).

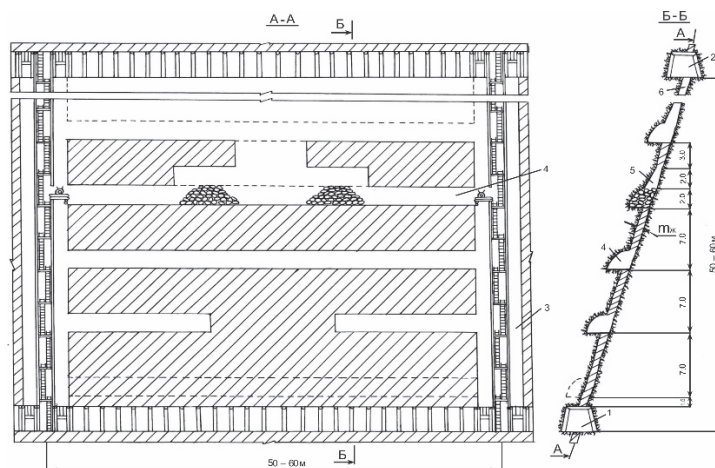


Рис. 1. Система разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды:
1 - откаточный штрек; 2 - вентиляционный штрек; 3 - блоковый восстающий;
4 - подэтажные штреки; 5 - первичная цель; 6 - вторичная цель

объем подготовительно-нарезных работ, а при снижении устойчивости породно-рудного массива - повышение количества подэтажных штреков. Следовательно, изыскание эффективных методов выемки руды по вышеотмеченной системе разработки при неустойчивом породно-рудном массиве имеет важное практическое значение. В этой связи заслуживает внимания способ отбойки руды из восстающих.

Желаемого результата можно достичь комбинированием системы подэтажными штреками со щелевой выемкой руды и системы с magazинированием руды с отбойкой шпурами из восстающих, что позволит произвести выемку руды в условиях, изменяющих устойчивость породно-рудного массива.

Результаты исследования. С этой целью была разработана рабочая гипотеза по созданию универсальной системы подземной разработки, сущность которой заключается в следующем (рис. 3).

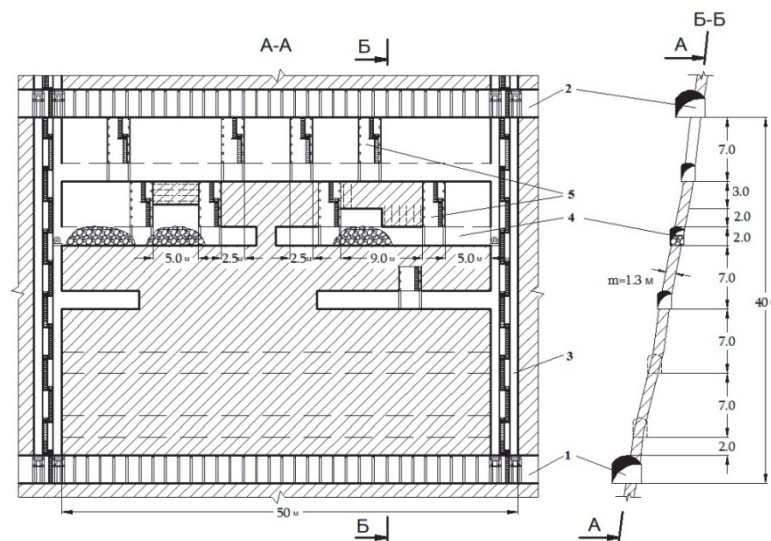


Рис. 3. Комбинированная система разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды и с отбойкой шпурами из восстающих

Эксплуатационный блок подготавливается откаточным 1 и вентиляционным 2 штреками, а также блоковым восстающим 3.

Нарезные работы включают проведение подэтажных штреков 4 и коротких восстающих 5, с помощью которых эксплуатационный блок разделяется на отдельные выемочные участки высотой в 7 м и длиной, по техническим возможностям, минимум в 5 м. Длина выемочного участка зависит от устойчивости породно-рудного массива, которая предопределяется при прослеживании рудного тела во время проходки подэтажных штреков. В случае

выявления неустойчивости породно-рудного массива выделяется участок, длина по простираанию которого равна кратной величине 5 м.

После завершения подготовительно-нарезных работ приступают к очистной выемке руды из участков:

- на участках с устойчивым породно-рудным массивом отработка рудного тела осуществляется слоями. В результате отбойки первого слоя высотой в 2,0 м в подэтаже создается первичная щель трапециевидной формы, которая снизу имеет - 0,8...0,9 м, а сверху - $m+0,2$ м ширины. Отбитая руда магазинируется на почву подэтажного штрека, которая служит опорой для бурения второго слоя. Вследствие выемки этого слоя создается узкая вторичная щель высотой 3,0 м и шириной $m+0,2$ м. Отбитая руда по подэтажному штреку скреперируется в рудоспускное отделение восстающего;

- на участках с неустойчивым породно-рудным массивом отработка рудного тела осуществляется сплошным забоем по восстающему с отбойкой руды горизонтальными слоями. Горизонтальные шпуровые глубины 2,2 м предусмотрено располагать в шахматном порядке. После взрывания комплекта шпуров производится частичный выпуск отбитой руды с тем расчетом, чтобы между кровлей очистного забоя и поверхностью замагазинированной руды оставалось свободное пространство высотой около 1,0 м. Затем отбитая руда по подэтажному штреку скреперируется в рудоспускное отделение восстающего.

Заключение. Таким образом, для отработки весьма тонких и тонких крутопадающих рудных тел или отдельных их частей, представленных как устойчивым, так и неустойчивым породно-рудными массивами, создана новая система разработки, которая является комбинацией системы разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой руды (при устойчивом породно-рудном массиве) и системы разработки с магазинированием руды с отбойкой шпурами из восстающих (при неустойчивом породно-рудном массиве).

Новая универсальная комбинированная система разработки подэтажными штреками со щелевой выемкой и с отбойкой шпурами из восстающих позволяет обеспечить безопасность ведения подземных горных работ и высокие качественно-количественные показатели добычи руды при любой степени устойчивости породно-рудного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесян А.Г., Агабян А.Ю., Маилян Л.С. Обоснование совмещения во времени геолого-разведочных и эксплуатационных работ на золоторудном месторождении // Вестник НПУА: Metallургия, материаловедение, недропользование. – Ереван, 2019. – №1. – С. 84-93.

2. **Маилян Л.С.** Отбор технически применяемых систем подземной разработки весьма тонких и тонких крутопадающих рудных тел // Вестник НПУА: Metallurgy, материаловедение, недропользование. – Ереван, 2020. – N2. – С. 80-91.
3. **Հովհաննիսյան Ա.Հ., Մախիյան Լ.Ս.** Չափազանց բարակ և բարակ զառիթափ հանքային մարմինների ստորգետնյա մշակման օպտիմալ համակարգերի ընտրությունը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. սերիա. - 2020. – Հ. LXXIII, N4. – էջ 384–393:
4. **Агабалян Ю.А., Наджарян А.М., Оганесян А.Г.** Повышение эффективности разработки крутопадающих рудных месторождений // Промышленность, строительство и архитектура Армении. – 1988. - N9. – С. 21–23.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 16.05.2021.

Ա.Հ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Լ.Ս. ՄԱԽԻՅԱՆ

**ԵՆԹԱՀԱՐԿԱՅԻՆ ՇՏՐԵԿՆԵՐՈՎ ՃԵՂՔԱՅԻՆ ՀԱՆՈՒՅԹՈՎ ԵՎ
ՎԵՐՇՆԱՅԻՆ ՊԱՅԹԱՆՑՔԱՅԻՆ ՊՈԿՄԱՄԱԲ ԵՎ ՀԱՄԱՊԻՏԱՆԻ
ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՍՏՈՐԳԵՏՆՅԱ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ**

Մշակման համակարգերի զարգացման, կատարելագործման և նորերի ստեղծման սկզբունքների հիման վրա մշակվել է ինչպես կայուն, այնպես էլ անկայուն ապարահանքաքարային զանգվածով ներկայացված չափազանց բարակ և բարակ զառիթափ հանքային մարմինների կամ դրանց առանձին մասերի շահագործման համապիտանի մշակման համակարգի ստեղծման աշխատանքային վարկած, որը ենթահարկային շտրեկներով ձեռքային հանույթով (կայուն ապարահանքաքարային զանգվածի դեպքում) և վերընթացներից պայթանցքային պոկմամբ ու պահեստավորմամբ (անկայուն ապարահանքաքարային զանգվածի դեպքում) մշակման համակարգերի համակցում է:

Ենթահարկային շտրեկներով ձեռքային հանույթով և վերընթացներից պայթանցքային պոկմամբ նոր համապիտանի համակցված մշակման համակարգը թույլ է տալիս ցանկացած ապարահանքաքարային զանգվածի կայունության աստիճանի դեպքում ապահովել ստորգետնյա լեռնային աշխատանքների կատարման անվտանգություն և հանքաքարի արդյունահանման բարձր որակաքանակական ցուցանիշներ:

Առանցքային բառեր. ոսկի, կայունություն, հանքաքար, ապար, երակ, մշակման համակարգ, շահագործում:

A.H. HOVHANNISYAN, L.S. MAILYAN

**A NEW UNIVERSAL COMBINED SYSTEM OF UNDERGROUND
MINING WITH SUB-STOREY DRIFTS WITH A SLOTTED RECESS AND
WITH REBOUNTING HOLES MADE OF RISING STONES**

On the basis of the principles of development, improvement and creation of new systems, a working hypothesis is developed for the creation of a universal system of underground mining for the development of very thin and thin steeply dipping ore bodies or their individual parts, presented by both stable and unstable rock-ore massif, which is a combination of the system development by sublevel drifts with slotted ore excavation (in case of stable rock-ore massif) and development systems with ore shrinkage with bore holes from rising holes (in case of unstable rock-ore massif).

The new universal combined system for the development of sublevel drifts with slotted excavation and with boreholes from rising holes allows to ensure the safety of the introduction of underground mining and high qualitative and quantitative indicators of ore extraction at any degree of stability of the natural ore massif.

Keywords: gold, stability, ore, rock, vein, development system, exploitation.

Գ.Ա. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ

ԲԱՑԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ԶԱՆԳՎԱԾԱՅԻՆ ՊԱՅԹԵՑՄԱՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ
ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՆՈՐ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

Բացահանքերում զանգվածային պայթեցման աշխատանքների արդյունավետությունը բնութագրվում է արտաչափս կտորների ելքով, հանքաստիճանի մշակված հիմքով և պայթեցված լեռնային զանգվածի փլվածքի պարամետրերով և պայթեցման սահմանգծից դուրս լեռնային զանգվածի ստրուկտուրային խախտման չափերով: Զանգվածային պայթեցման դեպքում պայթեցվող բլոկի սահմանգծից դուրս միշտ խախտվում է լեռնային զանգվածի բնական ստրուկտուրան, որը հանդիսանում է արտաչափս կտորների ելքի օջախ, բացասաբար է ազդում հանքաստիճանի թեքության կայունության վրա, ինչպես նաև դժվարացնում է պայթեցված զանգվածի պարամետրերի կարգավորումը:

Աշխատանքը նվիրված է պայթեցվող բլոկի սահմանագծից դուրս լեռնային ապարների ճեղքառաջացման գոտու և զանգվածից ապարի անջատման գոտու շառավղի սահմանափակմամբ պայթեցման աշխատանքների արդյունավետ մեթոդի մշակմանը: Մշակվել է հանքաստիճանի պայթեցման նոր համալիր եղանակ՝ հորատանցքի մեծ տրամագծով և դետոնացման մեծ արագությամբ օժտված պայթուցիկ նյութի լիցքի և գծային լիցքի պայթեցմամբ: Առաջարկված պայթեցման մեթոդը թույլ է տալիս նվազեցնել ճեղքառաջացման գոտու և զանգվածից ապարի անջատման գոտու շառավիղները, հետևաբար և ապահովել հանքաստիճանի թեքման կայունությունը, ինչպես նաև ստանալ հանքաստիճանի հարթ մակերևույթ, որը բացառում է արտաչափս կտորի ելքը և ստեղծում է հնարավորություն՝ ստանալու պայթեցված զանգվածի փլվածք՝ տրված պարամետրերով:

Առանցքային բառեր. հանքաստիճան, պայթեցված զանգված, ճեղքառաջացման գոտի, մերկացված մակերևույթ, պայթուցիկ նյութի լիցք:

Ներածություն: Լեռնային աշխատանքների զարգացման առաջնային խնդիրը ընդերքից արդյունահանվող օգտակար հանածոյի ծավալների մեծացումն է: Այն պայմանավորված է ժայռային և կիսաժայռային ապարները հանույթի նախապատրաստելու գործընթացի արդյունավետությամբ: Բացահանքերում պինդ ապարների նախապատրաստումը հանույթի իրականացվում է պայթեցման էներգիայի կիրառմամբ:

Աշխարհում ընդերքից կորզվող պինդ օգտակար հանածոյի և այն պարփակող դատարկ ապարների ծավալի 70...80%-ը արդյունահանվում է զանգվածային պայթեցմամբ: Ուստի բացահանքերում իրականացվող զանգվածային պայթեցում-

ները հանդիսանում են ապարները հանույթի նախապատրաստելու սկզբնական գործընթաց, որից և կախված է մյուս լեռնային գործընթացների արդյունավետությունը:

Բաց լեռնային աշխատանքների տեխնոլոգիական գործընթացների արդյունավետության բարձրացումը, կապված պայթեցման էներգիայի կարգավորման հետ, պահանջում է լուծել երկու կարևորագույն խնդիր.

1. Բացահանքի աշխատանքային հրապարակում ունենալ անհրաժեշտ մանրացվածությամբ պայթեցված լեռնային զանգված:

2. Ապահովել հանքաստիճանի ազատ մակերևույթի թեքության կայունությունը և ունենալ հանքաստիճանի մերկացված հարթ մակերևույթ:

Պայթեցման աշխատանքների երկարատև փորձը վկայում է, որ մոնոլիտ միջավայրում պայթուցիկ նյութի (ՊՆ) լիցքի քանակի փոփոխությունը, որը բնորոշվում է հորատանցքային ցանցի պարամետրերի և ՊՆ-ի լիցքի երկարության փոփոխությամբ, թույլ է տալիս լայն սահմաններում փոփոխել ապարի մանրացվածության աստիճանը: Իսկ ճեղքավորված միջավայրում ՊՆ լիցքի քանակի մեծությունը չի կարող հանդիսանալ ապարի մանրացվածության աստիճանի կարգավորման լիարժեք ցուցանիշ, քանի որ պայթեցման հիմնական էներգակիրը հանդիսանում է զանգվածի ճեղքավորվածության աստիճանը, և կախված վերջինիս ինտենսիվությունից՝ կտրուկ նվազում է ապարի մանրացվածության աստիճանը:

Ճեղքավորված միջավայրում ապարի կարգավորված մանրացման վրա ծախսվող պայթեցման էներգիան խիստ սահմանափակ է: Այս առումով մի շարք հեղինակներ [1,2] գտնում են, որ ճեղքավորված միջավայրում անհրաժեշտ է կիրառել բարձր փշրողականությամբ (դետոնացման մեծ արագությամբ) օժտված ՊՆ, որի դեպքում մեծանում է ապարի կարգավորված մանրացման գոտու շառավիղը՝ ի հաշիվ գազագոյացման արգասիքի սկզբնական ճնշման մեծացման:

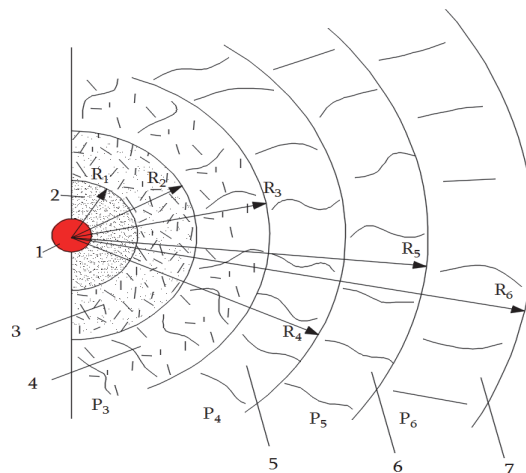
Սակայն այս դեպքում ՊՆ-ի ակտիվ գործունեության տևողությունը ակնթարթային է, որը կմեծացնի ճեղքառաջացման և պոկման գոտու սահմանները (ապարները զանգվածից բնական ճեղքերով անջատման սահմանները), իհարկե, պայթեցումից հետո առաջացնելով թեք անհարթ մակերևույթով (ելուստներով) հանքաստիճան, որը հաջորդ պայթեցման համար կհանդիսանա արտաչափս կտորների ելքի օջախ [1]:

Փոքր դետոնացման արագությամբ օժտված ՊՆ-ի կիրառման դեպքում մեծանում է պայթեցման ակտիվ գործունեության տևողությունը ապարի մանրացման վրա, որն ապահովում է կարգավորված մանրացման գոտու փոքր շառավղով պայթեցված զանգված և ճեղքառաջացում, պոկման գոտու փոքր սահմաններ [2]: Սակայն ապարի կարգավորված մանրացման գոտու փոքր շառավղի դեպքում անհրաժեշտ է ունենալ համեմատաբար խիտ հորատանցքային ցանցով պայթեցվող բլոկ, որը կհանգեցնի հորատման գերածախսի:

Հանքաստիճանի շեղի հարթ մակերևույթի ստեղծման և թեքության կայունության ապահովման ներկայիս միակ մեթոդը զանգվածային պայթեցման հետ մեկտեղ իրականացվող եզրագծային պայթեցումն է [3]: Այս մեթոդը բավականին աշխատատար և ծախսատար գործընթաց է:

Հետևաբար, զանգվածային պայթեցման գործունեության կարգավորման նոր տեխնոլոգիայի մշակումը, որը թույլ կտա բացահանքի աշխատանքային հրապարակում ունենալ անհրաժեշտ մանրացվածությամբ պայթեցված լեռնային զանգված և կապահովի հանքաստիճանի շեղի հարթ մակերևույթ, արդիական խնդիր է:

Խնդրի դրվածքը և հետազոտության մեթոդները: Պայթեցման արդյունքների գնահատումը արտահայտվում է ՊՆ-ի լիցքից $R_1, R_2, R_3, \dots, R_7$ հեռավորության վրա ապարների քայքայման բնութագրիչ գոտիների սահմանների մեծությամբ (նկ.1): ՊՆ-ի լիցքի պայթեցման դեպքում լիցքի խոռոչի պատի վրա առաջանում է ապարի ամրության սահմանը ($\sigma_{\text{ժ}}$) հարյուրապատիկ անգամ գերազանցող զազագոյացման արգասիքի սկզբնական P_1 ճնշում ($P_1 > 100\sigma_{\text{ժ}}$), որի հետևանքով լիցքի շուրջը տեղի է ունենում R_1 շառավղով ապարի գերմանրացում, իսկ լիցքից R_2 հեռավորության վրա զազագոյացման արգասիքի ճնշումը նվազում է $100 \sigma_{\text{ժ}} > P_2 > \sigma_{\text{ժ}}$ սահմաններում և առաջացնում է ապարի կարգավորված մանրացում:



Նկ.1. Պայթեցման դեպքում զազագոյացման արգասիքի ճնշման մեծության փոփոխությունը՝ կախված ՊՆ-ի լիցքի և դիտարկվող գոտու հեռավորությունից.

- 1 - ՊՆ-ի լիցք, 2 - գերմանրացման գոտի, 3 - կարգավորված մանրացման գոտի,
4 - չկարգավորված մանրացման գոտի, 5 - ճեղքառաջացման գոտի, 6 - պոկման գոտի,
7 - ցնցման գոտի

Լիցքի խոռոչից $R_3, R_4, \dots, R_7$ հեռավորության վրա զազառաջացման արգասիքի ճնշումը դառնում է ավելի փոքր, քան ապարի ամրության սահմանը ($P_3, P_4, \dots$,

$P < \sigma_{\text{сж}}$), և տեղի է ունենում ճեղքառաջացման, զանգվածից ապարների պոկման և ցնցման գործընթացը:

Ապարի քայքայման բնութագրիչ գոտիների շառավիղների հաշվարկման բանաձևերից (աղ. 1) պարզ է դառնում, որ կարգավորված մանրացման գոտու սահմանների մեծացումը հնարավոր է մեծ տրամագծով և դետոնացման մեծ արագությամբ օժտված ՊՆ-ի լիցքի կիրառման դեպքում: Իհարկե, նման մոտեցումն իր հերթին կուղեկցվի ճեղքառաջացման և պոկման գոտու սահմանների մեծացմամբ:

Աղյուսակ 1

Ապարի քայքայման բնութագրիչ գոտիների շառավիղների հաշվարկման բանաձևերը

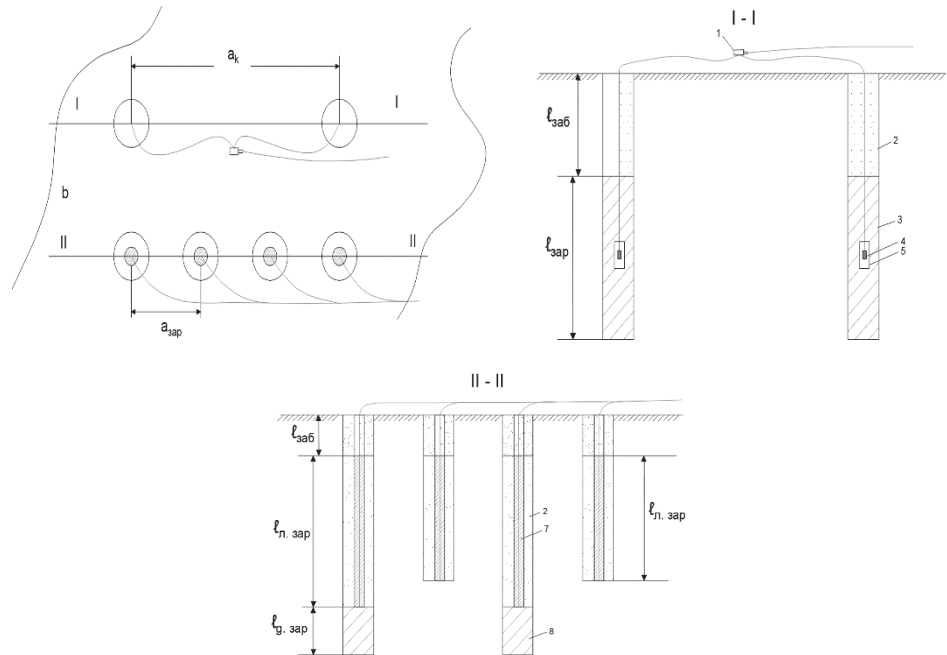
Հաշվարկման բանաձևերը	Արժեքները
Գերմանրացման գոտու շառավիղը, մ $R_{\text{неp}} = D_{\text{BB}} d \sqrt{\frac{K_{\text{п}} \rho_{\text{BB}}}{8 \sigma_{\text{сж}}}} \quad [4]$ Կարգավորված մանրացման գոտու շառավիղը, մ $R_{\text{p.o}} = D_{\text{BB}} d \sqrt{\frac{\rho_{\text{BB}}}{8 K_{\text{м}} \sigma_{\text{pac}}}} \quad [5]$ $K_{\text{м}} = 1 + \frac{1}{4E} (\gamma_{\text{нз}} \rho_{\text{BB}} D_{\text{BB}}^2) (1 + \mu)$ Ճեղքառաջացման գոտու շառավիղը, մ $R_{\text{T}} = 0.21 D_{\text{BB}} d^4 \sqrt{\frac{\rho_{\text{BB}}^3}{\sigma_{\text{сж}}}} \sqrt{\frac{D_{\text{BB}}}{\sigma_{\text{ср}} K_{\text{с}}}} \quad [6]$	ρ_{BB} - ՊՆ-ի խտությունը, կգ/մ³ D_{BB} - ՊՆ-ի դետոնացման արագությունը, մ/վ d - ՊՆ-ի լիցքի տրամագիծը, մ $K_{\text{п}}$ - լիցքի խտույցից ապարի հարվածային ալիքի բեկման գործակիցը $\sigma_{\text{сж}}$ - ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ սեղմման, ՄՊա σ_{pac} - ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ ձգման, ՄՊա, $\gamma_{\text{нз}}$ - լիցքի խտույցի իզենտրոպիկական զարգացման գործակիցը, $\sigma_{\text{ср}}$ - ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ խզման, ՄՊա, $K_{\text{с}}$ - ճեղքավորված զանգվածի ստրուկտուրային թուլացման գործակիցը E - Յունգի մոդուլը μ - Պուասոնի գործակիցը

Ուստի առաջարկվել է զանգվածային պայթեցման գործունեության կարգավորման նոր տեխնոլոգիա, որի մշակումը պահանջում է.

- իրականացնել մեծ տրամագծով և դետոնացման մեծ արագությամբ օժտված ՊՆ-ի լիցքի զանգվածային պայթեցում,
- մինչ զանգվածային պայթեցումը՝ հորատանցքերի վերջին շարքին զուգահեռ կիրառել ՊՆ-ի գծային լիցքով պայթեցում:

Զանգվածային և գծային պայթեցման պարամետրերի ընտրությունը կատարվել է՝ որպես արգումենտ ընդունելով ՊՆ-ի լիցքի տրամագիծը: Զանգվածային և գծային լիցքով պայթեցման պարամետրերը բերված են աղ. 2-ում: ՊՆ-ի լիցքի

զանգվածային և գծային պայթեցման հորատանցքային ցանցի բաշխվածությունը և պայթեցման սխեման պատկերված են նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Հորատանցքային ցանցի և ՊՆ-ի լիցքի բաշխվածության սխեման զանգվածային և գծային պայթեցման դեպքում.

1 - մակերևութային դանդաղեցուցիչ, 2 - խցանյութ, 3 - հիմնական ՊՆ, 4 – ներհորատանցքային դանդաղեցուցիչ, 5 - առաջնային ՊՆ, 6 - դետոնացիոն քուլ, 7 - ՊՆ գծային լիցք, 8 - ՊՆ հատակային լիցք

Աղյուսակ 2

Զանգվածային և գծային լիցքի պայթեցման հաշվարկային պարամետրերը

Զանգվածային պայթեցման հաշվարկային պարամետրերը		Գծային լիցքի պայթեցման հաշվարկային պարամետրերը	
Ցուցանիշները	հաշվարկային բանաձևերը	Ցուցանիշները	հաշվարկային բանաձևերը
1	2	3	4
Կիրառվող ՊՆ-ը	Էմուլսիոն ՊՆ -Արմեքս-750 $\rho_{BB} = 1200 \text{ կգ/մ}^3$ $D_{BB} = 4800 \dots 5200 \text{ մ/վ}$	Կիրառվող ՊՆ-ը	Խոշոր դիսպերսիոն ՊՆ - Անֆո $\rho_{BB} = 8200 \text{ կգ/մ}^3$ $D_{BB} = 2400 \dots 3200 \text{ մ/վ}$
Հանքաստիճանի հիմքի դիմադրության գիծը	$W = 24 d \sqrt{\frac{\rho_{BB}}{q}}$ q - ՊՆ -ի տեսակարար ծախսը; $q = 0.55 \dots 0.65 \text{ կգ/մ}^3$	Գծային լիցքի տրամագիծը	$d_{3ap} \leq \frac{d_{CK}}{3}; \text{ մ}$
		Գերհորատման չափը	$l_{\text{пер}} = (5 \dots 8) d_{CK}; \text{ մ}$

Աղյուսակ 2-ի շարունակություն

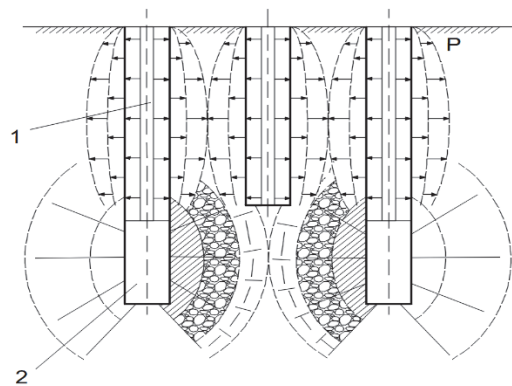
1	2	3	4
Հանքաստիճանի բարձրությունը	$H = \frac{24d}{\operatorname{ctg} \alpha} \sqrt{\frac{\rho_{BB}}{q}} = \frac{c}{\operatorname{ctg} \alpha};$ α-հանքաստիճանի թեքման անկյունը, $\alpha = 75 \dots 80^\circ$ c-անվտանգության գոտի $c = 2 \dots 3$ մ	Գծային լիցքերի հեռավորությունը	$a_{\text{ար}} =$ $= D_{BB} \frac{d_{\text{ար}}}{3} \sqrt{\frac{\rho_{BB}}{2 K m \sigma_{\text{pac}}}};$
Հորատանցքային ցանցի պարամետրերը	$a = b = 2 D_{BB} d \sqrt{\frac{\rho_{BB}}{8 K m \sigma_{\text{pac}}}}, \text{ մ}$ $K_m = 1 + \frac{1}{4E} (\gamma_{\text{из}} \rho_{BB} D^2_{BB})$ $(1 + \mu)$ $\sigma_{\text{pac}} = (25 \dots 30) \cdot 10^6 \text{ Պա}, \gamma_{\text{из}} = 3,$ $\mu = 0.27, E = 3.8 \cdot 10^{10} \text{ Պա}$	Հատակային լիցքի երկարությունը	$l_{\text{д.ар}} = l_{\text{пер}} + d_{\text{СК}}; \text{ մ}$
		Խցանյութի երկարությունը	$l_{\text{заб}} = (10 \dots 20) d_{\text{ар}}; \text{ մ}$
Գերհորատման չափը	$l_{\text{пер}} = 0.5 q w, \text{ մ}$	Գծային լիցքի երկարությունը	$l_{\text{л.ар}} = l_{\text{СК}} - l_{\text{д.ар}} - l_{\text{заб}}; \text{ մ}$
Խցանյութի երկարությունը	$l_{\text{заб}} = (20 \dots 30) d; \text{ մ}$	Գծային լիցքի քանակը	$Q = 0.785 \rho_{BB} d_{\text{ар}}^2 l_{\text{л.ар}};$ $կգ$
Խցանյութի երկարությունը	$l_{\text{заб}} = (20 \dots 30) d; \text{ մ}$	Գծային լիցքի քանակը	$Q = 0.785 \rho_{BB} d_{\text{ар}}^2 l_{\text{л.ар}};$ $կգ$
ՊՆ լիցքի քանակը հորատանցքում	$Q = \pi \rho_{BB} d^2 \frac{l_{\text{ар}}}{4}; \text{ կգ}$	Հատակային լիցքի քանակը	$Q = 0.785 \rho_{BB} d_{\text{СК}}^2 l_{\text{д.ар}};$ $կգ$
ՊՆ լիցքի երկարությունը	$l_{\text{ар}} = l_{\text{СК}} - l_{\text{заб}}; \text{ մ}$	Կարճ գծային լիցքի քանակը	$Q = 0.785 \rho_{BB} d_{\text{ар}}^2 l_{\text{к.ар}};$ $կգ$

Առաջարկված գծային լիցքով պայթեցման եղանակը գրեթե նույնն է, ինչ եզրագծային պայթեցումն է, բայց ավելի պարզ և հեշտ իրականացնելի: Հորատանցքերի համեմատաբար մոտ դասավորության պատճառով եզրագծային պայթեցումը միշտ ուղեկցվում է հորատման գերաձախսով: Գծային լիցքով պայթեցման դեպքում հորատման գերաձախսը փոխհատուցվում է՝ ի հաշիվ առաջարկված զանգվածային պայթեցման նոր տեխնոլոգիայի, որը թույլ է տալիս մեծացնել հորատանցքային ցանցի պարամետրերը (շնորհիվ մեծ տրամագծով և բարձր փշրողա-

կանությամբ ՊՆ-ի լիցքի կիրառման), հետևաբար և նվազեցնել ապարի մանրացման վրա հորատման տեսակարար ծախսը:

Գծային լիցքով պայթեցումն իրականացվում է հետևյալ սկզբունքով:

Զանգվածային պայթեցման վերջին շարքից $b/2$ հեռավորության վրա հորատվում են վերջին շարքին զուգահեռ միմյանցից a_{sep} հեռավորության վրա l_{CK} և $2/3 l_{CK}$ երկարությամբ հորատանցքեր: Հորատանցքերի հատակային մասը լիցքավորվում է (համեմատաբար փոքր փշրողականություն ունեցող ՊՆ-ով) անֆոյով, իսկ վերին մասը՝ գծային լիցքերով: Գծային լիցքը ներկայացնում է հորատանցքի մեջ իջեցված պոլիէթիլենային խողովակ, որում տեղադրված են ՊՆ-անֆո և դետոնացիոն քուղ (նկ.2): Պոլիէթիլենային խողովակի տրամագիծը, որը հանդիսանում է գծային լիցքի տրամագիծը, ընտրվում է ըստ աղ. 3-ում բերված պայմանի՝ հորատանցքի և գծային լիցքի միջև ապահովելով օդային բացակ: Օդային բացակի առկայության դեպքում պայթեցման գազագոյացման արգասիքի ճնշումը դառնում է ավելի փոքր, քան ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ սեղմման, որի հետևանքով լիցքի շուրջը ապարների քայքայում զրեթե տեղի չի ունենում, բայց լինելով ապարի ամրության սահմանից մեծ՝ ըստ ձգման, հասցնում է առաջացնել գծային ճեղք, իսկ գազային ճնշման ներքո տեղի է ունենում լիցքի խոռոչի իզենոտրոպիկական զարգացում, հետևաբար և գծային ճեղքի լայնացում (նկ.3):



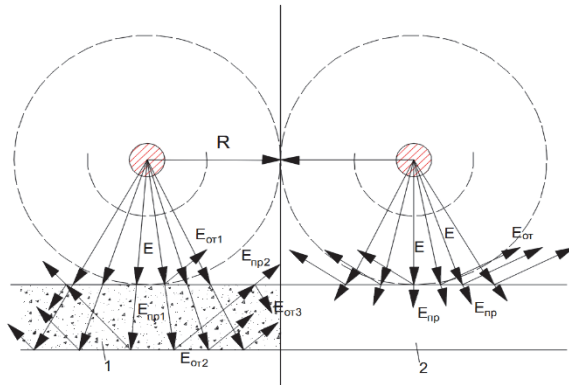
Նկ. 3. Գծային և հատակային լիցքի խոռոչի իզենոտրոպիկական զարգացման գործընթացը.

1 - ՊՆ-ի գծային լիցք, 2 - ՊՆ-ի հատակային լիցք

Գծային լիցքերի պայթեցումն իրականացվում է միաժամանակ, ակնթարթային գործողությամբ:

ՊՆ գծային լիցքով պայթեցման նպատակն է պայթեցվող բլոկում հանքատիճանի մերկացված մակերևույթին զուգահեռ ստեղծել նոր մերկացված մակերևույթ՝ գծային ճեղքի տեսքով: Գծային ճեղքի ստեղծումը կընդհատի պայթեցվող միջավայրի համասեռությունը նոր օդային միջավայրով:

Երկու ոչ համասեռ միջավայրերի բաժանման սահմանագծում ՊՆ-ի լիցքի էներգիայի քանակության բաշխվածությունն արտահայտվում է հետևյալ կերպ (նկ. 4):



Նկ.4. Պայթեցման էներգիայի բաշխվածության սխեման երկու ոչ համասեռ միջավայրերի բաժանման սահմանագծում. 1 - ապարի կտորներով լցված գծային ձեղք, 2 - օդային ձեղք

$$E = E_{\text{дп}} + \sum_{i=1}^n E_{\text{от}i} + \sum_{i=1}^n E_{\text{пр}i}, \text{ կՋ}, \quad (1)$$

որտեղ $E_{\text{дп}}$ -ը կարգավորված մանրացման վրա ծախսվող էներգիայի քանակն է, $E_{\text{от}}$ -ը՝ երկու միջավայրերի սահմանագծում անդրադարձման էներգիայի քանակը, $E_{\text{пр}}$ -ը՝ մի միջավայրից մյուսին անցման էներգիայի քանակը:

Կախված երկու անհամասեռ միջավայրերի ակուստիկ կոշտության տարբերությունից՝ անդրադարձման էներգիան փոփոխվում է մեծ սահմաններում:

Եթե գծային ձեղքը լցված է ավազակավային կամ խճային խառնուրդով, ապա պայթեցման էներգիայի 4,0...28%-ն է անդրադառնում, իսկ օդային և պայթեցվող միջավայրերի սահմանագծում անդրադարձման էներգիայի քանակը մոտ է 100%-ին:

Հետևում է, որ օդային ձեղքի ստեղծման դեպքում.

$$\sum_{i=1}^n E_{\text{пр}i} \rightarrow 0, \sum_{i=1}^n E_{\text{от}i} = E_{\text{от}}:$$

Հետևաբար՝

$$E = E_{\text{дп}} + E_{\text{от}} \text{ կՋ}: \quad (2)$$

Այսինքն՝ օդային ձեղքի ստեղծումը կհանդիսանա զանգվածային պայթեցման էներգիայի տարածումը կանխող էկրան և կսահմանափակի ձեղքառաջացման և պոկման գոտու սահմանների մեծացումը:

Հետազոտության արդյունքները: Առաջարկված պայթեցման տեխնոլոգիան կիրառվել է Արամուսի բացահանքում, ներկայացված ըստ Մ.Մ. Պրոտոդյակոնովի 10...12 ամրության, 2,65...2,80 մ/ս² ծավալային կշռով խոշոր բլոկավորված բա-

զալտներով: Փորձաարդյունաբերական պայթեցման արդյունքները՝ ըստ առաջարկված և գործող տեխնոլոգիաների, բերված են աղ. 3-ում: Պայթեցման արդյունքների գնահատման չափանիշ ընդունվել են պայթեցված զանգվածի արտաչափս կտորների ելքը և հանքաստիճանի շեյի հարթ մակերևույթի ապահովումը, որը բնորոշվում է հանքաստիճանի թեքման կայունությամբ և գնահատվում է պայթեցվող բլոկի ողջ երկարությամբ հանքաստիճանի թեքման անկյան մեծության փոփոխման միջակայքով:

Պայթեցման վերլուծության արդյունքները՝ ըստ առաջարկված տեխնոլոգիայի, թույլ են տալիս եզրակացնել, որ հանքաստիճանի թեքման կայունության ապահովումը համարվում է պայթեցվող ապարների մանրացման և փլվածքի ձևավորման հիմնական գործոն: Այն նվազեցնում է պայթեցված զանգվածում արտաչափս կտորների ելքը 3,5...5 անգամ և հնարավորություն է ստեղծում՝ ստանալու պայթեցված զանգվածի կոմպակտ փլվածք:

Աղյուսակ 3

Առաջարկված և գործող պայթեցման ցուցանիշները

Զանգվածային պայթեցման պարմետրերը			
Ցուցանիշների անվանումը	Չափ. միավ.	Պայթեցման տեխնոլոգիան	
		գործող	առաջարկված
1	2	3	4
Հանքաստիճանի բարձրությունը	մ	10	10
Հանքաստիճանի թեքման անկյունը	աստ	78	78
Հորատանցքի տրամագիծը	մ	0,115	0,140
Կիրառվող ՊՆ-ի տիպը		Անֆո	Արմեքս
Հանքաստիճանի հիմքի դիմադրության գիծը	մ	3,3	5,0
Հորատացքերի միջև եղած հեռավորությունը	մ	2,2	3,5
Հորատանցքային շարքերի միջև եղած հեռավորությունը	մ	2,4	3,7
Հորատանցքերի խորությունը	մ	11,0	11,0
ՊՆ-ի քանակը հորատանցքում	կգ	64,6	125,5
ՊՆ-ի լիցքի երկարությունը	մ	7,6	6,8
ՊՆ-ի տեսակարար ծախսը	կգ/մ ³	0,89	
Գծային լիցքի պայթեցման պարամետրերը			
Գծային լիցքի տրամագիծը	մ		0,042
Գծային լիցքերի հեռավորությունը	մ		1,0
Գերհորատման չափը	մ		0,9

Աղյուսակ 3-ի շարունակությունը

1	2	3	4
Հատակային լիցքի երկարությունը	մ		1,2
Խցանյութի երկարությունը	մ		0,8
Գծային լիցքի երկարությունը	մ		7,0
Կարճ գծային լիցքի երկարությունը	մ		5,5
Գծային լիցքի քանակը	կգ		8,5
Հատակային լիցքի քանակը	կգ		15,0
Կարճ գծային լիցքի քանակը	կգ		6,2
ՊՆ-ի տեսակարար ծախսը	կգ/մ ³		0,98
Պայթեցման սխեման	Մեղանաձև		
Արտաչափս կտորների ելքը պայթեցված զանգվածում	%	15...18	3...5
Հանքաստիճանի թեքման անկյան փոփոխության միջակայքը սահմանված մակերեսի վրա	աստ	62...85	75...80
Պայթեցված զանգվածի փլվածքի լայնքը	մ	38,5	30,5
Պայթեցված զանգվածի փլվածքի բարձրությունը	մ	6,3	8,2

Եզրակացություն.

1. Հանքաստիճանի թեքման կայունության ապահովումը համարվում է պայթեցվող ապարների մանրացման և փլվածքի ձևավորման հիմնական գործոն: Այն նվազեցնում է պայթեցված զանգվածում արտաչափս կտորների ելքը 3.5...5 անգամ և հնարավորություն է ստեղծում՝ ստանալու պայթեցված զանգվածի կոմպակտ փլվածք:

2. Հանքաստիճանի թեքման կայունության և հանքաստիճանի շեփի հարթ մակերևույթի ապահովումը նպատակահարմար է միայն մեծ տրամագծով և բարձր փշրողականությամբ ՊՆ-ի լիցքի և գծային լիցքի համատեղ պայթեցման դեպքում, որը թույլ է տալիս մեծացնել հորատանցքային ցանցի պարամետրերը, հետևաբար և նվազեցնել ապարի մանրացման վրա հորատման տեսակարար ծախսը:

3. Առաջարկված զանգվածային պայթեցման տեխնոլոգիայի կիրառումը փոխհատուցում է գծային հորատանցքերի հորատման գերաժախսը՝ շնորհիվ զանգվածային պայթեցման հորատանցքային մեծ ցանցի և գծային պայթեցման կարճ հորատանցքերի կիրառման:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Воробьев В.Д., Перегудов В.В.** Взрывные работы в скальных породах. — Киев: Наукова думка, 1984. -233 с.

2. **Угольников В.К., Симонов П.С., Угольников Н.В.** Рациональная область применения различных типов ВВ и конструкций скважинных зарядов// Межвуз. сб. науч. тр. - Магнитогорск: МГТУ, 2006. - С. 347-351.
3. **Агаронян Г.А., Агаронян А.Г.** Регулирование степени дробления взорванной горной массы при разработке месторождений нерудных строительных материалов // Известия НАН РА и НПУА. Сер. Техн. наук.- 2019. – Т. 72, N1. - С. 26-35.
4. **Крюков Г.М., Докутович М.И., Жаровонко С.Н.** Степень дробления и выхода негабарита при взрывном рыхлении горных пород на карьерах //Горный информационно-аналитический бюллетень. -2011.- N4.- С. 347-351.
5. **Ефремов Э.И.** Управление размерами зон переизмельчения горных пород при их взрывном разрушении //Вестник КТУ: Сб. науч. Праць.-Вып.18.- Кривой Рог, 2007. - С. 36-39.
6. **Кутузов Б.Н., Андриевский А.П.** Новая теория и новые технологии разрушения горных пород удлиненными зарядами взрывчатых веществ.- Новосибирск: Наука, 2002. - 96с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 15.06.2021:

Г.А. АГАРОНЯН

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ЭНЕРГИИ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА КАРЬЕРАХ

Эффективность взрывных работ на карьерах характеризуется выходом негабарита, проработкой подошвы уступа, параметром развала взорванной горной массы и размером структурного нарушения законтурной части горного массива. При производстве массовых взрывов на карьерах за контуром взрывающего блока всегда нарушается естественная структура горного массива, что является очагом выхода негабарита, отрицательно влияет на устойчивость откосов уступа, а также затрудняет регулирование параметров развала взорванной массы.

Работа посвящена разработке эффективных методов ведения взрывных работ по ограничению зон трещиноватости и зон откола массива горных пород за контуром взрывающего блока. Разработан новый комплексный метод уступной отбойки путем применения скважинных зарядов большого диаметра и взрывчатых веществ с большой детонацией, а также взрыванием линейных зарядов. Предложенный метод отбойки позволяет ограничить радиус зоны трещинообразования и зоны откола и, следовательно, обеспечить устойчивость откоса уступа, а также получение гладкой поверхности уступа, что исключает выход негабарита и создает возможность получить развал горной массы заданных параметров.

Ключевые слова: уступ, взорванная масса, зона трещинообразования, обнаженная поверхность, заряд взрывчатого вещества.

G.A. AHARONYAN

**A NEW TECHNOLOGY FOR REGULATING ACTIONS OF
ENERGY OF MASS EXPLOSION AT THE OPEN PITS**

The efficiency of blasting operations in open pits is characterized by the output of oversized material, the study of the foot of the ledge, the parameter of the collapse of the exploded rock mass and the size of the structural violation of the legit part of the mountain range. During the production of mass explosions in an open pit, the natural structure of the rock mass is always violated behind the contour of the exploding block, which is the source of the oversized output, negatively affects the stability of the ledge slopes, and also makes it difficult to regulate the parameters of the collapse of the exploded mass.

The work is devoted to the development of effective methods for conducting blasting operations to limit the zones of fracturing and zones of rock mass breakaway behind the contour of the exploding block. A new complex method of ledge breaking has been developed by using large-diameter borehole charges and explosives with greater detonation, as well as exploding linear charges. The proposed method of rebounding allows to limit the radius of the crack formation and the breakaway zones, therefore, to ensure the stability of the slope of the ledge, as well as to obtain a smooth surface of the ledge, which eliminates the exit of oversized rock and makes it possible to obtain the collapse of the rock mass of the specified parameters.

Keywords: ledge, exploded mass, crack formation zone, exposed surface, explosive charge.

Մ.Ք. ԲԱՂՂԱՍԱՐՅԱՆ

ԴԻՆԱՄԻԿ ԲԵՌՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄՈՂԵԼ

Պարկ-Գորևի հավասարումների համակարգի կիրառմամբ MATLAB/SIMULINK ծրագրային միջավայրում գնահատվել են էլեկտրաբանեցման սինքրոն շարժիչի ստատորի, գրգռման և հանգստացնող փաթույթների հոսանքների, շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի փոփոխությունները շարժիչի սնման լարման և բեռի դիմադրող մոմենտի տարբեր արժեքների դեպքում:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաբանեցման շարժիչ, բեռի դիմադրող մոմենտ, աշխատանքային ռեժիմ:

Ներածություն: Արտադրական ձեռնարկություններում օգտագործվող տեխնոլոգիական մեխանիզմները շահագործման մեջ են դրվում էլեկտրաբանեցման շարժիչների միջոցով: Որոշ տեխնոլոգիական մեխանիզմների ստեղծած բեռի դիմադրող մոմենտը պարբերաբար փոփոխվում է, ինչը առանձնակի դժվարություններ է առաջացնում դրանց էլեկտրաբանեցման շարժիչների համար: Հարկ է նշել նաև, որ արդյունաբերական ձեռնարկություններում, կախված օգտագործվող մեծաթիվ էլեկտրատեխնիկական սարքերի աշխատանքային բնութագրերից, էլեկտրաբանեցման շարժիչների սնման լարումները կարող են շեղվել իրենց անվանական արժեքից: Ներկայացվածից հետևում է, որ պատահականորեն փոփոխվող բեռի և սնման լարման տակ աշխատող շարժիչի աշխատանքային ռեժիմները չեն կարող ապահովել տեխնոլոգիական գործընթացի կայուն և անխափան աշխատանքը: Ուստի անհրաժեշտություն է առաջացել հետազոտել էլեկտրաբանեցման շարժիչի բնութագրերը տարբեր աշխատանքային ռեժիմներում:

Հայտնի են էլեկտրաբանեցման շարժիչների բնութագրերի հետազոտման վերաբերյալ տարբեր աշխատություններ: Դրանցից կարելի է առանձնացնել մեխանիզմին ամրակցված պսակային ժանանվի և էլեկտրաշարժիչի լիսեռին միացված առանցքակալային ժանանվի շրջանցման անկյան, արագության և արագացման փոփոխությունների մոդելավորման միջոցով էլեկտրաբանեցման շարժիչի վիճակի հետազոտմանը նվիրված աշխատանքները [1, 2]:

Առանձին հետաքրքրություն է ներկայացնում [3] աշխատությունը: Դրանում մոդելավորել և վերլուծել է երկու առանձին եռաֆազ շարժիչներով էլեկտրաբանեց-

ման համակարգը: Շարժիչների ստատորի փաթույթները իրար միացված են հատուկ սխեմայով, իսկ լիսեռները արագության ռեդուկտորի միջոցով մեխանիկորեն միացված են ընդհանուր բեռի լիսեռին: Մաթեմատիկական մոդելը մանրամասն մշակված է, և համակարգը մոդելավորվում է MATLAB/SIMULINK- ի միջոցով: Հիմնավորվել է, որ երկու շարժիչների համապատասխան լիսեռների վրա հավասարակշռված բեռի դեպքում երկու շարժիչների դինամիկ պահվածքները նույնական են:

[4] աշխատությունում Պարկ-Գորնի հավասարումների հիման վրա մշակված մաթեմատիկական մոդելի միջոցով կատարվել է ասիմետրիկ կարճ միացումով երկառանգք էլեկտրաբանեցումով ոչ բացահայտ բևեռներով սինքրոն գեներատորի օդի բացթողմամբ մագնիսական դաշտի հետազոտություն:

Հայտնի աշխատությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ դրանցում դիտարկվում են առանձին մասնակի հարցեր, ինչը հնարավորություն չի տալիս՝ ամբողջական պատկերացում կազմելու շահագործման ժամանակ էլեկտրաբանեցման համակարգերի աշխատանքային բնութագրերի փոփոխման վերաբերյալ:

Աշխատանքի նպատակն է հետազոտել փոփոխվող բեռով և սնման լարումով աշխատող էլեկտրաբանեցման շարժիչի աշխատանքային բնութագրերի փոփոխությունը նրա շահագործման ընթացքում:

Հետազոտման մեթոդը: Խնդրի լուծման համար օգտագործվել են Պարկ-Գորնի դիֆերենցիալ հավասարումները [5- 7]:

$$\begin{cases} u_d = p\psi_d + (1 + s)\psi_q + i_d R, \\ u_q = p\psi_q - (1 + s)\psi_d + i_q R, \\ u_f = p\psi_f + i_f R_f, \\ 0 = p\psi_{Dd} + i_{Dd} R_{Dd}, \\ 0 = p\psi_{Dq} + i_{Dq} R_{Dq}, \\ T \frac{ds}{dt} = m - m_c, \end{cases} \quad (1)$$

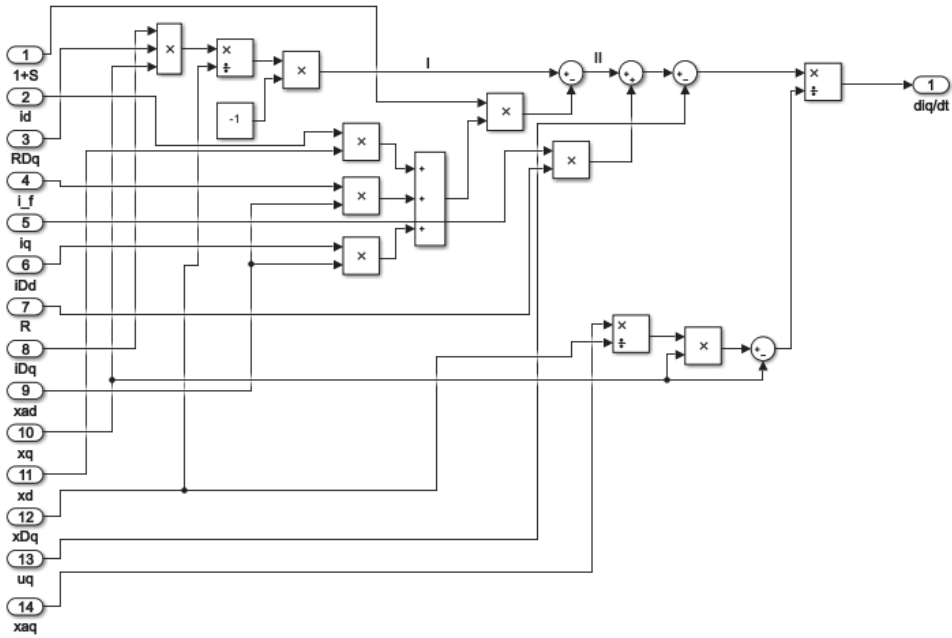
որտեղ u_d - ն, u_q - ն ստատորի փաթույթի սեղմականների լարումներն են՝ ըստ երկայանական և լայնական առանցքների, i_d - ն, i_q - ն՝ ստատորի փաթույթի հոսանքները՝ ըստ երկայանական և լայնական առանցքների, u_f - ը, i_f - ը՝ գրգռման լարումը և հոսանքը, S - ը՝ սահքը, i_{Dd} - ն, i_{Dq} - ն՝ հանգստացնող փաթույթով հոսող հոսանքները՝ ըստ երկայանական և լայնական առանցքների, ψ_d - ն, ψ_q - ն՝

ստատորի փաթույթի հոսքակցումները՝ ըստ երկայնական և լայնական առանցքների, ψ_f - ը՝ գրգռման փաթույթի հոսքակցումը, ψ_{Dd} - ն, ψ_{Dq} - ն՝ հանգստացնող փաթույթի հոսքակցումները՝ ըստ երկայնական և լայնական առանցքների, R - ը, R_f - ը՝ ստատորի ֆազի և գրգռման փաթույթների ակտիվ դիմադրությունները, R_{Dd} -ն, R_{Dq} -ն՝ հանգստացնող փաթույթների ակտիվ դիմադրությունները՝ ըստ երկայնական և լայնական առանցքների, T - ն՝ իներցիայի հաստատունը, m_c - ը՝ տեխնոլոգիական բեռի մոմենտի հարաբերական մեծությունը, θ - ն՝ ցանցի լարման վեկտորով և գրգռման փաթույթով ստատորի փաթույթում ինդուկցված էլշուի վեկտորի կազմած անկյունը, ψ_d - ն, ψ_q - ն, ψ_f - ը, ψ_{Dd} - ն, ψ_{Dq} - ն որոշվում են՝

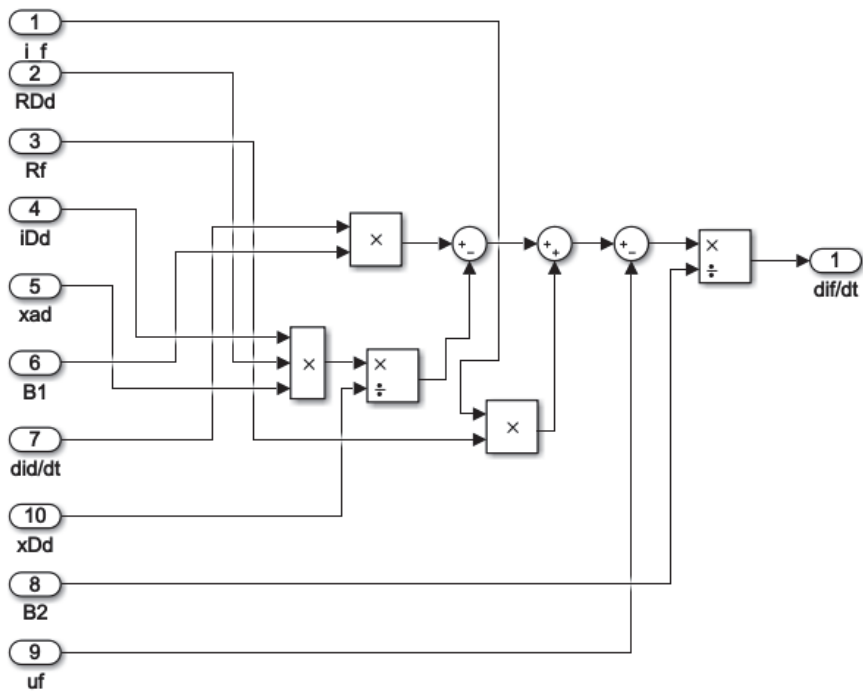
$$\begin{cases} \psi_d = \dot{I}_d X_d + \dot{I}_f X_{ad} + \dot{I}_{Dd} X_{ad}, \\ \psi_q = \dot{I}_q X_q + \dot{I}_{Dq} X_q, \\ \psi_f = \dot{I}_d X_{ad} + \dot{I}_f X_f + \dot{I}_{Dd} X_{ad}, \\ \psi_{Dd} = \dot{I}_d X_{ad} + \dot{I}_f X_{ad} + \dot{I}_{Dd} X_{Dd}, \\ \psi_{Dq} = \dot{I}_q X_{aq} + \dot{I}_{Dq} X_{Dq}, \end{cases} \quad (2)$$

որտեղ $x_d = L_d$ - ն, $x_q = L_q$ - ն ստատորի փաթույթի ինդուկտիվ դիմադրություններն են երկայնական և լայնական առանցքներով, $x_f = L_f$ - ը՝ գրգռման փաթույթի ինդուկտիվ դիմադրությունը, $x_{Dd} = L_{Dd}$, $x_{Dq} = L_{Dq}$ - ն՝ հանգստացնող փաթույթի ինդուկտիվ դիմադրությունները երկայնական և լայնական առանցքներով, x_{ad} , x_{aq} - ն՝ շարժիչի փաթույթի փոխինդուկտիվ դիմադրությունները երկայնական և լայնական առանցքներով:

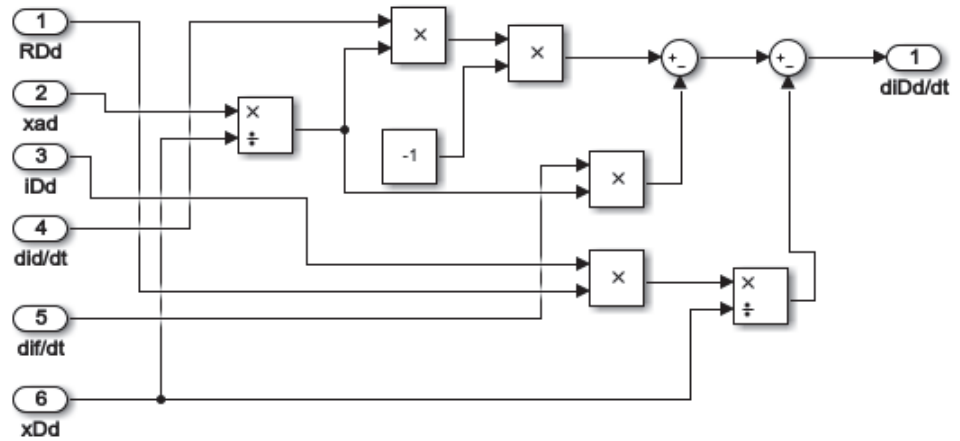
Հետազոտության արդյունքները: (1) և (2) հավասարումների համակարգերը ձևափոխելով՝ լուծվել է խնդիրը MATLAB/SIMULINK ծրագրային միջավայրում: Նկ. 1.4-ում համապատասխանաբար բերված են iq, if, iDd և iDq հոսանքների ժամանակային փոփոխության որոշման սխեմաները:



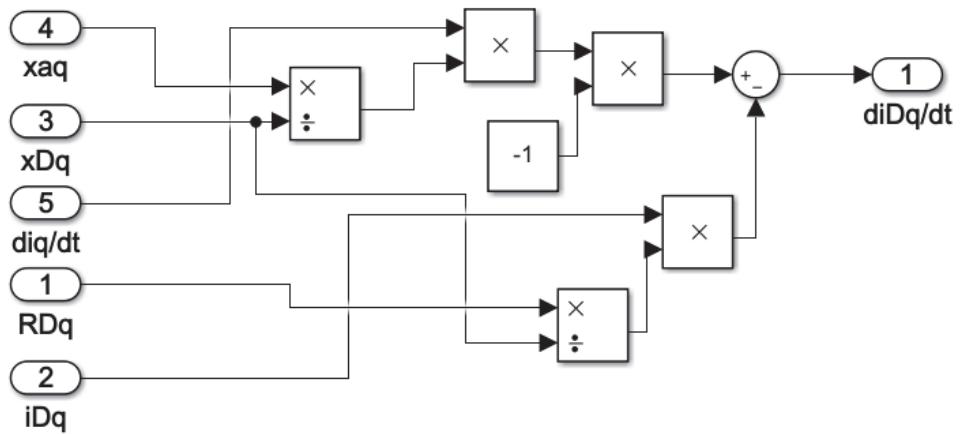
Նկ. 1. i_q հոսանքի փոփոխության որոշման սխեման



Նկ. 2. i_f հոսանքի փոփոխության որոշման սխեման



Նկ. 3. i_{Dd} հոսանքի փոփոխության որոշման սխեման

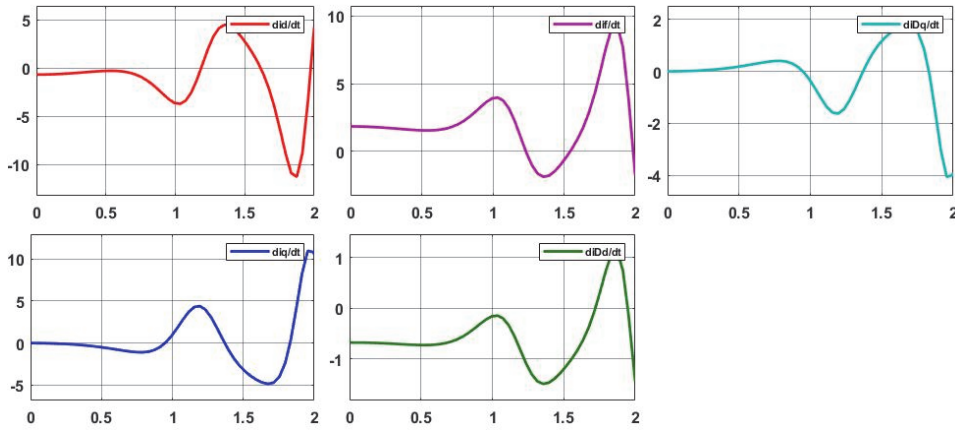


Նկ. 4. i_{Dq} հոսանքի փոփոխության որոշման սխեման

Ուսումնասիրությունները կատարվել են շարժիչի լարման և բեռի դիմադրող մոմենտի անվանական, անվանականից մեծ և փոքր արժեքների դեպքում:

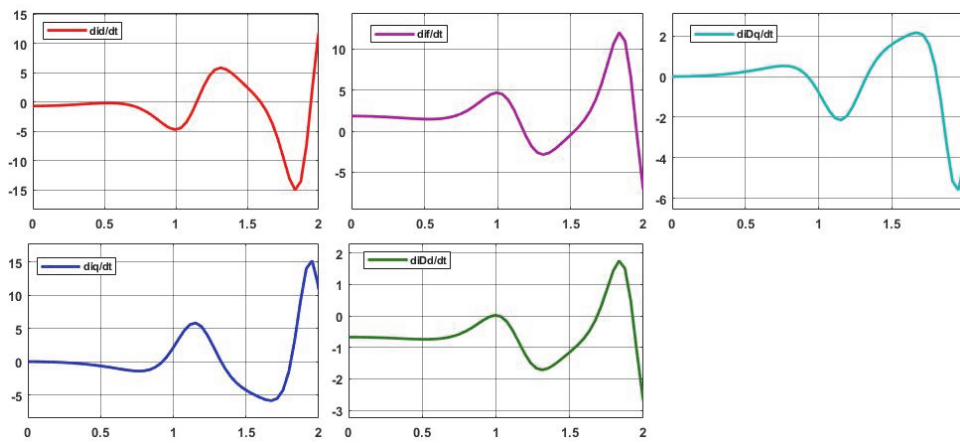
Նկ. 5 - 7-ում ներկայացված են ստատորի, գրգռման և հանգստացնող փաթույթների հոսանքների ժամանակային փոփոխությունները բեռի դիմադրող մոմենտի հաստատված և ցանցի սնման լարման անվանականից մեծ և փոքր արժեքների դեպքում:

Նկ. 5 - 7-ից երևում է, որ հոսանքի արժեքների փոփոխման առավելագույն և նվազագույն արժեքները, սնման լարման անվանականից մեծ և փոքր արժեքների դեպքում, համապատասխանաբար մեծանում և փոքրանում են, միաժամանակ առավելագույն արժեքներին հասնելու ժամանակները համապատասխանաբար փոքրանում և մեծանում են:



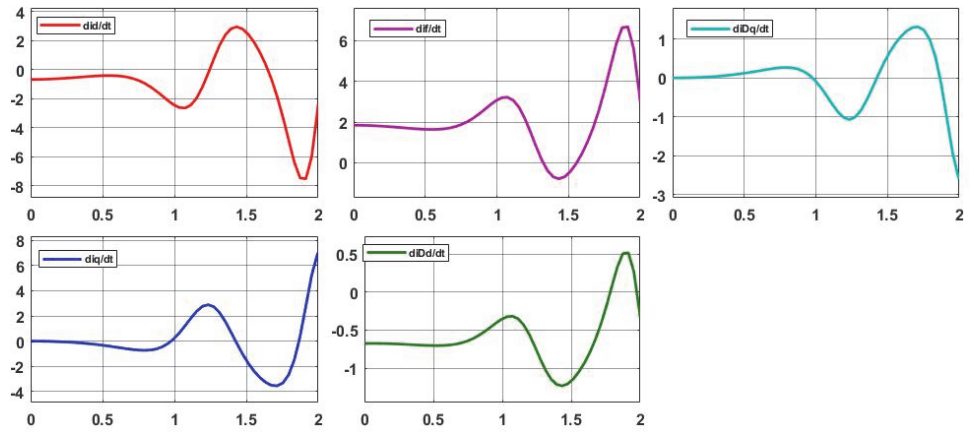
Նկ. 5. i_d , i_q , i_f , i_{Dd} , i_{Dq} հոսանքների ժամանակային փոփոխությունները

$u_m = 1$, $m_c = 1$ դեպքում



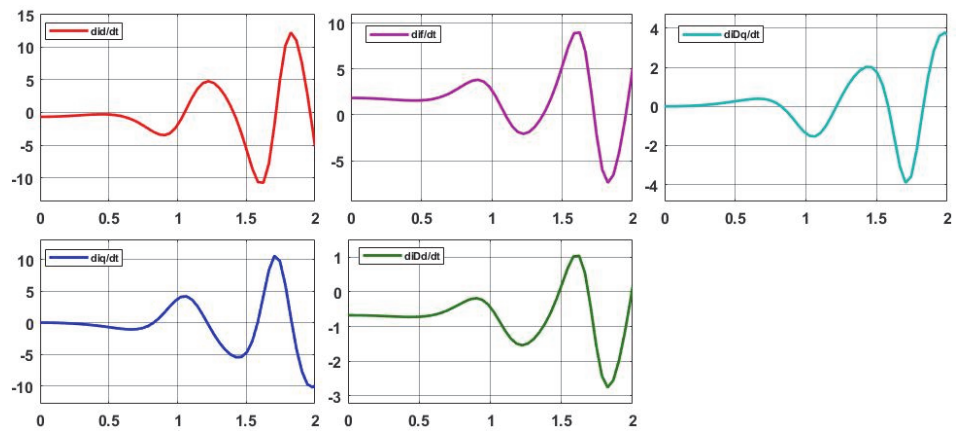
Նկ. 6. i_d , i_q , i_f , i_{Dd} , i_{Dq} հոսանքների ժամանակային փոփոխությունները $u_m = 1,35$,

$m_c = 1$ դեպքում

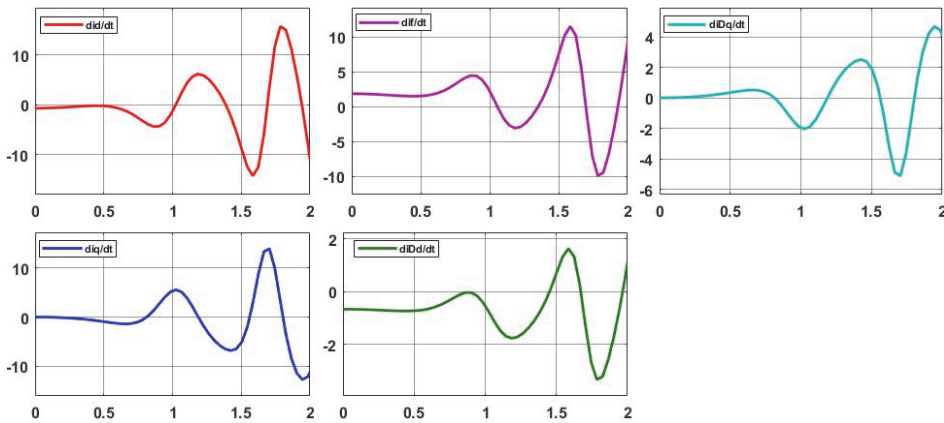


Նկ. 7. i_d , i_q , i_f , i_{Dd} , i_{Dq} հոսանքների ժամանակային փոփոխությունները $u_m = 0,65$, $m_c = 1$ դեպքում

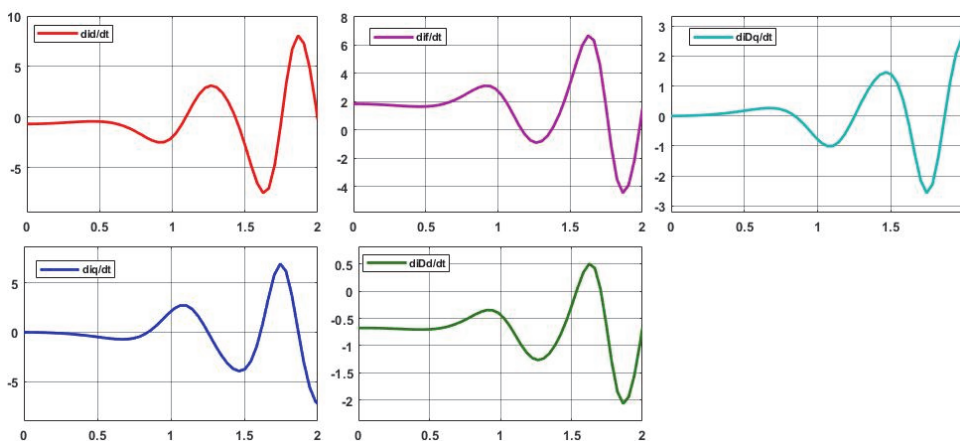
Նկ. 8-10-ում ներկայացված են անվանական լարման և բեռի մոմենտի հաստատված արժեքից մեծ և փոքր արժեքների դեպքում հոսանքների ժամանակային փոփոխությունները:



Նկ. 8. i_d , i_q , i_f , i_{Dd} , i_{Dq} հոսանքների և սահքի ժամանակային փոփոխությունները $u_m = 1$, $m_c = 1,4$ դեպքում



Նկ. 9. i_d , i_q , i_f , i_{Dd} , i_{Dq} հոսանքների և սահքի ժամանակային փոփոխությունները
 $u_m = 1,35$, $m_c = 1,4$ դեպքում

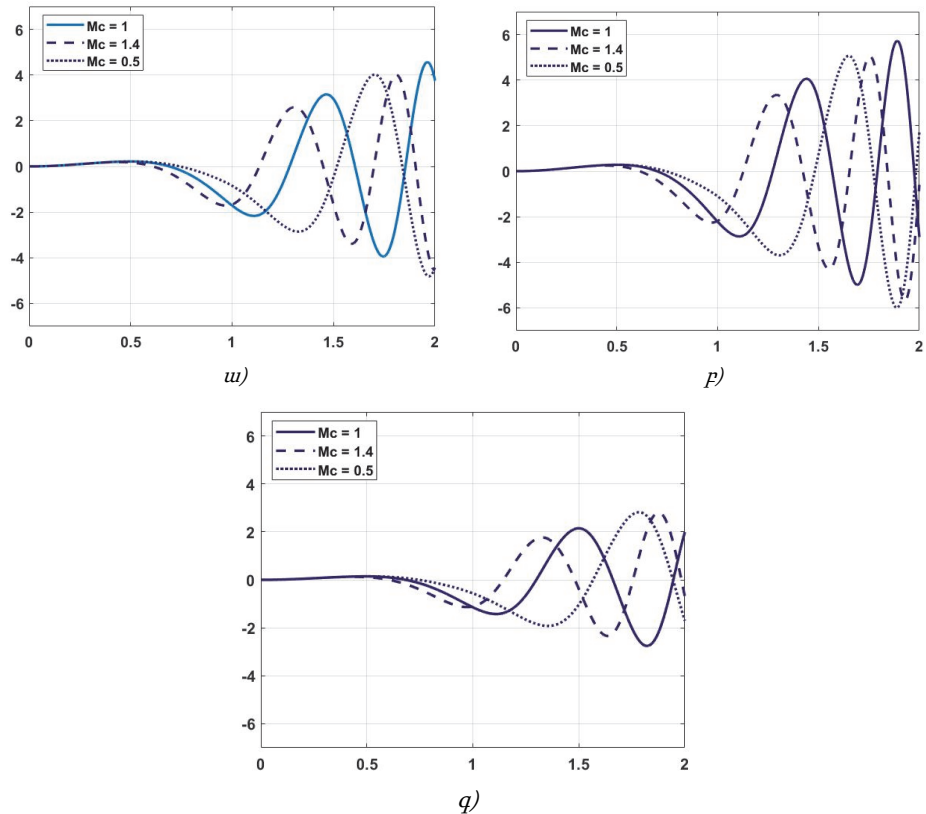


Նկ. 10. i_d , i_q , i_f , i_{Dd} , i_{Dq} հոսանքների և սահքի ժամանակային փոփոխությունները
 $u_m = 0,65$, $m_c = 1,4$ դեպքում

Դիմադրող մոմենտի մեծացման դեպքում շարժիչի ստատորի հոսանքների փոփոխման հաճախությունը նույնպես մեծանում է:

Ստացվել են շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի ժամանակային փոփոխությունները՝ կախված բեռի դիմադրող մոմենտից և սնման լարումից (նկ.11):

Նկ. 11-ից հետևում է, որ բեռի դիմադրող մոմենտի անվանական արժեքի 40%-ի գերազանցման դեպքում շարժիչի մոմենտի փոփոխման պիկերի արժեքները փոքրանում են, իսկ դրանց առաջացման հաճախությունը՝ մեծանում:



Նկ. 11. M_d մոմենտի ժամանակային փոփոխությունները. ա) $u_m = 1,0$, բ) $u_m = 1,35$, գ) $u_m = 0,65$

Եզրակացություն: MATLAB/SIMULINK ծրագրային միջավայրում կատարված հետազոտությունները հաստատում են տեխնոլոգիական մեխանիզմների էլեկտրաբանեցման շարժիչների աշխատանքային բնութագրերի հսկման անհրաժեշտությունը՝ դրանց ավտոմատացված կառավարման արդյունավետության մեծացման համար:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ 21T-2B195 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Baghdasaryan M.K.** Methods of Research and Optimization of the Mineral Raw Material Grinding Proces.- NOVAsciencepublishers, USA, 2019. - 306 p.
2. **Багдасарян М.К., Алавердян С.С.** Математическая модель для исследования электромеханической системы мельница-двигатель // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН.– 2013. - Т.LXVI, №2. - С.148-155.

3. **Onwuka I.K., Diyokey G.C., Obe E.S.** Dynamic Analysis of Series-Connected and Mechanically-Coupled Twin Synchronous Motor Drive // Nigerian journal of TECHNOLOGICAL development.- 2020.- Vol. 17, N.1.-P 33-39.
4. **Toshev S.E., Nurali Pirmatov, Haydarov S.D., Difuza Yakubova.** Analysis of magnetic field in the air gap not expressly pole synchronous generator excitation biaxially at asymmetrical short circuit // European Science Review.- 2017.- P.134-136.
5. **Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А.** Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности. – М.: Высшая школа, 2002. -511 с.
6. **Копылов И.П.** Электрические машины: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа; Логос, 2006. – 680 с.
7. **Важнов А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока. - Л.: Энергия, 1980. - 256 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 31.08.2021:

М.К. БАГДАСАРЯН

МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Используя систему уравнений Парка-Гора в программной среде MATLAB / SIMULINK, дана оценка изменения токов статора, возбуждения и успокаивающих обмоток, а также электромагнитного момента двигателя синхронного электроприводного двигателя для различных значений напряжения питания и момента сопротивления нагрузки.

Ключевые слова: электроприводной двигатель, момент сопротивления нагрузки, рабочий режим.

M.K. BAGHDASARYAN

A MODEL FOR STUDYING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ELECTRIC DRIVE MOTOR WITH A DYNAMIC LOAD

Using the Park-Gor system of equations in the MATLAB / SIMULINK software environment, the change in the stator currents, excitation and damping windings, as well as the electromagnetic torque of a synchronous electric drive motor for various values of the supply voltage and load resistance torque are estimated.

Keywords: electric drive motor, load resistance moment, operating mode.

Կ.Հ. ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ, Մ.Զ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Մ.Գ. ԲԱԿՈՒՆՑ
ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՊՐՈՑԵՍՏԻՎ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՈՒՄԸ ԴՐԱՆՑ
ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿ ՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐԻ ՎՐԱ

Դիտարկվում են տարածությունների այնպիսի պրոյեկտիվ ձևափոխությունների սինթեզման հարցեր, որոնք թույլ են տալիս տարածության անսահմանափակ մասը արտապատկերել նրա երկկողմանի սահմանափակ տիրույթի վրա: Ուսումնասիրվում են ուղղի կետերի բազմության պրոյեկտիվ ձևափոխությունների կոնստրուկտիվ հատկությունները, և դրանց հիման վրա սինթեզվում են երկչափ տարածության (հարթության) որոշ ձևափոխություններ, որոնք ողջ կիսահարթությունը արտապատկերում են նրա սահմանափակ տիրույթի վրա:

Առանցքային բառեր. պրոյեկտիվ արտապատկերում, ձևափոխություն, ինվոլյուցիա, կոլինեացիա, անիսկական տարրեր, կրկնակի տարրեր, հոմոլոգիա, ինվերսիա:

Ներածություն: Գրաֆիկական մոդելավորման ժամանակակից համակարգչային տեխնոլոգիայի հիմքում դրված է ողջ եռաչափ տարածության փոխարինումը դրա թվային մոդելով՝ համակարգչային վիրտուալ տարածությամբ: Սա թույլ է տալիս նախագծման ավանդական միջոցներից անցնել համակարգչային, ինչը ընձեռնում է նոր տեխնոլոգիական հնարավորություններ: Այս տեխնոլոգիայի կարևորագույն առանձնահատկություններից է մոդելների երկրաչափական հատկությունների ավտոմատացված ձևափոխությունների հնարավորությունը:

Եռաչափ գրաֆիկական մոդելավորման համակարգչային տեխնոլոգիան, մասնավորապես, թույլ է տալիս ավտոմատացնել մարդու գործունեությունը այնպիսի բնագավառում, որտեղ անհրաժեշտ է լինում ստեղծել եռաչափ իրականության ծավալային (ռելիեֆային) կերպարը՝ այն տեղավորելով սահմանափակ տարածության մեջ: Այդպիսի կերպարներից են ռելիեֆային հեռանկարները, օրինակ, հարթաքանդակները և բարձրաքանդակները:

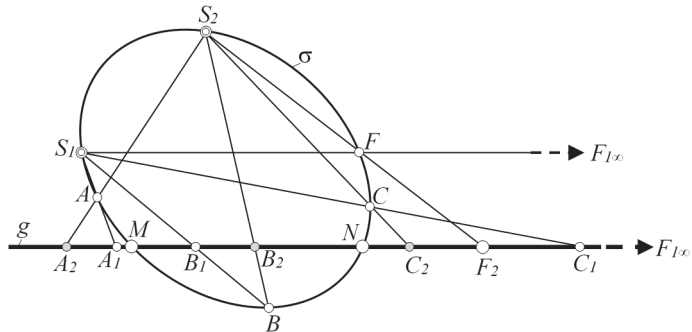
Ռելիեֆային հեռանկարի երկրաչափական մոդելավորման համակարգչային տեխնոլոգիայի մշակումն ունի կարևոր գործնական նշանակություն տարբեր բնագավառներում, մասնավորապես՝ կիրառական արվեստում, և ճարտարապետության մեջ բազմաթիվ են այն դեպքերը, երբ անհրաժեշտ է լինում իրական դրվագների ակնառու պատկերման նպատակով ստեղծել ռելիեֆներ: Եռաչափ

իրականության ռելիեֆային պատկերները կիրառվում են թատրոնում, ինչպես նաև կինոնկարահանումների ժամանակ, երբ պետք է ստեղծել իրական բնապատկերի այնպիսի դեկորացիա, որը կտեղավորվի բեմի սահմանափակ տարածքում, սակայն կստեղծի իրական, անսահմանափակ բնապատկերի տպավորություն:

Այս խնդիրների լուծման համար անհրաժեշտ է կիրառել տարածության այս կամ այն արտապատկերումը (ձևափոխությունը) այդ նույն տարածության սահմանափակ շերտի վրա: Ի տարբերություն հարթ գրաֆիկական մոդելավորման՝ ռելիեֆային մոդելավորման երկրաչափական օրինաչափությունները դեռևս լիակատար ուսումնասիրված չեն, որոնցով հնարավոր կլինե՞ր մշակել մոդելավորման համակարգչային տեխնոլոգիան: Ուստի մեր աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել երկրաչափական այն ձևափոխությունները, որոնք թույլ կտան տարածությունն արտապատկերել դրա սահմանափակ տիրույթի վրա: Դրանք կարող են հիմք ծառայել ռելիեֆային հեռանկարի երկրաչափական մոդելավորման ալգորիթմների մշակման և դրանց կառուցման գործընթացի ավտոմատացման համար: Այս խնդիրն ունի գործնական կարևոր նշանակություն, քանի որ ռելիեֆային կերպարի համակարգչային մոդելի առկայությունը թույլ կտա ավտոմատացնել ռելիեֆային պատկեր պարունակող օբյեկտների նախագծման գործընթացը և կազմակերպել դրանց արտադրությունը թվային կառավարմամբ հաստոցների (ինչպես նաև եռաչափ տպիչների) գործարկմամբ:

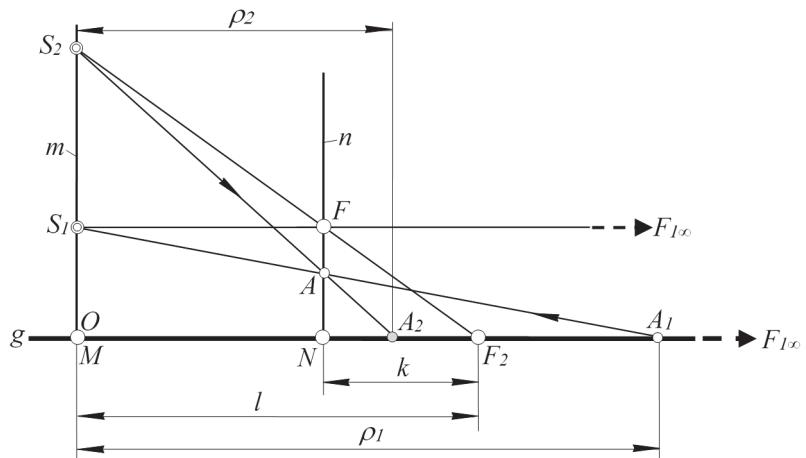
Ուղղի ձևափոխությունները: Աշխատանքում դիտարկվում է դրված խնդրի լուծման մի տարբերակ՝ հիմնված պրոյեկտիվ ձևափոխությունների վրա, որոնք տարածության անիսկական (անվերջ հեռու) տարրերը համապատասխանության մեջ են դնում սովորական տարրերի հետ:

Ուղղի պրոյեկտիվ ձևափոխությունը որոշվում է որպես երկրորդ կարգի գծի կետերի զույգ պրոյեկցիաների համապատասխանություն, երբ պրոյեկտման կենտրոնները պատկանում են այդ գծին [1-3]: Այսինքն, ուղղի պրոյեկտիվ ձևափոխությունը կարելի է դիտել որպես երկրորդ կարգի գծի բինար մոդել այդ գծի վրա: Նկ. 1-ում ցույց է տրված ***g*** ուղղի համապատասխան կետերի կառուցումը երկրորդ կարգի ***σ*** գծի միջոցով, որի վրա են դասավորված պրոյեկտման ***S₁*** և ***S₂*** կենտրոնները: Ակնհայտ է, որ ***σ*** գծի և ***g*** ուղղի հատման ***M*** և ***N*** կետերը կլինեն ձևափոխության հնարավոր երկու *կրկնակի* (անշարժ) կետերը: Նկարում կառուցված է ուղղի անիսկական ***F_{1∞}*** կետի համապատասխան ***F₂*** կետը, որը կոչվում է ձևափոխության *սահմանային կետ*: Ուղղի պրոյեկտիվ ձևափոխությունը միարժեքորեն առաջադրվում է, եթե նախապես տրված են երեք զույգ համապատասխան կետեր:



Նկ. 1. Ուղղի պրոյեկտիվ ձևափոխությունը

Մեր առջև դրված խնդրի լուծման համար անհրաժեշտ է ձևափոխությունն առաջադրել կրկնակի M , N կետերի և սահմանային F_2 կետի միջոցով (նկ. 2): Պարզվում է [4,5], որ այս դեպքում σ գիծը կարելի է տրոհել երկու՝ m և n ուղիղների, որոնցից առաջինն անցնում է M կետով, իսկ մյուսը՝ N կետով: Պրոյեկտման $S_1 \in m$ կենտրոնը կարելի է ընտրել կամայականորեն: $F \in n$ կետը կդասավորվի $S_1 F_{1\infty} \parallel g$ ուղղի վրա, իսկ $F_2 F$ և m ուղիղների հատման կետը կլինի պրոյեկտման S_2 կենտրոնը: Յուրաքանչյուր $A \in n$ կետի A_1 և A_2 պրոյեկցիաները կլինեն g ուղղի վրա հաստատված ձևափոխության համապատասխան կետերը:



Նկ. 2. Համապատասխան կետերի կապը

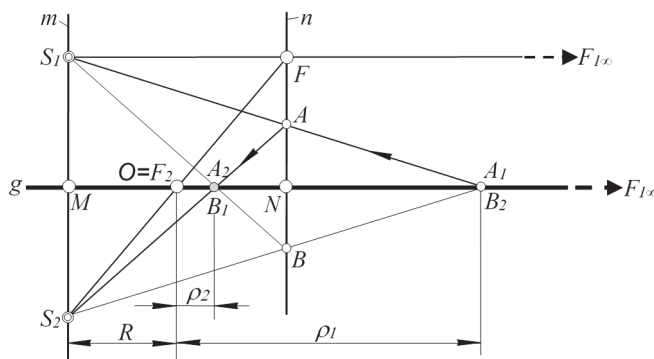
$O=M$ սկզբնակետի նկատմամբ ձևափոխության համապատասխան A_1 և A_2 կետերի կոորդինատները նշանակենք ρ_1 և ρ_2 : $OS_1 A_1$ և $N A A_1$ եռանկյունների, $OS_2 F_2$ և $N F F_2$ եռանկյունների, ինչպես նաև $OS_2 A_2$ և $N A A_2$ եռանկյունների նմանությունից ստանում ենք վերոհիշյալ կոորդինատների կապի հետևյալ արտահայտությունը՝

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 l}{\rho_1 + k} \text{ և } \rho_1 = \frac{k \rho_2}{l - \rho_2}, \quad (1)$$

որտեղ l և k մեծությունները սահմանային F_2 կետի հեռավորություններն են համապատասխանորեն M և N կրկնակի կետերից:

Դժվար չէ նկատել, որ այս ձևափոխությունն g ուղղի անսահմանափակ NF_∞ ճառագայթն արտապատկերում է սահմանափակ NF_2 հատվածի վրա: Մա այն հատկությունն է, որն անհրաժեշտ է դրված խնդրի հետագա լուծման համար:

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ տրված են M և N կրկնակի կետերը, իսկ F_2 սահմանային կետը MN հատվածի միջնակետն է (նկ. 3): Այս դեպքում պրոյեկտման S_1 և S_2 կենտրոնները դասավորվում են g ուղղի նկատմամբ սիմետրիկ, որի հետևանքով կետերի համապատասխան զույգերը դառնում են փոխադարձ փոխարինելի (եթե $B_1=A_2$, ապա $B_2=A_1$): Այսինքն, կրկնակի և սահմանային կետերի այսպիսի դասավորության դեպքում ստանում ենք ուղղի կետերի բազմության *ինվոլյուցիոն* ձևափոխություն [4-6]:



Նկ. 3. Ինվոլյուցիայի առաջադրումը

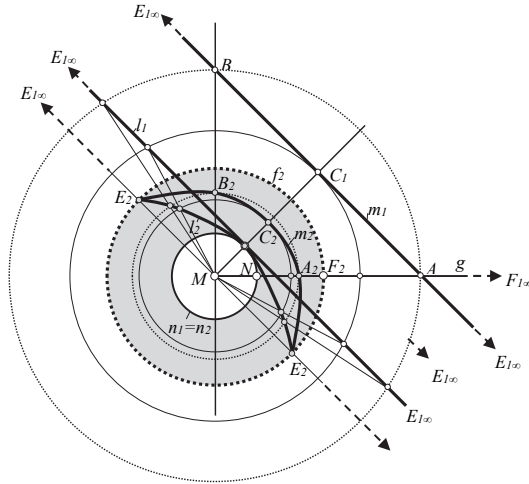
Եթե $O=F_2$ սկզբնակետի նկատմամբ ինվոլյուցիայի համապատասխան A_1 և A_2 կետերի կոորդինատները նշանակենք ρ_1 և ρ_2 , ապա կարելի է ստանալ դրանց կապի հետևյալ արտահայտությունը՝

$$\rho_1 \rho_2 = R^2, \quad (2)$$

որտեղ R մեծությունները սահմանային F_2 կետի հեռավորությունն են կրկնակի կետերից: Այս ինվոլյուցիան g ուղղի անսահմանափակ NF_∞ ճառագայթն արտապատկերում է սահմանափակ NF_2 հատվածի վրա:

Հարթության ձևափոխությունները: Հարթության մեջ դիտարկենք M կենտրոնով ճառագայթների փունջը (նկ. 4): Այդ փնջի ճառագայթներին պատկանող կետերի բազմությունն ընդգրկում է հարթության բոլոր կետերը: Փնջի ճառագայթ-

ներից յուրաքանչյուրի վրա առաջադրենք վերևում դիտարկված պրոյեկտիվ ձևափոխությունը՝ երկու կրկնակի կետերի և սահմանային կետի միջոցով:



Նկ. 4. Հարթության արտապատկերումը նրա օղակաձև տիրույթի վրա

Օրինակ, g ճառագայթի վրա առաջադրված են կրկնակի՝ M, N և սահմանային՝ F_2 կետերը, ընդ որում, M կետը փնջի կենտրոնն է: Արդյունքում սինթեզվում է հարթության որոշակի ձևափոխություն, որը կարելի է բնութագրել որպես g ճառագայթի ձևափոխության պտույտ նրա կրկնակի M կետի շուրջը:

Եթե բացառենք N կետի պտույտով առաջացած $n_1=n_2$ շրջանը, ապա սինթեզված ձևափոխությունը ողջ հարթությունն արտապատկերում է նրա N և F_2 կետերի պտույտով առաջացած օղակի վրա:

Հարթության այս ձևափոխությունը ոչ գծային է, որում, ընդհանուր դեպքում, հարթության անսահմանափակ ուղիղն արտապատկերվում է սահմանափակ կոր գծի վրա: Իրոք, հարթության կամայական m_1 ուղիղը (նկ. 4) բևեռային կոորդինատային համակարգում (M բևեռով) ունի հետևյալ հավասարումը՝

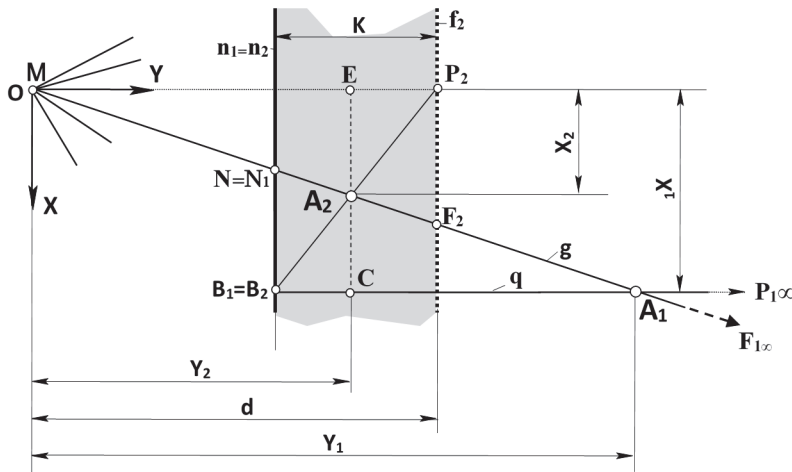
$$\rho_1 = \frac{P}{\cos' \varphi}, \quad (3)$$

որտեղ P -ն m_1 ուղիղին ուղղահայաց MC_1 հատվածի երկարությունն է (C_1 կետի բևեռային կոորդինատներն են՝ $(P, 0)$): (1) և (3) հավասարումներից ստանում ենք m_1 ուղիղին համապատասխանող m_2 կոր գծի հետևյալ հավասարումը՝

$$\rho_2 = \frac{Pl}{P + K \cos \varphi},$$

որտեղ $l=MF_2$, $K=NF_2$:

Դիտակենք այն դեպքը, երբ M կենտրոնով փնջի ճառագայթների կրկնակի կետերը դասավորվում են $n_1=n_2$ ուղղի վրա, իսկ սահմանային կետերը՝ նրան զուգահեռ f_2 ուղղի վրա (նկ. 5): Արդյունքում հարթության մեջ սինթեզվում է կենտրոնական պրոյեկտիվ ձևափոխություն (հոմոլոգիա):



Նկ. 5. Հարթության արտապատկերումը նրա երկու զուգահեռ ուղիղներով սահմանափակված շերտի վրա

Հոմոլոգիայի կրկնակի $n_1=n_2$ ուղիղը հարթությունը բաժանում է երկու կիսահարթությունների: Սահմանային f_2 ուղիղն ընդգրկող կիսահարթությունն այս հոմոլոգ ձևափոխությամբ արտապատկերվում է $n_1=n_2$ և f_2 ուղիղներով սահմանափակված շերտի վրա:

Ստանանք դիտարկվող կիսահարթության կամայական A_1 կետի և նրա A_2 կերպարի կապը՝ արտահայտված դեկարտյան կոորդինատներով: Կոորդինատների սկզբնակետը համատեղենք M կետի հետ, իսկ X առանցքը՝ ուղղահայաց $n_1=n_2$ ուղղին: A_2 կերպարը ստանալու համար օգտվենք օժանդակ A_1B_1 ուղղից, որի անիսկական $P_{1\infty}$ կետի P_2 կերպարը կդասավորվի սահմանային f_2 ուղղի վրա: Ակնհայտ է, որ A_2 կերպարը B_2P_2 հատվածի և MA_1 ճառագայթի հատման կետն է:

Ելնելով MEA_2 և A_1A_2C եռանկյունների, ինչպես նաև MP_2A_2 և $A_1A_2B_2$ եռանկյունների նմանությունից՝ ստանում ենք կամայական A_1 կետի և նրա A_2 կերպարի հետևյալ կապը՝

$$\begin{cases} X_2 = \frac{dX_1}{Y_1 + K} \\ Y_2 = \frac{dY_1}{Y_1 + K} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_1 = \frac{dX_2}{d - Y_2} \\ Y_1 = \frac{KY_2}{d - Y_2} \end{cases}:$$

Եզրակացություն: Այս կամ այն տարածությունը նրա սահմանափակ տիրույթի վրա արտապատկերելու համար որպես էլակետային տարր կարելի է օգտագործել ուղիղը, որի վրա հաստատված է կետերի պրոյեկտիվ համապատասխանություն՝ երկու կրկնակի և սահմանային կետերի միջոցով (այդպիսի ուղիղը կանվանենք *պրոյեկտիվ ուղիղ*):

Եթե տարածության մեջ առաջադրենք պրոյեկտիվ ուղիղների բազմություն այնպես, որ տարածության յուրաքանչյուր կետով անցնի այդ ուղիղներից միայն մեկը, ապա կսինթեզվի տարածության որոշակի ձևափոխություն (զծային և ոչ զծային): Այդ ձևափոխությունը, ինչպես կարելի է նկատել վերևում բերված օրինակներից, թույլ է տալիս տարածությունն արտապատկերել նրա սահմանափակ տիրույթի վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Согомонян К.А.** Линейно-конструктивные методы формообразования (геометрическое моделирование). – Ереван: Айастан, 1990. – 214 с.
2. **Глаголев Н.А.** Проективная геометрия. – М.: Высшая школа, 1963. – 268с.
3. **Джапаридзе И.С.** Конструктивные отображения проективных преобразований пространства. – Тбилиси: Изд-во ГПИ, 1964. – 327 с.
4. **Берже М.** Геометрия: Пер. с франц. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. - 560 с.
5. **Берже М.** Геометрия: Пер. с франц. – М.: Мир, 1984. – Т. 2. - 368 с.
6. **Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т.** Современная геометрия: Методы и приложения. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 760 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրության 25.05.2021:

К.А. СОГОМОНЯН, М.З. ПОГОСЯН, М.Г. БАКУНЦ

ПРОЕКТИВНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВ НА ИХ ОГРАНИЧЕННЫЕ ОБЛАСТИ

Рассматриваются вопросы синтеза проективных преобразований, которые позволяют отобразить бесконечную часть пространства на двустороннюю ограниченную область. Изучаются конструктивные свойства проективных преобразований множества точек прямых, на основе чего синтезируются определенные преобразования двумерного пространства (плоскости), отображающие всю полуплоскость на его ограниченную область.

Ключевые слова: проективное отображение, преобразование, инволюция, коллинеация, анизальные элементы, повторяющиеся элементы, гомотопия, инверсия.

K.H. SOGHOMONYAN, M.Z. POGHOSYAN, M.G. BAKUNTS

PROJECTIVE REFLECTION OF SPACES ON THE LIMITED DOMAINS

Issues on the synthesis of projective conversions are considered, which allow to reflect the infinite part of the space on a two-sided limited domain. The constructive properties of projective conversions of a set of points of the route are studied based on which, some conversions of two-dimensional space are synthesized, which reflect the whole semi-plane on its limited domain.

Keywords: projective reflection, conversion, involution, collineation, invalid items, double elements, homology, inversion.

UDC 004.852

COMPUTER SCIENCE AND
INFORMATICS

DOI 10.53297/0002306X-2021.3.v74-308

A.V. BATUTIN, K.P. LYDA, L.A. KHOJOYAN, J.P. FEDERICO,
T.S. KARAMYAN, D.S. KARAMYANEVALUATION OF INFERENCE OPTIMIZED IMAGE CLASSIFICATION
MODELS ON IOS PLATFORM

In this paper, we evaluate MobileNetV2 and EfficientNet network architectures performance on the iOS platform. Even though both networks are well researched, there is a certain lack of empirical data when it comes to the iOS platform. In this paper, we provide experimental data for top-1 accuracy and inference time, as well as RAM footprint collected on iPhone X and iPhone 12 Pro. The evaluation was performed using CPU, GPU, and Neural Engine (iPhone 12 only). Also, a full int8 quantization evaluation was done for MobileNetV2. Challenges around EfficientNet quantization are also described. The scoring metrics and dataset used to train models were provided as part of Mobile AI 2021 Real-Time Camera Scene Detection Challenge: <https://competitions.codalab.org/competitions/28113>.

Keywords: Camera Scene Detection challenge, MobileNetV2, EfficientNet, image classification.

Introduction. In recent years iOS and Android platforms have received a substantial boost in computational resources making them fit for on-device CNN model inference [1]. At the same time, most of the research and evaluation metrics for CNN architectures are centered around top-1 accuracy with little regard for inference time and model size. Mobile model deployment requires both accuracy and inference time optimized architectures. For the evaluation we have used the dataset published at Mobile AI 2021 Real-Time Camera Scene Detection Challenge. The goal of the challenge is to train image classification model which is both accurate and fast.

Model Selection. MobileNet [2] was chosen as a first model to evaluate. This model is based on an inverted residual structure where the shortcut connections are between the thin bottleneck layers. The intermediate expansion layer uses lightweight depthwise convolutions to filter features as a source of non-linearity. It is important to remove non-linearities in the narrow layers in order to maintain representational power. This kind of actions improve performance and provide an intuition that led to MobileNet design. The basic building block is a bottleneck depth-separable convolution with residuals. The detailed structure of

this block is shown in [2]. The architecture of MobileNetV2 contains the initial fully convolution layer with 32 filters followed by 19 residual bottleneck layers. ReLU6 activations are used as the non-linearity because of its robustness when used with low-precision computation. The kernel size is always 3×3 in this architecture as is standard for modern networks, and utilize dropout and batch normalization during training. With the exception of the first layer, the constant expansion rate is used throughout the network.

With ImageNet top-1 accuracy of 74.7%, it was obvious that getting model accuracy above 96% without significant overfitting would be difficult.

The second was EfficientNet [3], since its architecture is a result of neural architect search for the best model accuracy with minimum FLOPS required. Tan, et al [4], developed a baseline network by leveraging a multi-objective neural architecture search that optimizes both accuracy and FLOPS. Specifically, they use the same search space as (Tan et al., 2019), and use $ACC(m) \times [FLOPS(m)/T]^w$ as the optimization goal, where $ACC(m)$ and $FLOPS(m)$ denote the accuracy and FLOPS of model m , T is the target FLOPS and $w = -0.07$ is a hyperparameter for controlling the trade-off between the accuracy and the FLOPS. Since they use the same search space as described in [4], the architecture is similar to Mnas-Net, except our EfficientNet-B0 is slightly bigger due to the larger FLOPS target. Initial experiments on the challenge data set showed little difference between the B2 and B3 variants in validation accuracy. So B2 was chosen as a faster variant. With 80.1% ImageNet top-1 accuracy and FLOPS optimized architecture, it was our prime candidate.

ResNet50 with 76.0% top-1 accuracy is similar to MobileNetv2 but slower. It was chosen to test how much BigTransfer can improve the model accuracy.

The appropriate evaluation of the Models is shown in Table 1.

Table 1

Evaluated Models

Architecture	ImageNet Top-1	FLOPS
MobileNetV2	74.7%	88 M
EfficientNet B2	80.1%	1000 M
ResNet50	76.0%	4100M

Dataset. Camera Scene Detection dataset consisting of images belonging to 30 different classes was used for the model training. This dataset was used for all our experiments. The dataset was divided into:

- Train data: 9897 images of resolution 576 x 384 px from the above 30 classes that were used for training the model;

- Validation data: 600 images of resolution 576 x 384 px. The top-1 accuracy was measured on this subset.

Evaluation Metrics. In this challenge, each submission was validated based on the following two metrics:

- The accuracy of the predictions;
- The runtime of the model on the actual target mobile platform.

The exact scoring formula used in this challenge:

$$Score = \frac{2^{(top1-96.0)+(top3-99.0)}}{C * runtime}, \quad (1)$$

where C is a constant normalization factor that does not depend on the submission. Table 2, Table 3 and Table 4 represent the final, iPhone 12 Pro and iPhone X evaluation results. In those tables ‘float’ is the default TFLite conversion format and ‘int’ is the full int8 conversion.

Table 2

Final Results

TFLight Model	Size (MB)	Top-1 (%)	iPhone 12 Pro CPU (s)	Score
MobileNet V2 float	8.6	92.5	0.083	0.0941
MobileNet V2 int	2.7	91.3	0.058	0.0255
EfficientNet float	29.5	96	0.27	3.7037
EfficientNet int	9.1	95.3	0.28	1.3533

Table 3

iPhone 12 Pro Results. Inference time in seconds, RAM and file size in MB

Model	Top-1 (%)	iOS12 CPU (s)	iOS12 GPU (s)	iOS 12 NPU (MB)	iOS 12 CPU RAM (MB)	iOS 12 GPU RAM (MB)
MobileNet V2 float	92.5	0.083	0.016	0.014	200	166
MobileNet V2 int	91.3	0.058	0.093	0.092	160	160
EfficientNet float	96	0.272	-	-	220	-
EfficientNet int	95.3	0.283	-	-	160	-

Table 4

iPhone X Results. Inference time in seconds, RAM and file size in MB

Model	Top-1 (%)	iOS X CPU (s)	iOS X GPU (s)	iOS X CPU RAM (MB)	iOS X GPU RAM (MB)
MobileNet V2 float	92.5	0.095	0.067	170	200
MobileNet V2 int	91.3	0.132	0.133	136	136
EfficientNet float	96	0.432	-	195	-
EfficientNet int	95.3	0.398	-	142	-

We have set C to 1 for our experiments. As the formula shows all the models with top-1 accuracy less than 96% are heavily penalized.

Evaluation environment.

- Tensorflow and Keras were the main frameworks used for model implementation, training, and exporting.
- Both MobileNetV2 and EfficientNet implementations were taken from official Tensorflow repository.
- ImageNet pre-trained weights were used to initialize models.
- TensorFlow Lite image classification iOS example application was used to evaluate models.

Model Optimization and TFLite Conversion. Models were converted to TFLite in 2 formats:

- Float - default TFLite conversion format;
- Int - full int8 conversion.

The evaluation of TFLite models was done on iPhone 12 Pro and iPhone X devices. The evaluation was done on CPU, GPU, and NPU (iPhone 12 only) Memory footprint was measured for the entire iOS app.

EfficientNet TFLite Conversion Issues. During conversion to TFLite format 2 things turned out:

- The Normalization Layer used by the EfficientNet network is not implemented in the quantized version in TFLite.
- The ResizeBilinear Layer, which we used for rescaling input images is not implemented in TFLite.

Therefore, we decided to remove problematic layers and fine-tune such a model. Model without those layers was converting properly to TFLite format.

Results. As expected, EfficientNet B2 has shown the best result during the development phase. It achieved 96% accuracy on a challenge dataset. Its runtime was 10x slower than MobileNet. But MobileNet accuracy on the challenge dataset was only 93%. Thus, EfficientNet scored much higher on the final evaluation.

CoreML does not support EfficientNet execution on GPU or Neural Engine since it uses dynamic-sized tensors. So we could not evaluate EfficientNet running on GPU and NPU.

Final model evaluation was done for float and int8 tflite models running iPhone 12 Pro CPU.

Conclusion and future work.

- GPU seems to be the go-to accelerator for CNN on the iOS platform.
- On-device CNN inference performance is suitable for low-latency real-time applications.
- EfficientNet has a big potential but a workaround for GPU acceleration is required.
- Full int8 quantization yields significantly smaller models with minimal accuracy loss.

REFERENCES

1. AI Benchmark: All About Deep Learning on Smartphones in 2019 / **A. Ignatov, et al** // 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW).– Seoul, Korea (South).– 2019.–P. 3617-3635, doi: 10.1109/ICCVW.2019.00447
2. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks / **M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov and L. Chen** // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.– Salt Lake City, UT, USA, 2018.– P. 4510-4520, doi: 10.1109/CVPR.2018.00474.
3. **Tan M, Le Q.V.** EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks[C] // International Conference On Machine Learning.– 2019.– P. 6105-6114.
4. MnasNet: Platform-aware neural architecture search for mobile / **M. Tan, B. Chen, R. Pang, V. Vasudevan, et al.**– CVPR, 2019.

DataArt (Kiev, Poland, Argentina, Armenia), Yerevan State University. The material is received on 18.06.2021.

**Ա.Վ. ԲԱՏՈՒՏԻՆ, Կ.Պ. ԼԻԴԱ, Լ.Ա. ԽՈԶՈՅԱՆ, Խ.Պ. ՖԵԴԵՐԻԿՈ,
Տ.Ս. ՔԱՐԱՄՅԱՆ, Դ.Ս. ՔԱՐԱՄՅԱՆ**

**ՕՊՏԻՄԱՑՎԱԾ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ
ԱՐԴՅՈՒՔՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ IOS ՊԼԱՏՖՈՐՄԻ ՎՐԱ**

Գնահատվել է MobileNetV2 և EfficNet ցանցերի ճարտարապետությունների արտադրողականությունը iOS պլատֆորմի վրա: Չնայած երկու ցանցերն էլ լավ ուսումնասիրված են, այդուհանդերձ, Էմպիրիկ տվյալների որոշակի պակաս կա, երբ խոսքը վերաբերում է iOS պլատֆորմին: Ներկայացվել են փորձարարական տվյալներ մոդելների ճշգրտության և արագագործության վերաբերյալ, ինչպես նաև RAM- ի վերաբերյալ տեղեկություն, որը հավաքվել է iPhone X- ի և iPhone 12 Pro- ի վրա: Գնահատումն իրականացվել է CPU-ի, GPU- ի և նյարդային շարժիչի միջոցով (միայն iPhone 12-ով): MobileNetV2- ի համար ևս կատարվել է int8 քվանտացման ամբողջական գնահատում: Նկարագրվել են նաև EfficNet քվանտացման շուրջ մարտահրավերները: Մոդելները պատրաստելու համար օգտագործված գնահատման չափորոշիչները և տվյալների հավաքածուն տրամադրվել են Mobile AI 2021 իրական ժամանակում տեսախցիկի տեսարանի հայտնաբերման (Mobile AI 2021 Real-Time Camera Scene Detection) մարտահրավերի շրջանակներում. <https://competitions.codalab.org/competitions/28113>

Առանցքային բառեր. Camera Scene Detection մարտահրավեր, MobileNetV2, EfficientNet, պատկերների դասակարգում:

**А.В. БАТУТИН, К.П. ЛИДА, Л.А. ХОДЖОЯН, Х.П. ФЕДЕРИКО,
Т.С. КАРАМЯН, Д.С. КАРАМЯН**

**ОЦЕНКА ВЫВОДОВ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ
КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ IOS**

Дается оценка производительности сетевых архитектур MobileNetV2 и EfficientNet на платформе iOS. Несмотря на то, что обе сети хорошо изучены, существует определенный недостаток эмпирических данных, когда речь идет о платформе iOS. Приводятся экспериментальные данные по точности и времени вывода, а также объем оперативной памяти, собранной на iPhone X и iPhone 12 Pro. Оценка проводилась с использованием центрального процессора, графического процессора и Neural Engine (только для iPhone 12). Кроме того, для MobileNetV2 проведена полная оценка квантования int8. Описаны проблемы, связанные с квантованием EfficientNet. Показатели оценки и набор данных, используемые для обучения моделей, были предоставлены в рамках конкурса Mobile AI 2021 Real-Time Camera Scene Detection Challenge: <https://competitions.codalab.org/competitions/28113>

Ключевые слова: вызов Camera Scene Detection, MobileNetV2, EfficientNet, классификация изображений.

Г.Е. АЙВАЗЯН, А.В. АГАБЕКЯН, А.В. СЕМЧЕНКО, В.В. СИДСКИЙ,
Д.Л. КОВАЛЕНКО, В.Е. ГАЙШУН, В.В. МАЛЮТИНА-БРОНСКАЯ,
В.Б. ЗАЛЕССКИЙ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПЛЕНОК НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО КРЕМНИЯ

Представлены результаты исследования структурных, вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик тонких золь-гель пленок ZnO, TiO₂ и SiO₂ на поверхности черного кремния (b-Si). Показано, что пленки ZnO и TiO₂ имеют стабильные структурные свойства и не ухудшают отражение b-Si в широком диапазоне солнечного излучения. Заметной фоточувствительностью обладают только образцы с пленкой TiO₂. Проанализированы функциональные возможности применения структур b-Si/оксидная пленка в полупроводниковых приборах различного назначения. В качестве пассивирующих и защитных покрытий в солнечных элементах на основе b-Si предпочтительно использовать золь-гель пленки ZnO и TiO₂.

Ключевые слова: золь-гель метод, оксидная пленка, черный кремний, вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики, солнечный элемент.

Введение. Проблема повышения эффективности кремниевых солнечных элементов является весьма актуальной. Ее решение обеспечивается, в частности, применением фронтальных антиотражающих поверхностей. В последнее время в качестве антиотражающих поверхностей солнечных элементов большой интерес вызывает новый материал - черный кремний (b-Si), состоящий из периодически расположенных конических тонких игл [1]. Предполагается, что падающий на такую поверхность свет полностью поглощается вследствие многократных отражений с боковой поверхности игл. При этом антиотражающие свойства b-Si определяются в основном глубиной рельефа и параметром заполнения, а достижимой является величина коэффициента отражения менее 5% во всем видимом диапазоне [2-4].

Несмотря на то, что с помощью b-Si было получено особенно низкое поверхностное отражение, эффективность солнечных элементов на основе этого материала снижается из-за повышенной скорости рекомбинации носителей в силу большой площади поверхности, что приводит к плохим спектральным характеристикам, особенно для коротких длин волн. Кроме того, b-Si имеет тенденцию постепенно окисляться и загрязняться примесями при контакте с

воздухом, что отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики солнечных элементов. Эффективным способом преодоления этих проблем является использование тонких пассивирующих и защитных покрытий на поверхности b-Si [5-7].

Ранее нами была продемонстрирована технологическая возможность защиты и пассивации слоев b-Si пленками оксида цинка (ZnO), двуокиси титана (TiO₂) и двуокиси кремния (SiO₂), осажденными золь-гель методом [8, 9]. Данная технология является низкотемпературной, сочетает простоту процесса и низкую стоимость используемого оборудования и материалов [10]. С помощью метода конечных разностей во временной области (Finite Difference Time Domain - FDTD) смоделированы антиотражающие свойства этих пленок на поверхности b-Si и показана целесообразность их использования в солнечных элементах [6, 11].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований структурных и фотоэлектрических характеристик тонких золь-гель пленок ZnO, TiO₂ и SiO₂ на поверхности b-Si. Полученные результаты имеют важное практическое значение, так как позволяют оценить функциональные возможности структур b-Si/оксидная пленка.

Образцы и методы исследования. Экспериментальные образцы b-Si были сформированы на поверхности пластин монокристаллического Si методом реактивного ионного травления (Reactive Ion Etching - RIE) в газовой смеси гексафторида серы (SF₆) и кислорода (O₂) в камере плазменного травления (рис. 1). Пластины помещались на нижний электрод с водяным охлаждением (23°C), подключенный к радиочастотному генератору со значением 13,56 МГц. Давление в камере составляло 55 мТорр, а скорости потока газа - 75 см³/мин и 40 см³/мин для SF₆ и O₂ соответственно. Продолжительность травления составляла 10 мин.

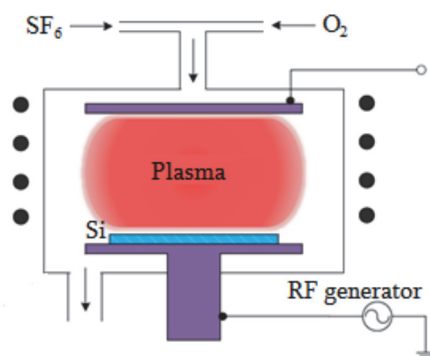


Рис. 1. Схематическое изображение RIE камеры

Для получения пленок ZnO требуемое количество ацетата цинка заливали абсолютным изопропиловым спиртом, диметилформамидом, 2-метоксиэтанолом (в зависимости от вида золя) и перемешивали. Состав пленкообразующего раствора для получения золь-гель пленок SiO₂ был изготовлен на основе метилтриэтоксисилана и тетраэтилортосиликата, растворенного в смеси этилового спирта и воды. Пленки TiO₂ синтезировались на основе этоксида титана, изопропилового спирта, азотной кислоты и воды. Для созревания пленкообразующие растворы выдерживали при температуре окружающей среды (22 ± 2) °C в течение 2...3 дней.

Золь наносили на поверхность b-Si методом центрифугирования со скоростью 2000 об/мин, после чего образцы помещали в печь для сушки в течение 10 мин пошагово с интервалом 20°C до температуры 350°C. Процесс нанесения и сушки повторялся до получения нужной толщины пленок (300 нм). На последней стадии образцы помещали в печь и нагревали пошагово с интервалом 20°C до температуры 550°C.

Морфологию поверхностей пленок и слоев b-Si исследовали с помощью высокоразрешающего атомно-силового микроскопа (Atomic-Force Microscope - AFM) SolverPro 47 и сканирующего электронного микроскопа (Scanning Electron Microscope- SEM) SEMXL 40 Philips. Для обработки полученных изображений использовалась модульная программа Gwyddion. Спектры поглощения-отражения пленок были измерены на двухлучевом спектрофотометре Cary 60.

Измерение фотоэлектрических характеристик (вольт-амперных и вольт-фарадных – соответственно ВАХ и ВФХ) проводилось под воздействием лазерного излучения разной длины волны на автоматизированном базовом лазерном испытательном комплексе с использованием ртутных зондов [12]. Оптический модуль комплекса включает в себя модуль позиционирования для размещения испытуемого образца и мультиспектральный источник лазерного излучения, состоящий из набора 9 лазерных диодов с длинами волн 405, 450, 520, 660, 780, 808, 905, 980 и 1064 нм с общим оптоволоконным выводом и с платами управления. В качестве источника глубокого ультрафиолетового (УФ) излучения с длиной волны 278 нм использовался светодиод ТО-3535BC-UVC265-30-6V-E, размещенный в специализированной оснастке. ВФХ образцов были измерены при двух частотах сигнала - 100 кГц и 1 МГц. Все измерения были проведены с разверткой по напряжению от -15 В до +15 В при комнатной температуре.

Результаты и их обсуждение. На рис. 2 представлены типичные AFM изображения топографии поверхности пленок ZnO, TiO₂ и SiO₂ на b-Si, а в таблице приведена статистика зерен этих же пленок.

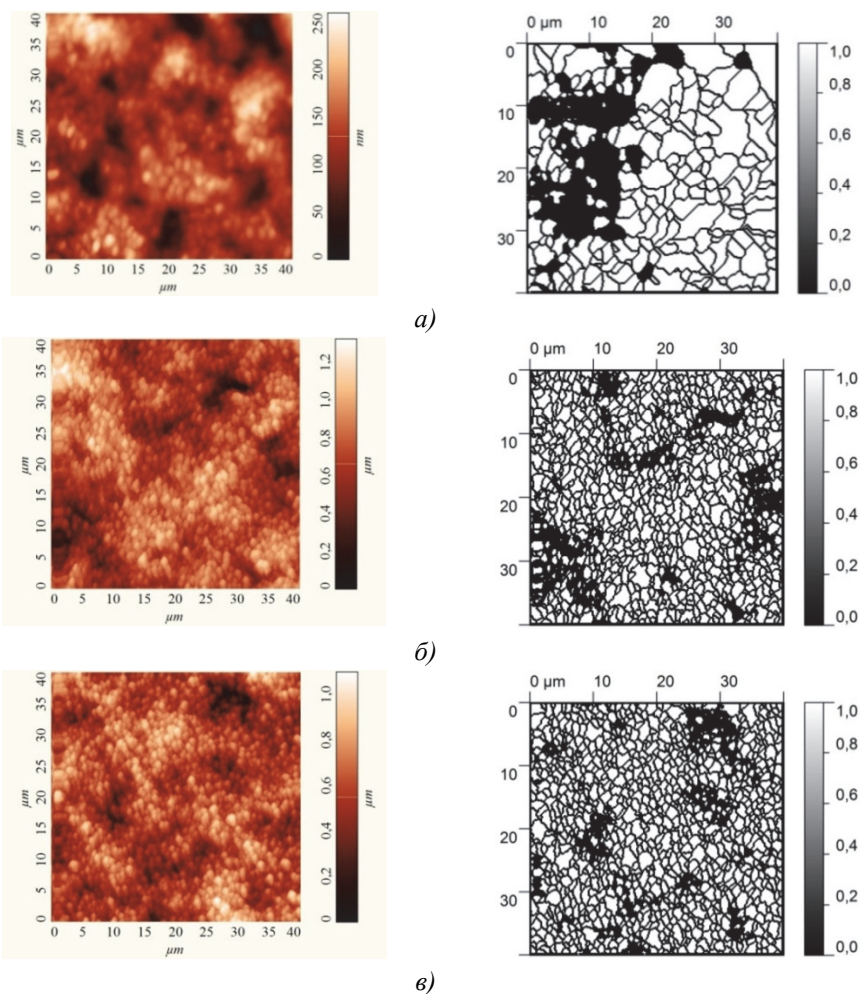


Рис. 2. Типичные AFM изображения топографии поверхности пленок SiO_2 (а), ZnO (б) и TiO_2 (в) на $b\text{-Si}$

Таблица

Статистика зерен на поверхности пленок

Характеристика	Пленка		
	SiO_2	ZnO	TiO_2
Число зерен	266	1150	1202
Шероховатость, мкм	0,225	0,155	0,118
Средний размер зерна, мкм	1,5	0,7	0,75

Поверхность полученных оксидных пленок характеризуется развитым рельефом с высокой степенью шероховатости и упаковкой кристаллитов по типу “муаровой” структуры. Пленки сформированы пирамидальными кристалли-

тами с одинаковым направлением роста, перпендикулярным пластине. Синтезированные пленки имели высокую адгезию к поверхности b-Si. Средний размер зерен на поверхности пленок SiO₂ составляет около 1,5 мкм, число зерен – 266, а шероховатость – 0,225 мкм. Для пленок ZnO и TiO₂ размер зерен уменьшается в 2 раза, шероховатость - в 1,5...2 раза.

На рис. 3 представлена типичная SEM микрофотокартина поперечного сечения структур b-Si/ZnO. Видно, что пленка покрывает поверхность b-Si сплошным слоем высокой степени конформности и равномерности, без пор и проколов. Однако рельеф пленки не полностью копирует рельеф b-Si. Из-за сравнительно большой толщины пленки происходит “схлопывание” растущих навстречу друг другу слоев и сглаживание рельефа. Аналогичные изображения были получены и для пленок SiO₂ и TiO₂.

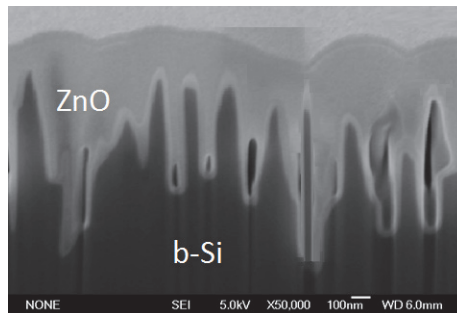


Рис. 3. SEM микрофотокартина поперечного сечения структур b-Si/ZnO

На рис. 4 представлены спектры отражения пленок SiO₂, ZnO и TiO₂ на поверхности b-Si в диапазоне длин волн 200...900 нм (в относительных единицах). Видно, что пленки ZnO и TiO₂, особенно в длинноволновой видимой области спектра, имеют наименьший коэффициент оптического отражения, что, скорее всего, обусловлено большим числом и маленьким размером их зерен. Поэтому в качестве пассивирующих и защитных покрытий в солнечных элементах на основе b-Si предпочтительно использовать золь-гель пленки ZnO и TiO₂. Эти пленки не только сохраняют малое отражение b-Si в ближней инфракрасной и видимой областях солнечного излучения, но и расширяют ее в коротковолновую область спектра.

Следует отметить, что экспериментальные значения коэффициентов оптического отражения исследованных структур не полностью совпадают со значениями моделирования спектров отражения, полученными методом FDTD [6, 11]. Это отличие обусловлено тем, что эффективная толщина реальных пленок, осажденных золь-гель методом, в среднем существенно ниже, чем номинально заложенная в модель FDTD.

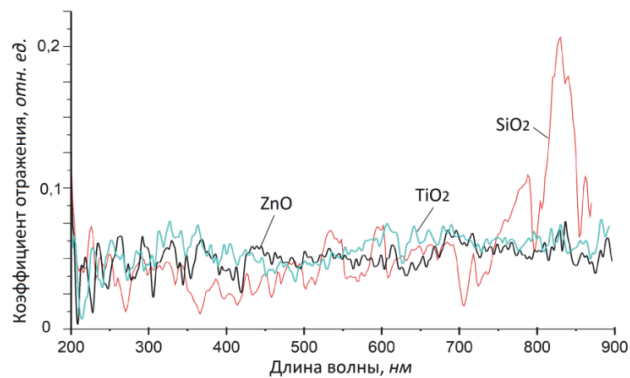
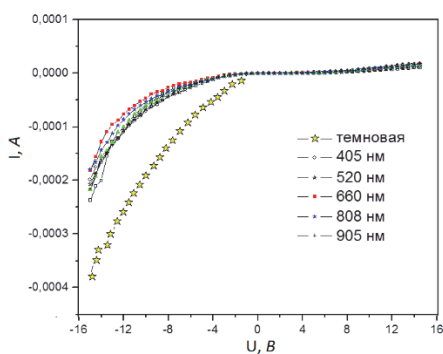
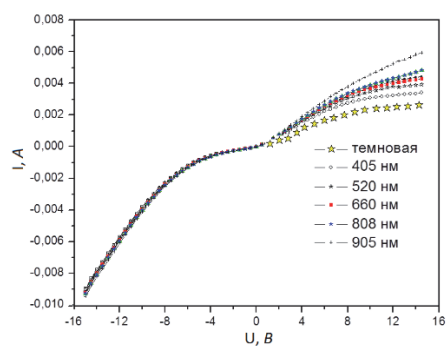


Рис.4. Спектры отражения пленок SiO_2 , ZnO и TiO_2 на $b\text{-Si}$

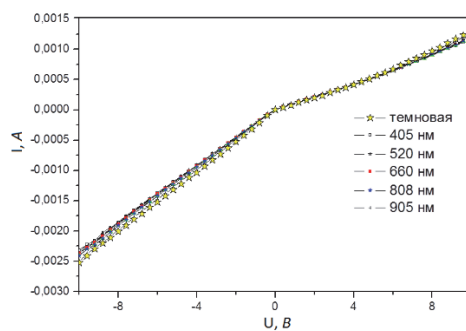
На рис. 5 представлены темновые ВАХ образцов $b\text{-Si}$ с пленками SiO_2 , ZnO и TiO_2 и эти же характеристики под воздействием лазерного излучения. Анализ ВАХ позволяет оценить токоперенос в структурах и, тем самым, фоточувствительность пленок, т.е. отношение фотопроводимости к темновой проводимости.



а)



б)



в)

Рис. 5. ВАХ образцов $b\text{-Si}$ с пленками SiO_2 (а), TiO_2 (б) и ZnO (в)

Как видно из рис. 5, заметной фоточувствительностью при прямом смещении обладают только образцы с пленкой TiO_2 . Данный оксид имеет высокое значение диэлектрической проницаемости (~ 80) и ширину запрещенной зоны в диапазоне $\sim 3,2 \dots 3,8$ эВ (в зависимости от типа кристаллической решетки). Наиболее характерные степени окисления TiO_2 - Ti^{4+} и Ti^{3+} . Донорный тип TiO_2 обеспечивается кислородными вакансиями, которые присутствуют в этом оксиде при нормальных условиях. Эти вакансии компенсируются атомами титана, некоторое число которых принимает степень окисления $3+$. Образовавшиеся ионы Ti^{3+} ведут себя как доноры электронов, создавая локализованные состояния вблизи зоны проводимости [13]. Образование “темнового тока” сопровождается рекомбинацией неосновных носителей тока. При рекомбинациях потенциальная энергия электронно-дырочных пар либо преобразуется в излучение фотонов с $h\nu \approx E_g$, либо расходуется на нагревание кристаллической решетки.

Абсолютные значения фототока в структурах b-Si/ TiO_2 , в силу значительного сопротивления оксидных пленок, недостаточны для преобразования солнечной энергии на практике. Однако совместное использование пленок TiO_2 и солнечных элементов на основе b-Si может способствовать эффективному использованию солнечного спектра, например, в tandemных солнечных элементах на основе материалов с разной шириной запрещенной зоны [14]. Что касается пленок ZnO , то при легировании различными металлами (в основном, алюминием) их можно дополнительно использовать как прозрачный проводящий контакт в солнечных элементах на основе b-Si [15].

На рис. 6 представлены темновые ВФХ образцов b-Si с исследованными пленками при двух частотах 100 кГц и 1 МГц и эти же характеристики под воздействием УФ излучения. ВФХ дают наглядную информацию об электронных состояниях на межфазной границе структур b-Si/оксидная пленка.

Типичные ВФХ структур b-Si/ TiO_2 и b-Si/ ZnO представляют собой кривые, характерные для высокочастотных ВФХ классических МОП-структур на Si пластине p-типа проводимости [16]. На высокочастотных ВФХ этих структур наблюдается ярко выраженный максимум, соответствующий перезарядке моноэнергетического уровня быстрых поверхностных состояний.

Из рис. 6 видно, что при отрицательных напряжениях смещения от -15 В до 0 В реализуется режим обогащения электронами поверхности b-Si вблизи границы раздела с оксидной пленкой. Однако емкость в этой области уменьшается с ростом напряжения смещения, что может свидетельствовать об утечках. В диапазоне положительных напряжений смещения от 0 до 15 В происходит обеднение свободными носителями заряда b-Si вблизи границы раздела с

оксидной пленкой. С уменьшением частоты сигнала емкость структуры увеличивается по абсолютному значению. Это особенно ярко выражено для структур с оксидами металлов Zn и Ti, что может быть вызвано образованием на границе раздела высокоомного слоя, обусловленного избыточной концентрацией металлов. Расширенный наклон экспериментальных кривых в средней части ВФХ обусловлен наличием значительной плотности поверхностных состояний на границе раздела.

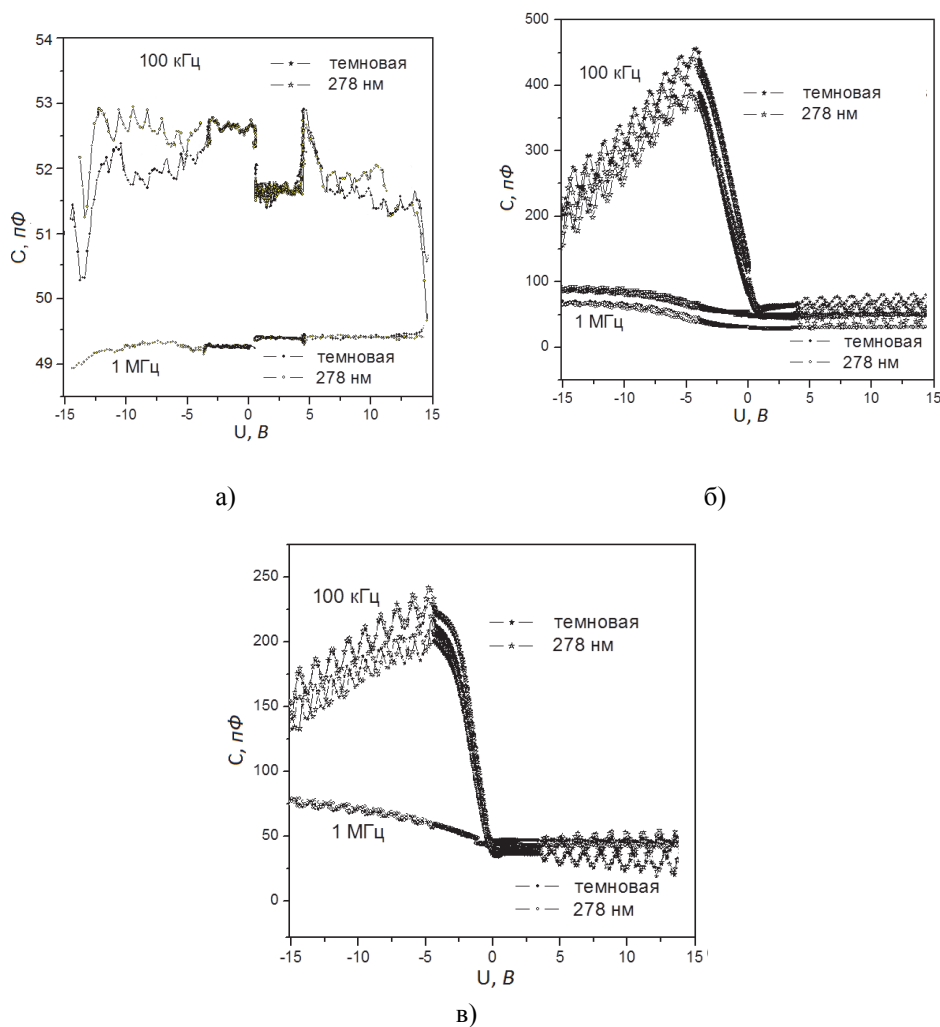


Рис. 6. ВФХ образцов b-Si с пленками SiO_2 (а), TiO_2 (б) и ZnO (в)

Для структур b-Si/ ZnO и b-Si/ SiO_2 воздействие УФ излучения практически не влияет на изменение емкости ни оксидной пленки, ни структуры в целом. Однако в случае структур b-Si/ TiO_2 на частоте сигнала 1 МГц емкость струк-

туры незначительно уменьшается. Это свидетельствует о том, что в структурах b-Si/TiO₂ имеются метастабильные дефекты, перестройка которых под действием УФ излучения может привести к тому, что наблюдаемые ВФХ становятся неравновесными: в режиме обеднения b-Si основными носителями заряда инверсионный слой не образуется, а при прямом смещении через оксид протекает незначительный сквозной ток. Несмотря на это, можно констатировать, что в целом все исследованные структуры являются стабильными к различным внешним воздействиям.

Заключение. Исследованы структурные и фотоэлектрические характеристики (ВАХ и ВФХ) тонких золь-гель пленок ZnO, TiO₂ и SiO₂ на поверхности b-Si. Показано, что в качестве пассивирующих и защитных покрытий в солнечных элементах на основе b-Si предпочтительно использовать пленки ZnO и TiO₂, которые имеют стабильные структурные и оптические свойства, а также, по крайней мере, не ухудшают отражение b-Si в широком диапазоне солнечного излучения. Кроме того, полифункциональный характер этих пленок на поверхности b-Si создает принципиальную возможность их использования в качестве активного слоя в приборах различного назначения (в tandemных солнечных элементах, фотодетекторах, физических и химических сенсорах, устройствах визуализации информации).

Исследование выполнено при финансовой поддержке КН МОНКС РА и ГКНТ РБ в рамках совместного научного проекта (гранты № T19APMG-001 и 21SC-RBSCST-2B002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ayvazyan G.Y.** Crystalline, Porous and Black Silicon: Research and Application.- Yerevan: Chartaraget, 2020.- 240 p.
2. **Jian L., Ting Zhang, Peng Zhang, Shibin Li.** Review Application of Nanostructured Black Silicon // Nanoscale Res. Letters.- 2018.- V. 13.- P. 1-10.
3. Black Silicon Photovoltaics / **M. Otto, M. Algasinger, H. Branz, et al** // Adv. Opt. Mat.- 2015.- V. 3.- P. 147-164.
4. **Ayvazyan G.Y., Barseghyan R.N., Minasyan S.A.** Optimization of Surface Reflectance for Silicon Solar Cells // Green Energy & Smart Grids. E3S Web of Conf.- 2018.- V. 69.- P. 01008.
5. **Repo P., Savin H.** Effect of Different ALD Al₂O₃ Oxidants on the Surface Passivation of Black Silicon // Energy Procedia.- 2016.- V. 69.- P. 381-385.
6. **Katkov M.V., Ayvazyan G.Y., Shayapov V.R., Lebedev M.S.** Modeling of the Optical Properties of Black Silicon Passivated by Thin Films of Metal Oxides // J. of Contemporary Phys.- 2020.- V. 55.- P. 16-22.

7. Surface Passivation of N-Type Doped Black Silicon by Atomic-Layer-Deposited $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Stacks / **B. Loo, A. Ingenito, M. Verheijen, et al** // Appl. Phys. Lett.- 2017.- V. 110, № 26.- P. 263106.
8. **Ayvazyan G.Y., Khudaverdyan S.K., Lebedev M.S., Semchenko A.V.** Efficient Surface Passivation of N-Type Black Silicon // Proc. of the RA NAS and NPUA. Ser. of Tech. Sci. - 2019.- V. LXXII, № 1.- P. 78-84.
9. **Айвазян Г.Е., Худавердян С.Х., Гайшун В.Е., Семченко А.В.** Совместное использование слоя черного кремния и пленки ZnO в солнечных элементах // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2016.- № 2.- С. 83-89.
10. **Rogachev A.V., Gaishun V.E., Semchenko A.V., Kovalenko D.L.** Sol-Gel Synthesis of Functional Nanostructured Materials for Electronic Devices // Adv. Mat. Res. – 2015.- V. 1117. – P. 164-167.
11. **Айвазян Г.Е., Ахоян Л.А., Хачатрян М.Г.** Моделирование отражения слоя черного кремния, пассивированного пленкой оксида цинка // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2020.- №1.- С. 86-93.
12. Автоматизированный базовый лазерный испытательный комплекс для тестирования перспективных видов полупроводниковых фотоприемников / **В.В. Малютин-Бронская, В.Б. Залесский, С.А. Сорока и др.** // Сб. материалов 13-й Межд. конф. “Приборостроение – 2020”.- 2020.- С. 391-392.
13. Наноструктурированные фотокаталитические золь-гель покрытия на основе диоксида титана / **Д.Л. Коваленко, А.В. Семченко, В.В. Сидский и др.** // Проблемы физики, математики и техники. – 2015.- №4 (25). – С. 7-10.
14. Overview of Si Tandem Solar Cells and Approaches to PV-Powered Vehicle Applications / **M. Yamaguchi, K.-H. Lee, D. Sato, et al** // MRS Advances.- 2020.- V. 5, № 8-9.- P. 441-450.
15. Structural, Optical and Electrical Properties of ZnO:Al Thin Films Synthesized by Sol-Gel Method / **A.V. Rogachev, A.V. Semchenko, D.L. Kovalenko, et al** // IFMBE Proceedings.- 2016.- V. 55.- P. 111–114.
16. **Боброва Е.А., Омеляновская Н.М.** Особенности вольт-фарадных характеристик МОП структур, обусловленные зарядом в окисле // Физика и техника полупроводников.- 2008.- Т. 42, № 11.- С. 1380-1383.

Национальный политехнический университет Армении, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, ГНПО “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника” НАН Беларуси, Минск. Материал поступил в редакцию 30.04.2021.

Գ.Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՂԱԲԵԿՅԱՆ, Ա.Վ. ՍԵՄՇԵՆԿՈ, Վ.Վ. ՄԻԴՄԿԻՑ,
Դ.Լ. ԿՈՎԱԼԵՆԿՈ, Վ.Ե. ԳԱՅՇՈՒՆ, Վ.Վ. ՄԱԼՅՈՒՏԻՆԱ-ԲՐՈՆՍԿԱՅԱ,
Վ.Բ. ԶԱԼԵՍՄԿԻՑ

ՍԵՎ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՑԹԻՆ ԶՈՒ-ԴՈՆԴՈՂ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ներկայացվել են սև սիլիցիումի (b-Si) մակերևույթին ZnO, TiO₂ և SiO₂ զոլ-դոնդոլ թաղանթների կառուցվածքային, վոլտ-ամպերային և վոլտ-ֆարադային բնութագրերը: Ցույց է տրվել, որ ZnO և TiO₂ թաղանթներն ունեն կայուն կառուցվածքային հատկություններ և չեն վատթարացնում b-Si-ի անդրադարձումը արևային ճառագայթման լայն տիրույթում: Նկատելի լուսազգայնություն ունեն միայն TiO₂ թաղանթով նմուշները: Վերլուծվել են b-Si/օքսիդային թաղանթ - կառուցվածքների կիրառման ֆունկցիոնալ հնարավորությունները տարբեր նշանակությամբ կիսահաղորդչային սարքերում: Որպես b-Si-ի հիման վրա արևային էլեմենտների կայունացնող և պաշտպանիչ ծածկույթ նախընտրելի է օգտագործել ZnO և TiO₂ զոլ-դոնդոլ թաղանթները:

Առանցքային բառեր. զոլ-դոնդոլ մեթոդ, օքսիդային թաղանթ, սև սիլիցիում, վոլտ-ամպերային և վոլտ-ֆարադային բնութագրեր, արևային էլեմենտ:

G.Y. AYVAZYAN, A.B. AGHABEKYAN, A.V. SEMCHENKO,
V.V. SIDSKY, D.L. KOVALENKO, V.E. GAISHUN,
V.V. MALYUTINA-BRONSKAYA, V.B. ZALESSKI
CHARACTERISTICS OF SOL-GEL FILMS ON THE SURFACE OF
BLACK SILICON

The investigation results of the structural, current-voltage and capacitance-voltage characteristics of thin sol-gel ZnO, TiO₂ and SiO₂ films on the surface of black silicon (b-Si) are presented. It is shown that the ZnO and TiO₂ films have stable structural properties and do not worsen the reflection of b-Si in a wide range of solar radiation. Only samples with a TiO₂ film have a noticeable photosensitivity. The functional possibilities of using b-Si/oxide film structures in semiconductor devices for different applications are analyzed. It is preferable to use ZnO and TiO₂ sol-gel films as passivation and protective coatings in solar cells based on b-Si.

Keywords: sol-gel method, oxide film, black silicon, current-voltage and capacitance-voltage characteristics, solar cell.

М.С. АЗОЯН, Д.А. КАЗАРЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ УМНОЖИТЕЛЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Проведено экспериментальное исследование транзисторных параметрических умножителей сверхвысоких частот (СВЧ). Для расчета преобразователей СВЧ за основу принимаются экспериментально снятые вольт-амперные и вольт-кулоновые характеристики (ВАХ и ВКХ) нелинейного элемента. Задача решается графоаналитическим методом выбором необходимого количества производных от указанных характеристик, значения которых являются исходными.

Ключевые слова: гармоника, умножитель частоты, накачка, активный, реактивный, проводимость.

Введение. В настоящее время в связи с развитием телекоммуникации появилась потребность в создании надежных и малогабаритных приборов СВЧ с широкими функциональными возможностями [1], в том числе умножителей частоты, которые особенно эффективны в дециметровом и сантиметровом диапазонах частот в качестве буферной цепи передатчиков [2]. Поэтому транзисторный параметрический умножитель частоты (ТПУЧ) обладает одновременно свойствами усиления и умножения частоты входного сигнала.

Методы исследования. Из уравнений (1) и (2) на основе синтеза [3] следует, что нелинейная проводимость коллекторного р-п перехода, эквивалентная схема которого представляется в виде параллельно включенных проводимости и емкости, вносит в контуры накачки и гармоник активные и реактивные проводимости:

$$\dot{Y}_1 = - \sum_{p=0}^{\infty} \cdot G^1_{n(p+1)} \sin n(p+1)\varphi + n\omega \sum_{p=1}^{\infty} \cdot C^1_{n(p-1)} \sin n(p-1)\varphi + \\ + j[\sum_{p=0}^{\infty} \cdot G^1_{n(p+1)} \cos n(p+1)\varphi + n\omega \sum_{p=1}^{\infty} \cdot C^1_{n(p-1)} \cos n(p-1)\varphi], \quad (1)$$

$$\dot{Y}_n = -\omega \sum_{p=0}^{\infty} \cdot C^n_{n(p+1)} \sin np\varphi + \sum_{p=1}^{\infty} \cdot G^n_{np-1} \sin np\varphi + \\ + j[\omega \sum_{p=0}^{\infty} \cdot C^n_{np+1} \cos np\varphi + \sum_{p=1}^{\infty} \cdot G^n_{np-1} \cos np\varphi]. \quad (2)$$

Принимая, что выходной сигнал есть n -я гармоника входного колебания, из этих выражений видно, что в случае $0 < \varphi < \pi$ нелинейная емкость вносит в контур накачки потери, а в контур гармоники - отрицательную проводимость, т.е. в системе может быть задействован режим перекачивания энергии из одного контура в другой. При этом могут появляться гармонические колебания.

При воздействии двухчастотного сигнала на нелинейную емкость напряжением от емкости C в контур накачки вносятся активные и реактивные составляющие проводимости G_1 и C_1 , а в контур субгармоники - G_n и C_n . Следовательно, в процессе преобразования образуются проводимости пассивных потерь в контурах накачки - G_{s1} и субгармоники - G_{sn} :

$$U_{\Sigma} = U_0 + U_1 \cos \omega t + U_n \cos(n\omega t + \varphi). \quad (3)$$

На основе полученных соотношений для делителя частоты построены эквивалентные схемы для контуров накачки (рис. 1а) и гармоники (рис. 1б).

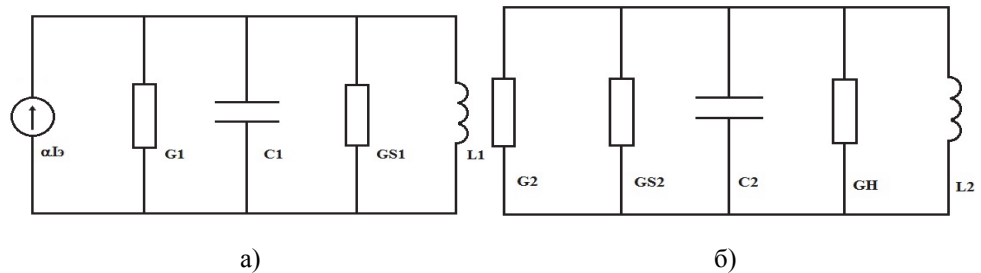


Рис. 1. Эквивалентные схемы контуров ТПУЧ:

а - для сигнала накачки, б - для сигнала гармоники

На рис. 1 приняты следующие обозначения: G_1 - потери на образование гармоники; G_{s1} - пассивные потери в контуре входного сигнала; C_1 - эквивалентная емкость на частоте сигнала накачки; L_1 - внешняя индуктивность сигнального контура; G_2 - отрицательная проводимость, вносимая в контур гармоники; G_{s2} - пассивные потери в контуре гармоники; C_2 - эквивалентная емкость на частоте гармоники; G_n - проводимость нагрузки; L_2 - внешняя индуктивность контура гармоники.

Следует учесть то обстоятельство, что ВКХ и ВАХ не имеют аналитических выражений, сняты экспериментально для любого нелинейного элемента.

В итоге для упомянутых проводимостей получаем следующие приближенные аналитические выражения:

- для контура накачки:

$$G_1 = -G_n^1 \sin \varphi, \quad C_1 = C_0^1 + \frac{1}{n\omega} G_n' \cos \varphi,$$

$$G_1^1 = G_0^{1'} + G_n^{1'} \cos \varphi, C_1' = G_n^{1'} \sin \varphi; \quad (4)$$

- для контура гармоники:

$$\begin{aligned} G_n &= G_{n-1}^n \sin n\varphi, C_n = C_1^n + \frac{1}{\omega} G_{n-1}^n \cos n\varphi, \\ G_n' &= G_1^{n'} + G_{n-1}^{n'} \cos n\varphi, C_n' = -G_{n-1}^{n'} \sin n\varphi. \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом (4) и (5) компоненты, обозначенные на рис.1а,б, выражаются соотношениями

$$\begin{aligned} G_1 &= G_n^n \sin \varphi, C_1 = C_0^n + \frac{1}{\omega} G_n^n \cos \varphi, \\ G_2 &= -G_{n-1}^1 \sin n\varphi, C_2 = C_1^1 + \frac{n}{\omega} G_{n-1}^1 \cos n\varphi. \end{aligned}$$

Условие самовозбуждения в контуре гармоники выполняется с учетом [3]

$$G_{n-1}^1 \sin n\varphi + G_{s2} = 0,$$

которое совпадает с уравнением стационарного режима автогенератора, а уравнение, определяющее фазу φ в системе, можно записать в виде

$$\frac{\omega}{n} C_1^1 + G_{n-1}^1 \cos \varphi - \frac{n}{\omega L_2} = 0.$$

Исключая в последних уравнениях фазу, решением параметрического уравнения относительно напряжения накачки, при условии резонанса в обоих контурах и при $n = 2$, соотношение, определяющее напряжение выходного контура, примет вид

$$U_2 = \sqrt{\frac{4\alpha I_3}{\omega A_2} - \frac{16G_{s1}G_{s2}}{\omega^2 A_2^2}}.$$

Очевидно, что при $\alpha I_3 < \frac{4G_{s1}G_{s2}}{\omega A_2}$ никакое внешнее воздействие не приводит к самовозбуждению системы, а при обратном неравенстве [4]

$$\alpha I_3 > \frac{4G_{s1}G_{s2}}{\omega A_2}$$

выполняется условие возбуждения, причем чем больше αI_3 , тем больше U_2 .

Экспериментальное исследование ТПУЧ проведено на транзисторе КТ640А2 по схеме с общей базой (рис.2).

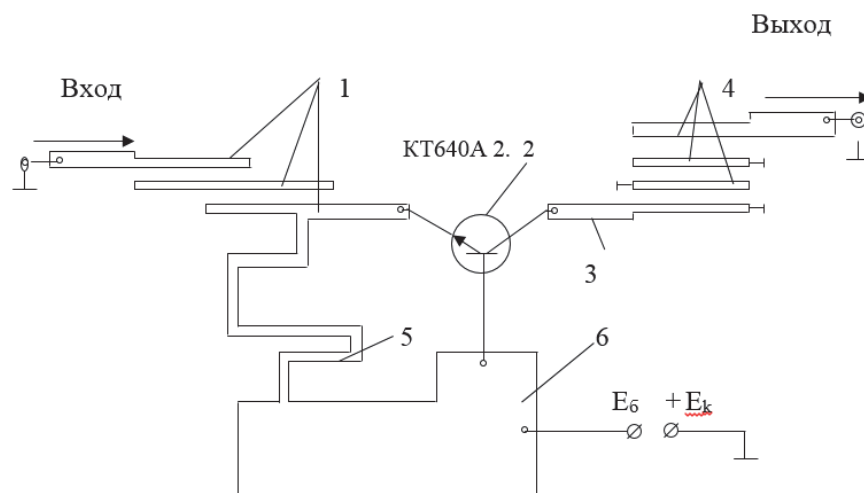


Рис. 2. Схема экспериментального макета ТПУЧ на транзисторе КТ640А2;
 1 - фильтр входного сигнала с частотой накачки; 2 - транзистор КТ640А2;
 3 - резонатор гармоник – выходного сигнала; 4 - фильтр выходного сигнала с частотой гармоник; 5 - дроссель в цепи питания; 6 - блокировочная емкость в цепи базы

Экспериментально исследованы и сняты амплитудно-частотные характеристики умножителя частоты на два (рис.3а) и энергетические зависимости выходной мощности от напряжения питания (рис.3б) при фиксированных уровнях накачки, результаты которых однозначно совпадают с расчётными.

Экспериментальный макет (рис.4) реализован также на транзисторе, специально разработанном для полосковых радиочастотных конструкций в области дециметровых и сантиметровых длин волн типов 2Т371А, КТ372Б, КТ640А2, КТ918А, КТ634А, 2Т938А-2.

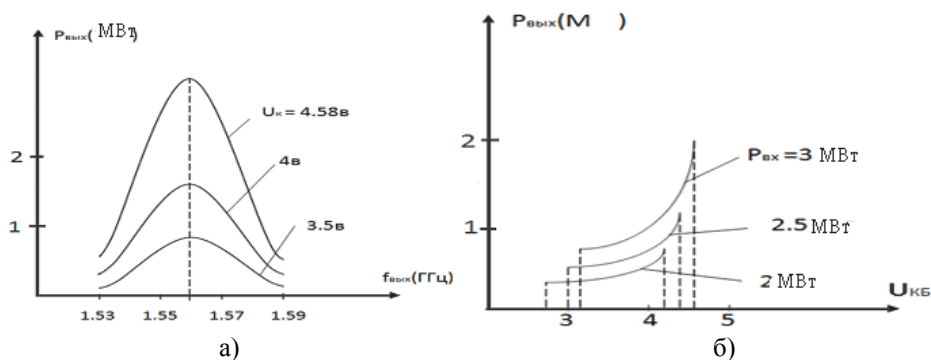


Рис.3. Экспериментально снятые характеристики ТПУЧ:
 а – частотные и б – энергетические

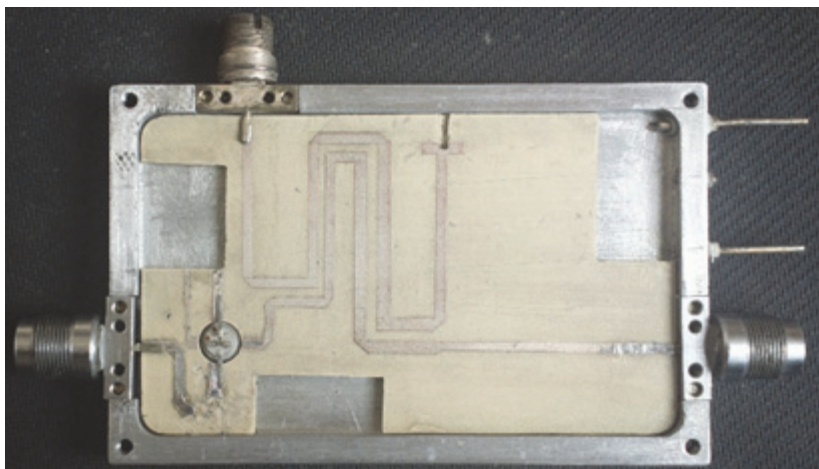


Рис. 4. Экспериментальный макет транзисторного параметрического умножителя СВЧ

Заключение. Реализованы и экспериментально исследованы макеты транзисторных умножителей СВЧ для устройств на полосковых линиях.

Обосновано использование предложенных методов расчета для проектирования преобразующих и передающих устройств сигналов СВЧ в области дециметровых и сантиметровых длин волн при разработке современных радиотехнических средств телекоммуникации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / **Л.А. Гасанов и др.** -М.: Радио и связь, 1988.- 288с.
2. Free non-Reciprocity and isolation based on parametrically modulated coupled-resonator loops / **Nicholas A. Estep, Dimitrios L. Jacson Soric and Andrea Alu Magnetic** // Nature Physics Macmillan Publishers Limited. - 2014. – P. 1-5.
3. **Азоян М.С.** Вывод основных соотношений для полупроводникового параметрического делителя СВЧ //Вестник ГИУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. - 2015. - N1. - С.91-97.
4. **Азоян М.С., Айвазян М.Ц.** Делители сигнала терагерцового диапазона // Известия НАН РА и НПУА. Серия Техн. наук. – 2020.- Т.73, N3. - С. 277- 286.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 04.04.2021.

Մ.Ս. ԱԶՈՅԱՆ, Դ.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՏՐԱՆԶԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԳԵՐԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱՀՈՒԹՅԱՆ
ԲԱԶՄԱՊԱՏԿՉԻ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Կատարվել է գերբարձր հաճախությամբ (ԳԲՀ) տրանզիստորային պարամետրիկ ձևափոխիչների փորձարարական հետազոտություն: ԳԲՀ ազդանշանների ձևափոխիչների հաշվարկի հիմքում ընդունում ենք ոչ գծային տարրի վոլտ-ամպերային (ՎԱԲ) և վոլտ-կուլոնային (ՎԿԲ) փորձնականորեն ստացված բնութագրերը: Խնդիրը լուծվում է գրաֆավերլուծական եղանակով՝ նշված բնութագրերից որոշակի, անհրաժեշտ քանակով ածանցյալների որոշմամբ, որոնք համարվում են էլակետային:

Առանցքային բառեր. ենթահարմոնիկ, հաճախության բազմապատկիչ, մղում, ակտիվ, ռեակտիվ, հաղորդականություն:

M.S. AZOYAN, D.A. GHAZARYAN

AN EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSISTOR PARAMETRIC
MULTIPLIERS OF MICROWAVES

An experimental study of transistor parametric multipliers of microwaves (MW) is performed. For the calculation of microwave converters, experimentally obtained current - voltage (I-V) and current - Coulomb (WSS) characteristics of nonlinear element are taken as a basis. The problem is solved by the graphical-analytical method, by selecting a necessary quantity of derivatives, with a glance of these characteristics, the values of which are original.

Keywords: subharmonic, frequency multiplier, pump, active, reactive, conductivity.

Ս.Գ. ԳՈՄՅԱՆ, Ա.Ա. ԽԱՌԱՏՅԱՆ

ՄԻԱԶԱԾ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՎԵՅՎԼԵՏ-ԶՏՄԱՆ ԵՎ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԶԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Վերջին տասնամյակներում ռադիոտեխնիկայում և կապի համակարգերում բարդ ազդանշանների և պատկերների մշակման ժամանակ, Ֆուրյե-ձևափոխության մեթոդների հետ զուգահեռ, կիրառություն են գտնում նաև վեյվլետ-ֆունկցիաները: Օրթոգոնալ բազիսների հիման վրա ստեղծված վեյվլետները միջանկյալ դիրք են զբաղեցնում սինտետիկ և իմպուլսային ֆունկցիայի միջև և իրենց յուրօրինակ հատկությունների շնորհիվ՝ կարող են մոտարկել ցանկացած ֆունկցիա:

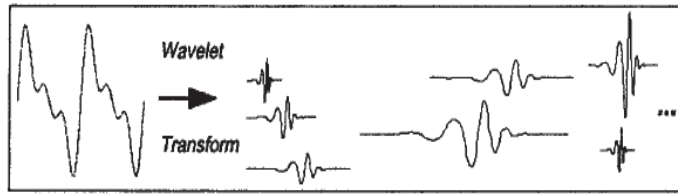
Ներկայացվել են ռադիոտեխնիկական ազդանշանների վերլուծման և վերականգնման, ինչպես նաև վեյվլետ-գտնում ալգորիթմները, որոնք կիրառում են հետազոտության արդյունքում ընտրված լավագույն վեյվլետ-բազիսներ և տրոհման մակարդակներ, շեմային մշակման արդյունավետ մեթոդներ և օպտիմալ շեմային արժեքներ: Մշակվել են վերոհիշյալ ալգորիթմներն իրականացնող համակարգչային ծրագրեր, որոնք թույլ են տալիս հաշվարկել հետազոտվող ազդանշանների չափորոշիչ պարամետրները և գնահատել ալգորիթմների արդյունավետությունը: Հետազոտության արդյունքների հիման վրա մշակվել է նաև համակարգչային մոդել, որը թույլ է տալիս իրականացնել միաչափ ազդանշանների վերականգնում և վեյվլետ-գտնում, ապահովելով ներբեռնված ազդանշանի վերականգնման նվազագույն սխալանքներ և աղմուկների արդյունավետ գտնում:

Առանցքային բառեր. մոտարկող և մանրամասնող վեյվլետ-գործակիցներ, արագ վեյվլետ-ձևափոխություն, տրոհման մակարդակ, շեմային մշակում, վերականգնման միջին քառակուսային սխալանք, ստանդարտ շեղում:

Ներածություն: Վեյվլետ-վերլուծության արդյունքում ազդանշանը ներկայացվում է մասշտաբավորված և ժամանակային առանցքով տեղաշարժված վեյվլետների համախմբով (նկ. 1ա), որոնք ձևավորվում են որոշակի ψ_0 սկզբնական բազիսային ֆունկցիայի հիման վրա.

$$\psi_{ab}(t) = a^{-\frac{1}{2}} \psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right):$$

Այդ համախումբը տարբեր է ազդանշանի որոշման տարբեր ժամանակահատվածներում և ներկայացնում է վերջինն այս կամ այն ճշտությամբ: Այսպիսի վերլուծության արդյունքում մասշտաբ-ժամանակ հարթության մեջ ստացված վեյվլետ-սպեկտրագրերը տարբերվում են ազդանշանների ճկուն ներկայացմամբ (նկ. 1բ), ուստի, ի տարբերություն Ֆուրյե-սպեկտրագրի, ավելի լավ են հարմարեցվում բարդ ազդանշանների տարատեսակ տեղային առանձնահատկությունների [1]:



ա)



բ)

Նկ. 1. Վեյվլետ-վերլուծության գաղափարը (ա) և վեյվլետ-սպեկտրագիրը (բ)

Գոյություն ունեն ինչպես անընդհատ (ԱնՎՁ), այնպես էլ ընդհատ վեյվլետ-ձևափոխության (ԸՎՁ) մեթոդներ, ընդ որում՝ ազդանշանների վերականգնման և գտման գործընթացում առավել արդյունավետ է ընդհատ վեյվլետ-ձևափոխությունը՝ հաշվարկման արագ ալգորիթմով [1-3]: ԸՎՁ-ի ժամանակ a և b մասշտաբային և ժամանակային պարամետրերը ընդհատավորվում են և ներկայացվում են երկուսին պատիկ արժեքներով ($a = 2^m$, $b = k \cdot 2^m$): $\psi(t)$ բազիսային վեյվլետի հիման վրա հաշվարկվում են ընդհատ վեյվլետ-գործակիցները, որոնք կոչվում են մանրամասնող, քանզի ներկայացնում են ազդանշանի առանձնահատկությունները.

$$\psi_{mk}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \psi(2^{-m}t - k), \quad d_{mk} = \int_{-\infty}^{\infty} a_0^{-\frac{m}{2}} \psi(a_0^{-m}t - k) S(t) dt:$$

Ազդանշանի ճշգրիտ վերականգնման համար, բացի $\psi(t)$ մանրամասնող ֆունկցիայից, օգտագործում են նաև մասշտաբավորող $\varphi(t)$ ֆունկցիան, որը որոշում է ազդանշանի կոպիտ մոտարկումը և հաշվարկում է մոտարկող վեյվլետ-գործակիցներ.

$$\varphi_{mk}(t) = 2^{-m/2} \varphi(2^{-m}t - k), \quad a_{mk} = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_{mk}(t) S(t) dt:$$

Տրոհման m մակարդակում ազդանշանը կներկայացվի մոտարկող և մանրամասնող վեյվլետ-գործակիցների գումարով՝ $S(t) = A_m(t) + \sum_{j=1}^m D_j(t)$:

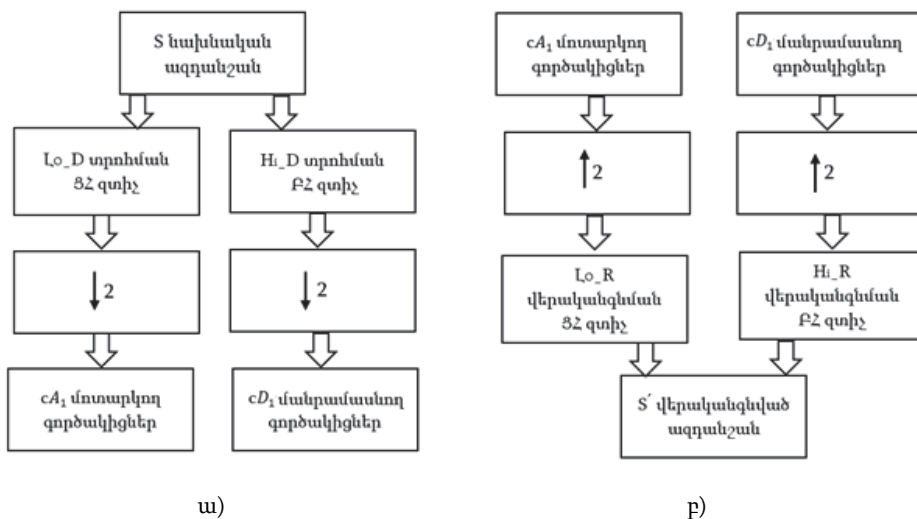
Ընդհատ վեյվլետ-ձևափոխության արագ ալգորիթմը (ԱՎՁ) հնարավորություն է տալիս հաշվել վեյվլետ-գործակիցները առանց ինտեգրման՝ օգտագործելով պարզ հանրահաշվական գործողություններ փաթույթի հիման վրա: Այս դեպքում մասշտաբավորող և մոտարկող ժամանակային ֆունկցիաները ներկայացվում են համապատասխան վեյվլետ-գոիչների h_n և g_n գործակիցներով ($g_n = (-1)^l h_{2n-1-l}$), որոնք լիովին բնութագրում են վեյվլետ-ֆունկցիաները և թույլ են տալիս ճշգրիտ վերականգնել ազդանշանը [2].

$$a_{mk} = (S(t), \varphi_{mk}(t)) = \sum_l h_{l-2k} (\varphi(t), \varphi_{m-1,l}(t)) = \sum_l h_{l-2k} a_{l,m-1},$$

$$d_{mk} = (S(t), \Psi_{mk}(t)) = \sum_l g_{l-2k} (\varphi(t), \varphi_{m-1,l}(t)) = \sum_l g_{l-2k} a_{l,m-1}:$$

Ստացվում է, որ ԱՎՁ-ն կարող է իրականացվել նաև հաճախականային տիրույթում, երբ վեյվլետի հաճախականային ֆունկցիան ներկայացվում է L_0 ցածրահաճախական (ՑՀ) և H_0 բարձրահաճախական (ԲՀ) գոիչներով, ընդ որում՝ գոիչների փոխանցման բնութագրերի գործակիցները համապատասխանում են մոտարկող և մանրամասնող վեյվլետ-գործակիցներին [2]: Տրոհման յուրաքանչյուր մակարդակում ազդանշանի հաճախականային սպեկտրը նեղանում է երկու անգամ, ինչը հիմք է հանդիսանում ազդանշանների սեղմման և աղմուկերից մաքրման համար:

Վերականգնման հետազոտության արդյունքները: Նկ.2-ում ներկայացված է մեկ մակարդակի ուղիղ ԱՎՁ-ի ալգորիթմը:

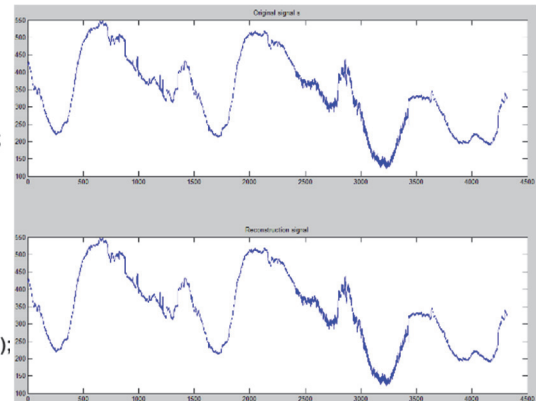


Նկ. 2. Ազդանշանի մեկ մակարդակի տրոհման (ա) և վերականգնման (բ) ալգորիթմը

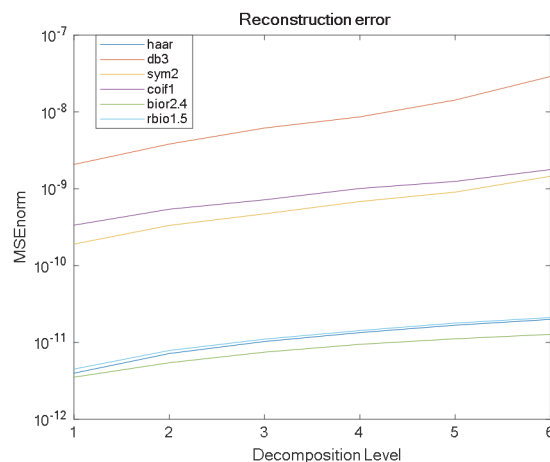
Ուղիղ ձևափոխության ընթացքում հաշվարկվում են S ազդանշանի տրոհման առաջին մակարդակի cA_1 մոտարկող և cD_1 մանրամասնող գործակիցները, որոնք ստացվում են SZ և FZ տրոհման գոիչների (L_0D և H_1D) և ազդանշանի փաթույթից՝ հետագա դեցիմացիայի արդյունքում ($2\downarrow$): Հակադարձ ձևափոխության ժամանակ կատարվում է արդեն հայտնի գործակիցների միջարկում գրոների ավելացմամբ ($2\uparrow$), որից հետո իրականացվում է ստացված զանգվածների և L_0R , H_1R վերականգնման գոիչների փաթույթը: Արդյունքում սինթեզվում է նախնական ազդանշանը որոշակի ճշտությամբ: Բազմամակարդակ ձևափոխության դեպքում կատարվում է մոտարկող գործակիցների աստիճանային տրոհում մինչև անհրաժեշտ մակարդակը:

MATLAB միջավայրում մշակվել է ծրագիր, որն իրականացնում է *leleccum* սակավ աղմկային էլեկտրական տատանումների ԱՎԶ՝ տարբեր տեսակի վեյվլետներով 1-ից մինչև 6-րդ մակարդակի տրոհմամբ, հաշվարկում է ազդանշանի վերականգնման միջին քառակուսային սխալանքը (MSE) և կառուցում սխալանքի կախվածության գրաֆիկները տրոհման մակարդակներից (նկ. 3): Վերականգնման լավագույն արդյունքները ապահովում են կանոնավոր սիմետրիկ Հաարայի (*haar*) և բիօրթոգոնալ (*bior*, *rbio*) վեյվլետները, որոնց կիրառմամբ $MSE \approx 10^{-12}$: Հանգում ենք նաև այն եզրակացության, որ օպտիմալ են տրոհման առաջնային մակարդակները, որտեղ սխալանքները ստացվում են նվազագույն արժեքներով: Այս դեպքում կրճատվում է նաև հաշվարկային ժամանակը՝ քիչ քանակությամբ վեյվլետ-գործակիցների հաշվարկման շնորհիվ:

```
load leleccum; s = leleccum(1: 4320);
[ca1, cd1] = dwt(s, 'sym2');
ss = idwt(ca1, cd1, 'sym2');
subplot(211); plot(s); title('original signal s');
subplot(212); plot(ss); title('reconstruction signal');
err = norm(s-ss)
err =
    1.9083e-10
[c, l] = wavedec(s, 4, 'sym2');
ss = waverec(c, l, 'sym2');
subplot(211); plot(s); title('Original signal s')
subplot(212); plot(ss); title('Reconstruction signal');
err = norm(s-ss)
err =
    6.8291e-10
```



Վեյվլետ	Տրոհման մակարդակ					
	1	2	3	4	5	6
haar	3.9846e-12	7.1847e-12	1.0300e-11	1.3449e-11	1.6787e-11	1.9957e-11
db3	2.0750e-09	3.8238e-09	6.1808e-09	8.6391e-09	1.4296e-08	2.8969e-08
sym2	1.9083e-10	3.3370e-10	4.7258e-10	6.8291e-10	9.0622e-10	1.4559e-09
coif1	3.3612e-10	5.4248e-10	7.1944e-10	1.0106e-09	1.2479e-09	1.7808e-09
bior2.4	3.5317e-12	5.4473e-12	7.4804e-12	9.4578e-12	1.1159e-11	1.2748e-11
rbio1.5	4.5096e-12	7.8651e-12	1.1052e-11	1.4302e-11	1.7898e-11	2.1089e-11

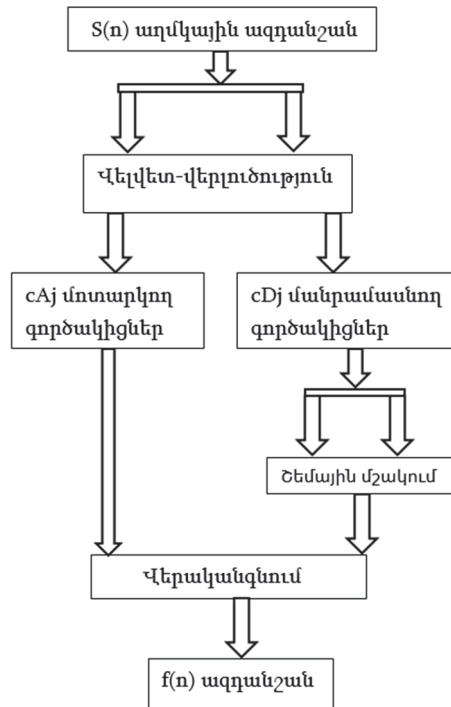


Նկ. 3. *leleccum* ազդանշանի վերականգնման արդյունքները

Վեյվլետ-գտման հետազոտության արդյունքները: Վեյվլետ-գտման սկզբունքը որոշակի շեմային արժեքից փոքր մանրամասնող գործակիցների գրոյացումն է: Այս գործընթացը կոչվում է վեյվլետ-գործակիցների շեմային մշակում կամ թրեշոլդինգ [1-4]: Վեյվլետ-գտման ալգորիթը ներկայացված է նկ. 4-ում: Նախ ընտրվում են վեյվլետի տեսակը և տրոհման մակարդակը, ապա հաշվվում են բոլոր մակարդակների մոտարկող և մանրամասնող գործակիցները, յուրաքանչյուր մակարդակի համար տարբեր կանոններով [1,2] որոշվում են շեմային արժեքները, և իրականացվում է մանրամասնող գործակիցների շեմային մշակում տարբեր եղանակներով [1,2], կատարվում է վեյվլետ-վերականգնում՝ յուրաքանչյուր մակարդակի հաշվարկված մոտարկող գործակիցների և շեմային մշակում անցած մանրամասնող գործակիցների վերամիավորմամբ:

Վեյվլետ-գտման արդյունավետ գործոնների ու եղանակների հետազոտումը MATLAB-ի Wavelet Toolbox գրաֆիկական միջավայրում հանգեցրեց այն եզրակացության, որ աղմուկների մաքրման համար առավել նպատակահարմար են տվյալ վեյվլետ-ընտանիքի ավելի բարձր կարգի վեյվլետները և ազդանշանի տրոհման

ստորին մակարդակները, մեղմ շեմային մշակման եղանակը, ինչպես նաև շեմի հաշվարկման Fixed form threshold լոգարիթմական կանոնը [5]:



Նկ. 4. Վելվետ-գտման ալգորիթմը

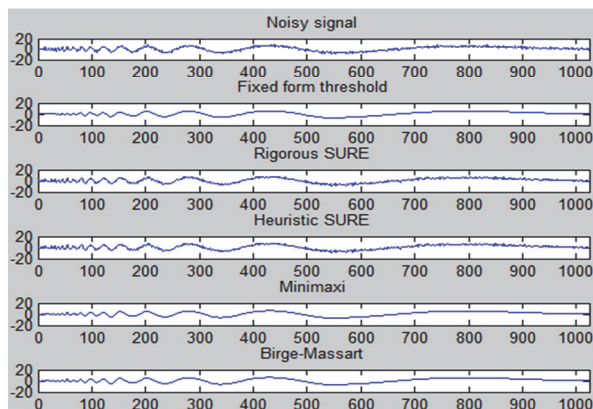
Զտման արդյունավետության գնահատման համար կազմվել է ծրագիր, որը կատարում է հետազոտվող ազդանշանի մաքրում ադմուկներից sym8 վելվետով, տրոհման 8-րդ մակարդակով և մեղմ, ընդհանուր շեմային մշակման մեթոդով (նկ.5): Օգտագործված են շեմի հաստատման 5 կանոններ, և յուրաքանչյուրի համար որոշված են շեմային արժեքները: noisdopp ադմկային դոպլերյան ազդանշանի գտման արդյունավետությունը պարզելու համար հաշվարկված է ստանդարտ շեղումը (STD), որը թույլ է տալիս գնահատել գտված մանրամասնող վելվետ-գործակիցների ադմուկների մակարդակը: Արդյունքների հիման վրա կարելի է եզրակացնել, որ դիտարկված ազդանշանի արդյունավետ գտում կարելի է ստանալ ոչ միայն Fixed form threshold, այլ նաև Minimaxi և Birge-Massart շեմային արժեքների հաստատման կանոններով, որոնց կիրառմամբ շեմային մշակում անցած մանրամասնող գործակիցների ստանդարտ շեղումը՝ $STD \approx 10^{-16}$:

Վելվետ-գտման և վերականգնման համակարգչային մոդելը: MATLAB-ի SIMULINK միջավայրում DSP System Toolbox ընդլայնման փաթեթի միջոցներով [6,7] մշակվել է համակարգչային մոդել, որը, վերը ներկայացված ալգորիթմներին

համապատասխան, իրականացնում է միաչափ ազդանշանների վերականգնում և աղմուկներից զտում:

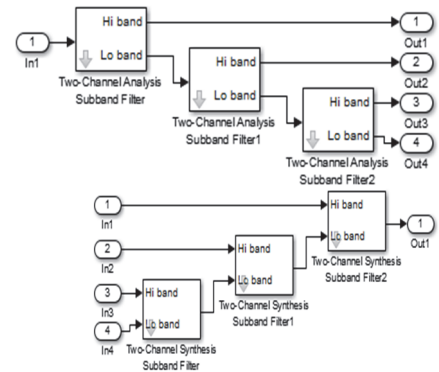
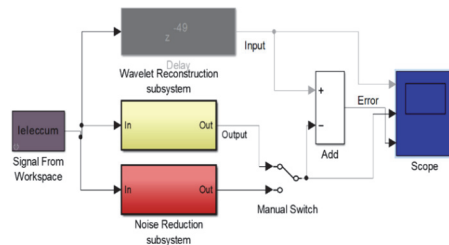
```
load noisdopp;x=noisdopp(1:1024);
thr1=thselect(x,'sqtwolog')
thr1 = 3.7233
>> thr2=thselect(x,'rigrsure')
thr2 = 0.1649
>> thr3=thselect(x,'heursure')
thr3 = 0.1649
>> thr4=thselect(x,'minimaxi')
thr4 = 2.2226
>> [c,l]=wavedec(x,8,'sym8');
STD=wnoisest(c,l,1)
STD = 0.9535
>> ALPHA=1;thr5=wbpmpen(c,l,STD,ALPHA)
thr5 = 2.2259
>> xd1=wdencmp('gbl', c,l, 'sym8',8, thr1,'s',1);
[xdc,xd1]=wavedec(xd1,8,'sym8');STD1=wnoisest(xdc,xd1,1)
STD1 = 2.8355e-16
xd2=wdencmp('gbl', c,l, 'sym8',8, thr2,'s',1);
[xdc,xd1]=wavedec(xd2,8,'sym8');STD2=wnoisest(xdc,xd1,1)
STD2 = 0.7125
>> xd3=wdencmp('gbl', c,l, 'sym8',8, thr3,'s',1);
[xdc,xd1]=wavedec(xd3,8,'sym8');STD3=wnoisest(xdc,xd1,1)
STD3 = 0.7125
>> xd4=wdencmp('gbl', c,l, 'sym8',8, thr4,'s',1);
[xdc,xd1]=wavedec(xd4,8,'sym8');STD4=wnoisest(xdc,xd1,1)
STD4 = 5.1437e-16
>> xd5=wdencmp('gbl', c,l, 'sym8',8, thr5,'s',1);
[xdc,xd1]=wavedec(xd5,8,'sym8');STD5=wnoisest(xdc,xd1,1)
STD5 = 4.1664e-16
```

Շեմի քննարկման մեթոդ	Աղմուկային ազդանշան - noisdopp (STD=0.9535)	
	Շեմի արժեքը (thresh)	Աղմուկի մակարդակը շեմային մշակում անցած գործակիցներում (STD)
sqtwolog	3.7233	2.8355e-16
rigrsure	0.1649	0.7125
heursure	0.1649	0.7125
minimaxi	2.2226	5.1437e-16
wbpmpen	2.2259	4.1664e-16



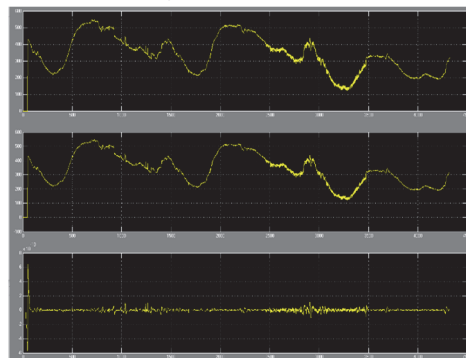
Նկ. 5. noisdopp ազդանշանի զտման արդյունքները

leleccum ազդանշանի վերլուծման ու վերականգնման համար միացվում է եռամակարդակ օրթոգոնալ վեյվլետ-գոիչներից բաղկացած վերականգնման Wavelet Reconstruction Subsystem ենթահամակարգը (նկ. 6ա,բ): Արդյունքները պատկերում են երեք օսցիլոգրամները՝ ըստ նախնական և վերականգնված ազդանշանների, ինչպես նաև սխալանքային բաղադրիչի (նկ. 6գ): Ինչպես տեսնում ենք, վերականգնումը ստացվում է գրեթե իդեալական, քանի որ սխալանքը չի գերազանցում $6 \cdot 10^{-10}$ -ը:



ա)

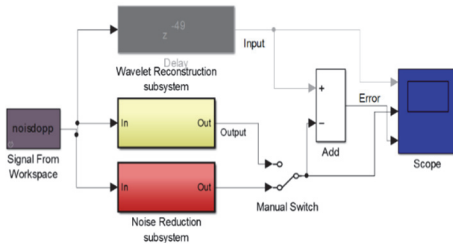
բ)



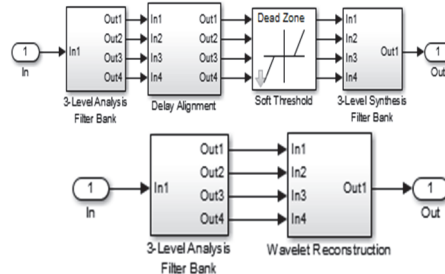
գ)

Նկ. 6. Միաշաղի ազդանշանների վերականգնման համակարգչային մոդելը (ա)՝
ենթահամակարգի վելվիտ-գտիչների ենթահամակարգով (բ) և ստացված արդյունքները (գ)

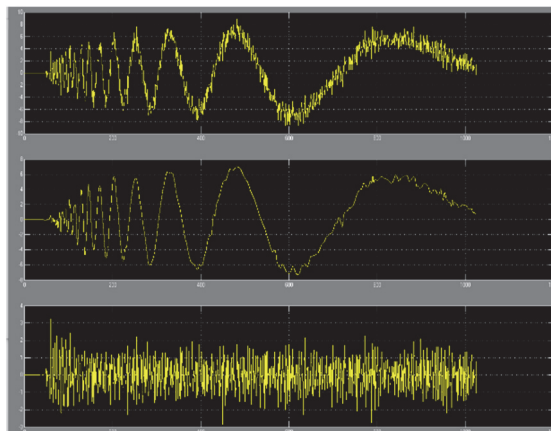
noisdopp ազդանշանի գոտում իրականացնելու համար Manual Switch փոխանցատիչով միացվում է Noise Reduction Subsystem ենթահամակարգը (նկ. 7ա,բ): Օսցիլոգրաֆը պատկերում է նախնական և աղմուկներից զտված ազդանշանների, ինչպես նաև աղմկային բաղադրիչի (նկ. 7գ) գրաֆիկները: Թե վերականգնման, թե զտման ընթացքում ստացված օսցիլոգրամների տեսքերը վկայում են մշակված մոդելի արդյունավետության մասին, քանի որ դրա արդյունքները չեն զիջում ծրագրային ռեժիմում և Wavelet Toolbox գրաֆիկական միջավայրում ստացված արդյունքներին:



ա)



բ)



գ)

Նկ. 7. Միաչափ ազդանշանների վեյվլետ-գտման համակարգչային մոդելը (ա)՝
էռամակարդակ վեյվլետ-գտիչների ենթահամակարգով (բ) և ստացված արդյունքները (գ)

Եզրակացություն: Կատարված հետազոտությունների արդյունքները վկայում են վեյվլետ-ֆունկցիաներով ռադիոտեխնիկական ազդանշանների վերլուծման, վերականգնման և աղմուկներից զտման արդյունավետության մասին, ինչը հաստատում են նաև հաշվարկված չափորոշիչ պարամետրների թվային արժեքները, որոնք ստացվում են բավականաչափ փոքր՝ $MSE \approx 10^{-12}$ և $STD \approx 10^{-16}$: Դա հնարավորություն է տալիս վեյվլետ-ձևափոխության մեթոդները հաջողությամբ օգտագործել Ֆուրյե-ձևափոխության մեթոդներին գույքընթաց: Իսկ մշակված վերականգնման և վեյվլետ-գտման համակարգչային մոդելը մեծ արդյունավետությամբ կարող է կիրառություն գտնել ցանկացած տեսակի միաչափ ազդանշանների մշակման դեպքում, ընդ որում՝ ոչ միայն ռադիոտեխնիկայի և կապի համակարգերում, այլև գիտության և տեխնիկայի այլ ոլորտներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ ՑԱՆԿ

1. **Дьяконов В.П.** Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 446с.
2. **Смоленцев Н.К.** Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304с.
3. **Воробьев В.И., Грибунин В.Г.** Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб.: Изд-во ВУС, 1999. – 208с.
4. **Яковлев А.Н.** Введение в вейвлет-преобразования: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104с.
5. **Գոմցյան Ս.Գ., Մարգարյան Մ.Ս., Բադալյան Բ.Ֆ., Գոմցյան Հ.Ա.** Ազդանշանների զտումը WAVELET Toolbox միջավայրում // ՀԱՊՀ-ի Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. - Մաս 1. – Երևան, 2017. – էջ 395-400:
6. **Բադալյան Բ.Ֆ., Գոմցյան Հ.Ա.** SIMULINK-ի կիրառումը ռադիոտեխնիկայում: Ուսումնական ձեռնարկ. - Մաս 1 / ՀԱՊՀ. - Եր.: Ճարտարագետ, 2016. - 96 էջ:
7. **Բադալյան Բ.Ֆ., Գոմցյան Ս.Գ.** SIMULINK-ի կիրառումը ռադիոտեխնիկայում: Ուսումնական ձեռնարկ. - Մաս 2 / ՀԱՊՀ. - Եր.: Ճարտարագետ, 2020. - 168 էջ:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական հաալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 19.06.2021:

С.Г. ГОМЦЯН, А.А. ХАРАТЯН

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

В последние десятилетия в радиотехнике и системах связи при обработке сложных сигналов и изображений параллельно с методами преобразования Фурье находят применение вейвлет-функции. Основанные на ортогональных базисах, вейвлеты занимают промежуточное положение между синусоидой и импульсной функцией и, в силу своих уникальных свойств, могут аппроксимировать любую функцию.

Представлены алгоритмы анализа и восстановления, а также вейвлет-фильтрации радиотехнических сигналов, в которых используются наилучшие вейвлет-базы, оптимальные уровни декомпозиции, эффективные методы пороговой обработки и оптимальные пороговые значения, выбранные в результате исследований. Разработаны программы, реализующие указанные выше алгоритмы, которые рассчитывают оценочные параметры анализируемых сигналов, позволяющие оценить эффективность алгоритмов. На основе результатов исследований разработана компьютерная модель, которая осуществляет анализ и восстановление, а также вейвлет-фильтрацию одномерного сигнала, обеспечивая минимальные ошибки восстановления и эффективную очистку от шума.

Ключевые слова: аппроксимирующие и детализирующие вейвлет-коэффициенты, быстрое вейвлет-преобразование, уровень декомпозиции, пороговая обработка, среднеквадратичная ошибка восстановления, стандартное отклонение.

S.G. GOMTSYAN, A.A. KHARATYAN

**DEVELOPING A COMPUTER MODEL OF WAVELET FILTERING AND
RECONSTRUCTION OF ONE-DIMENSIONAL SIGNALS**

In recent decades, wavelet functions have been used in radio engineering and communication systems for processing complex signals and images in parallel with the Fourier transform methods. Based on orthogonal bases, wavelets occupy an intermediate position between a sinusoid and an impulse function and, due to their unique properties, can approximate any function.

Algorithms for analysis and reconstruction, as well as wavelet filtering of radio engineering signals, are presented, which use the best wavelet bases, optimal decomposition levels, effective thresholding methods and optimal threshold values selected as a result of research. Programs have been developed which implement the above algorithms, which calculate the estimating parameters of the analyzed signals, which make it possible to evaluate the effectiveness of the algorithms. Based on the research results, a computer model has been developed which performs analysis and reconstruction, as well as wavelet filtering of a one-dimensional signal, providing minimal reconstruction errors and effective noise removal.

Keywords: approximating and detailing wavelet coefficients, fast wavelet transform, decomposition level, thresholding, root mean square error of reconstruction, standard deviation.

С.О. СИМОНЯН

**К РЕШЕНИЮ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБОБЩЕННОЙ
МАТРИЧНОЙ ПАЛИНДРОМНОЙ ЗАДАЧИ ТИПА**

$$A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^*(t) \cdot X(t)$$

По аналогии с цифровыми задачами, рассматривается однопараметрическая обобщённая матричная палиндромная задача отмеченного типа. Задача решается в три этапа: на первом этапе задача редуцируется в эквивалентную обычную обобщённую спектральную задачу с некоторой аппроксимирующей матрицей; на втором этапе определяются собственные значения-функции этой аппроксимирующей матрицы; на третьем этапе – соответствующие собственные векторы-функции. На всех этапах вычислений основным математическим аппаратом выступают дифференциальные преобразования, позволяющие сравнительно легко реализовать решение исходной непрерывной задачи средствами современных информационных технологий.

Ключевые слова: однопараметрическая обобщённая матричная палиндромная задача, трансформация исходной задачи в эквивалентную задачу, дифференциальные преобразования, последовательные и параллельные вычислительные процедуры, средства современных информационных технологий, непрерывное решение непрерывной задачи.

Введение. В работе [1] рассмотрена однопараметрическая обобщённая матричная палиндромная задача

$$\underset{n \times n}{A(t)} \cdot \underset{n \times 1}{X(t)} = \underset{1 \times 1}{\lambda(t)} \cdot \underset{n \times n}{B(t)} \cdot \underset{n \times 1}{X(t)}, \quad (1)$$

для решения которой применением дифференциальных преобразований [2] предложены последовательные и параллельные численно-аналитические вычислительные процедуры.

В работе [3] рассмотрена однопараметрическая обобщённая матричная палиндромная транспонированная задача

$$\underset{n \times n}{A(t)} \cdot \underset{n \times 1}{X(t)} = \underset{1 \times 1}{\lambda(t)} \cdot \underset{n \times n}{A^T(t)} \cdot \underset{n \times 1}{X(t)}, \quad (2)$$

для решения которой применением дифференциальных преобразований также предложены последовательные и параллельные численно-аналитические вычислительные процедуры.

В настоящей работе рассматривается однопараметрическая обобщенная матричная палиндромная сопряженная задача

$$\underset{n \times n}{A(t)} \cdot \underset{n \times 1}{X(t)} = \underset{1 \times 1}{\lambda(t)} \cdot \underset{n \times n}{A^*(t)} \cdot \underset{n \times 1}{X(t)}, \quad (3)$$

для решения которой предлагаются аналогичные численно-аналитические вычислительные процедуры, полагая при этом, что матрица $A^*(t)$ невырождена.

Таким образом, задачу (3), по аналогии с числовыми задачами [4], можно свести к обычной однопараметрической спектральной задаче. Действительно, умножив (3) на $(A^*(t))^{-1} \equiv A^{-*}(t)$, получим

$$A^{-*}(t) \cdot A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot X(t)$$

или

$$[\underset{n \times n}{D(t)} - \underset{1 \times 1}{\lambda(t)} \cdot \underset{n \times n}{E}] \cdot \underset{n \times 1}{X(t)} = 0, \quad (4)$$

где

$$D(t) = A^{-*}(t) \cdot A(t), \quad (5)$$

E - единичная матрица порядка n ; $\lambda_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ - собственные значения-функции матрицы $D(t)$; $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ - собственные векторы-функции матрицы $D(t)$, соответствующие собственным значениям-функциям $\lambda_i(t)$, $i = \overline{1, n}$.

Следовательно, решение задачи (3) сводится к решению следующих трех подзадач:

- определение аппроксимирующей матрицы $D(t)$;
- определение собственных значений-функций $\lambda_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ матрицы $D(t)$;
- определение собственных векторов-функций $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ матрицы $D(t)$.

Математический аппарат

I. Определение аппроксимирующей матрицы $D(t)$

1. Аналитические представления

Пусть имеют место разложения

$$A(t) = A_1(t) + j \cdot A_2(t), \quad (6)$$

$$D(t) = D_1(t) + j \cdot D_2(t) \quad (7)$$

и в соответствии с (5)

$$A(t) = A^*(t) \cdot D(t) \quad (8)$$

или

$$A_1(t) + j \cdot A_2(t) = [A_1^T(t) - j \cdot A_2^T(t)] \cdot [D_1(t) + j \cdot D_2(t)],$$

откуда имеем систему

$$\begin{cases} A_1(t) = A_1^T(t) \cdot D_1(t) + A_2^T(t) \cdot D_2(t), \\ A_2(t) = A_1^T(t) \cdot D_2(t) - A_2^T(t) \cdot D_1(t). \end{cases} \quad (9)$$

Последнюю можно представить и в виде

$$\left[\begin{array}{c|c} A_1(t) & A_2(t) \end{array} \right]_{n \times 2n} = \left[\begin{array}{c|c} A_1^T(t) & A_2^T(t) \end{array} \right]_{n \times 2n} \cdot \left[\begin{array}{c|c} D_1(t) & D_2(t) \\ \hline D_2(t) & D_1(t) \end{array} \right]_{2n \times 2n} \quad (10)$$

или

$$\left[\begin{array}{c} A_1(t) \\ A_2(t) \end{array} \right]_{2n \times n} = \left[\begin{array}{c|c} A_1^T(t) & A_2^T(t) \\ \hline -A_2^T(t) & A_1^T(t) \end{array} \right]_{2n \times 2n} \cdot \left[\begin{array}{c} D_1(t) \\ D_2(t) \end{array} \right]_{2n \times n}. \quad (11)$$

Следовательно, из (10) имеем

$$\left[\begin{array}{c|c} D_1(t) & D_2(t) \\ \hline D_2(t) & D_1(t) \end{array} \right]_{2n \times 2n} = \left[\begin{array}{c|c} A_1^T(t) & A_2^T(t) \end{array} \right]_{n \times 2n}^+ \cdot \left[\begin{array}{c|c} A_1(t) & A_2(t) \end{array} \right]_{n \times 2n}, \quad (12)$$

а из (11):

$$\left[\begin{array}{c} D_1(t) \\ D_2(t) \end{array} \right]_{2n \times n} = \left[\begin{array}{c|c} A_1^T(t) & A_2^T(t) \\ \hline -A_2^T(t) & A_1^T(t) \end{array} \right]_{2n \times 2n}^+ \cdot \left[\begin{array}{c} A_1(t) \\ A_2(t) \end{array} \right]_{2n \times n}. \quad (13)$$

Замечание 1. Для нахождения однопараметрических обобщенных обратных матриц в (12) и (13) можно использовать методы, предложенные в монографии [5].

2. Численно-аналитические представления

Теперь рассмотрим решение первой подзадачи применением дифференциальных преобразований.

Пусть для матриц $A_1(t)$, $A_2(t)$ и $D_1(t)$, $D_2(t)$ с аналитическими элементами имеют место дифференциальные преобразования

$$A_1(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{\partial^k A_1(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad A_1(t) = \chi_1(t, t_v, H, A_1(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (14)$$

$$A_2(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{\partial^k A_2(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad A_2(t) = \chi_2(t, t_v, H, A_2(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (15)$$

$$D_1(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{\partial^k D_1(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad D_1(t) = \chi_3(t, t_v, H, D_1(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (16)$$

$$D_2(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{\partial^k D_2(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad D_2(t) = \chi_4(t, t_v, H, D_2(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (17)$$

где $A_1(K)$, $A_2(K)$ и $D_1(K)$, $D_2(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ – матричные дискреты матриц $A_1(t)$, $A_2(t)$ и $D_1(t)$, $D_2(t)$ соответственно; H – масштабный коэффициент; t_v – центр аппроксимации; символ $\overline{\cdot}$ – знак перехода из области оригиналов в область дифференциальных изображений и наоборот; $\chi_1(\cdot) - \chi_4(\cdot)$ – некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы $A_1(t)$, $A_2(t)$ и $D_1(t)$, $D_2(t)$ соответственно.

а) Последовательные численно-аналитические процедуры определения аппроксимирующей матрицы $D(t)$

Ввиду намного более приемлемого варианта оперируем представлением (11) и переведем его из области оригиналов в область дифференциальных изображений при $H = 1$. Получим:

при $K=0$:

$$\begin{bmatrix} D_1(0) \\ D_2(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^T(0) & A_2^T(0) \\ -A_2^T(0) & A_1^T(0) \end{bmatrix}^+ \cdot \begin{bmatrix} A_1(0) \\ A_2(0) \end{bmatrix}; \quad (18)$$

при $K=1$:

$$\begin{bmatrix} A_1(1) \\ A_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^T(0) & A_2^T(0) \\ -A_2^T(0) & A_1^T(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1(1) \\ D_2(1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1^T(1) & A_2^T(1) \\ -A_2^T(1) & A_1^T(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1(0) \\ D_2(0) \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} D_1(1) \\ D_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^T(0) & A_2^T(0) \\ -A_2^T(0) & A_1^T(0) \end{bmatrix}^+ \cdot \left[\begin{bmatrix} A_1(1) \\ A_2(1) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A_1^T(1) & A_2^T(1) \\ -A_2^T(1) & A_1^T(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1(0) \\ D_2(0) \end{bmatrix} \right]; \quad (19)$$

при $K=2$:

$$\begin{bmatrix} \frac{A_1(2)}{A_2(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(0)}{-A_2^T(0)} \mid \frac{A_2^T(0)}{A_1^T(0)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(2)}{D_2(2)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(1)}{-A_2^T(1)} \mid \frac{A_2^T(1)}{A_1^T(1)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(1)}{D_2(1)} \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(2)}{-A_2^T(2)} \mid \frac{A_2^T(2)}{A_1^T(2)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(0)}{D_2(0)} \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} \frac{D_1(2)}{D_2(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(0)}{-A_2^T(0)} \mid \frac{A_2^T(0)}{A_1^T(0)} \end{bmatrix}^+ \cdot \left[\begin{bmatrix} \frac{A_1(2)}{A_2(2)} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(1)}{-A_2^T(1)} \mid \frac{A_2^T(1)}{A_1^T(1)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(1)}{D_2(1)} \end{bmatrix} - \right. \\ \left. - \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(2)}{-A_2^T(2)} \mid \frac{A_2^T(2)}{A_1^T(2)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(0)}{D_2(0)} \end{bmatrix} \right],$$

$\vdots$

при $K=K$:

$$\begin{bmatrix} \frac{A_1(K)}{A_2(K)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(0)}{-A_2^T(0)} \mid \frac{A_2^T(0)}{A_1^T(0)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(K)}{D_2(K)} \end{bmatrix} + \sum_{l=1}^K \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(l)}{-A_2^T(l)} \mid \frac{A_2^T(l)}{A_1^T(l)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(K-l)}{D_2(K-l)} \end{bmatrix},$$

откуда

$$\begin{bmatrix} \frac{D_1(K)}{D_2(K)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(0)}{-A_2^T(0)} \mid \frac{A_2^T(0)}{A_1^T(0)} \end{bmatrix}^+ \cdot \left[\begin{bmatrix} \frac{A_1(K)}{A_2(K)} \end{bmatrix} - \sum_{l=1}^K \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(l)}{-A_2^T(l)} \mid \frac{A_2^T(l)}{A_1^T(l)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{D_1(K-l)}{D_2(K-l)} \end{bmatrix} \right]. \quad (21)$$

Теперь, обозначив

$$\begin{bmatrix} \frac{D_1(l)}{D_2(l)} \end{bmatrix} = \underline{D(l)}, \quad \begin{bmatrix} \frac{A_1(l)}{A_2(l)} \end{bmatrix} = \underline{A(l)}, \quad \begin{bmatrix} \frac{A_1^T(l)}{-A_2^T(l)} \mid \frac{A_2^T(l)}{A_1^T(l)} \end{bmatrix} = \underline{\underline{A^T(l)}}, \quad l = \overline{0, K},$$

для вычисления матричных дискретов $\underline{D(K)}$ аппроксимирующей матрицы $D(t)$ получим следующее общее представление:

$$\underline{D(K)} = \underline{\underline{A^{+T}(0)}} \cdot \underline{A(K)} - \sum_{l=1}^K \underline{\underline{A^T(l)}} \cdot \underline{D(K-l)}, \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (22)$$

Таким образом, имея матричные дискреты (18)-(21), в соответствии с (16), (17) можно восстановить матрицы $D_1(t)$ и $D_2(t)$, а в соответствии с (7) - и аппроксимирующую матрицу $D(t)$.

б) Параллельные численно-аналитические процедуры определения аппроксимирующей матрицы $D(t)$

Теперь, объединив рекуррентные соотношения (18)-(21), получим гиперматрично-гипервекторное представление

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{A^T(0)}} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \underline{\underline{A^T(1)}} & \underline{\underline{A^T(0)}} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \underline{\underline{A^T(2)}} & \underline{\underline{A^T(1)}} & \underline{\underline{A^T(0)}} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \underline{\underline{A^T(3)}} & \underline{\underline{A^T(2)}} & \underline{\underline{A^T(1)}} & \underline{\underline{A^T(0)}} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \underline{\underline{A^T(K)}} & \underline{\underline{A^T(K-1)}} & \underline{\underline{A^T(K-2)}} & \underline{\underline{A^T(K-3)}} & \dots & \underline{\underline{A^T(1)}} & \underline{\underline{A^T(0)}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{\underline{D(0)}} \\ \underline{\underline{D(1)}} \\ \underline{\underline{D(2)}} \\ \underline{\underline{D(3)}} \\ \vdots \\ \underline{\underline{D(K)}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{A(0)}} \\ \underline{\underline{A(1)}} \\ \underline{\underline{A(2)}} \\ \underline{\underline{A(3)}} \\ \vdots \\ \underline{\underline{A(K)}} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$(K+1) \cdot n \times (K+1) \cdot n$
 $(K+1) \cdot n \times n$
 $(K+1) \cdot n \times n$

или в компактной форме записи:

$$\underline{\underline{A^T}}(\bullet) \cdot \underline{\underline{D}}(\bullet) = \underline{\underline{A}}(\bullet), \quad (24)$$

откуда

$$\underline{\underline{D}}(\bullet) = \underline{\underline{A^{+T}}}(\bullet) \cdot \underline{\underline{A}}(\bullet) \quad (25)$$

или

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{D(0)}} \\ \underline{\underline{D(1)}} \\ \underline{\underline{D(2)}} \\ \underline{\underline{D(3)}} \\ \vdots \\ \underline{\underline{D(K)}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{A_0}} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \underline{\underline{A_1}} & \underline{\underline{A_0}} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \underline{\underline{A_2}} & \underline{\underline{A_1}} & \underline{\underline{A_0}} & 0 & \dots & 0 \\ \underline{\underline{A_3}} & \underline{\underline{A_2}} & \underline{\underline{A_1}} & \underline{\underline{A_0}} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{\underline{A_K}} & \underline{\underline{A_{K-1}}} & \underline{\underline{A_{K-2}}} & \underline{\underline{A_{K-3}}} & \dots & \underline{\underline{A_0}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{\underline{A(0)}} \\ \underline{\underline{A(1)}} \\ \underline{\underline{A(2)}} \\ \underline{\underline{A(3)}} \\ \vdots \\ \underline{\underline{A(K)}} \end{bmatrix}, \quad (26)$$

где

$$\begin{cases} \underline{\underline{A_0}} = \underline{\underline{A^{+T}(0)}}, \\ \underline{\underline{A_1}} = -\underline{\underline{A^{+T}(0)}} \cdot \underline{\underline{A^T(1)}} \cdot \underline{\underline{A^{+T}(0)}}, \\ \underline{\underline{A_2}} = -\underline{\underline{A^{+T}(0)}} \cdot \{ [\underline{\underline{A^T(1)}} \cdot \underline{\underline{A^{+T}(0)}}]^2 + \underline{\underline{A^T(2)}} \cdot \underline{\underline{A^{+T}(0)}} \}, \\ \dots \\ \underline{\underline{A_K}} = -\underline{\underline{A^{+T}(0)}} \cdot \sum_{p=1}^K \underline{\underline{A^T(p)}} \cdot \underline{\underline{A_{K-p}^{+T}}}. \end{cases} \quad (27)$$

Итак, имея матричные дискреты $\underline{D}(0), \underline{D}(1), \dots, \underline{D}(K)$, в соответствии с некоторым обратным дифференциальным преобразованием можно восстановить аппроксимирующую матрицу $D(t)$.

Замечание 2. Из условия регулярности $\exists A^{+T}(0)$ немедленно следует условие гиперрегулярности $\exists A^{+T}(\bullet)$ и наоборот.

Замечание 3. Очевидно, аналогичные уравнениям (18)-(22) или (23)-(27) соотношения можно получить и при использовании аналитического представления (10) вместо (11).

II. Определение собственных значений-функций $\lambda_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ матрицы $D(t)$

При ненулевых собственных векторах-функциях $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$, в соответствии с явной или неявной вычислительными схемами [6, стр. 130-138], с учетом характеристического уравнения

$$\det[D(t) - \lambda(t) \cdot E] = \lambda^n(t) + P_1(t) \cdot \lambda^{n-1}(t) + \dots + P_{n-1}(t) \cdot \lambda(t) + P_n(t) = 0 \quad (28)$$

(где $P_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ – однопараметрические коэффициенты-функции) и при предположении, что имеют место дифференциальные преобразования

$$\lambda(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{\partial^k \lambda(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{и} \quad \lambda(t) = \chi_5(t, t_v, H, \lambda(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (29)$$

можно вычислить скалярные дискреты $\lambda_1(0), \lambda_2(0), \dots, \lambda_n(0)$; $\lambda_1(1), \lambda_2(1), \dots, \lambda_n(1); \dots; \lambda_1(K), \lambda_2(K), \dots, \lambda_n(K); \dots$ а затем и собственные значения-функции $\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_n(t)$ в соответствии с правой частью (29).

III. Определение собственных векторов-функций $X_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ матрицы $D(t)$

В результате решения подзадачи I и определения аппроксимирующей матрицы $D(t)$, а затем подзадачи II и определения собственных значений-функций $\lambda_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ в соответствии с подзадачей III необходимо определить векторные дискреты $X_1(0), \dots, X_2(0), \dots, X_n(0); X_1(1), \dots, X_2(1), \dots, X_n(1); \dots; X_1(K), \dots, X_2(K), \dots, X_n(K)$ и соответствующие собственные векторы-функ-

кции $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$. С этой целью с учетом дифференциальных преобразований

$$X(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{\partial^k X(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad X(t) = \chi_6(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (30)$$

аналогично работам [3, 6], необходимо организовать последовательные и параллельные численно-аналитические процедуры с точностью до аппроксимирующей матрицы (5) и соответствующих собственных значений-функций $\lambda_i(t)$, $i = \overline{1, n}$.

Замечание 4. Естественно, условия существования ненулевых дискретов $X_i(0) \neq 0$, $i = \overline{1, n}$, что эквивалентно выполнению условий $\det[D(0) - \lambda_i(0) \cdot E] = 0$, $i = \overline{1, n}$, будут иметь место только в тех точках (центрах) аппроксимации, которые являются корнями уравнения (28).

Таким образом, имея вектор $X_i(0)$, $i = \overline{1, n}$, соответствующий собственному значению $\lambda_i(0)$, $i = \overline{1, n}$ матрицы $D(0)$, можно перейти к последовательным рекуррентным или параллельным поточным численно-аналитическим процедурам по определению последующих векторных дискретов и восстановлению соответствующих собственных векторов-функций согласно правой части (30).

Заключение. Дифференциальные преобразования позволяют свести решение рассмотренной непрерывной задачи к некоторым рекуррентным или поточным численным процедурам, которые эффективно могут быть реализованы средствами современных информационных технологий [7], а восстановление непрерывных решений на каждом этапе вычислений можно осуществлять сравнительно легко - с использованием соответствующих обратных дифференциальных преобразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О.** К решению однопараметрических матричных палиндромных задач типа $A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A(t) \cdot X(t)$ // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - 2019. - Т. LXXII, №3. - С. 418-428.
2. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений.- Киев: Наукова думка, 1984.- 420 с.
3. **Симонян С.О.** К решению однопараметрической обобщенной матричной палиндромной задачи типа $A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^T(t) \cdot X(t)$ // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. - 2021. - №1. - С. 9-18.
4. **Икрамов Х.Д.** Численное решение матричных уравнений. - М.: Наука, 1984. - 190 с.
5. **Симонян С.О.** Методы определения однопараметрических обобщенных обратных матриц.- Saarbrücken, LAP LAMBERT, Academic Publishing, 2017. - 222 с.

6. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Прикладная теория дифференциальных преобразований: Монография. - Ереван: Изд-во ГИУА “Чартарагет”, 2010. – 361 с.
7. **Stroustrup B.** The C++ Programming Language. 4th Edition.- Boston: Addison-Wesley Professional, 2013.- 1368 p.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 08.06.2021.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

$A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^*(t) \cdot X(t)$ ՏԻՊԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՊԱԼԻՆԴՐՈՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Թվային խնդիրների համանմանությամբ դիտարկվել է նշված տիպի միապարամետրական ընդհանրացված մատրիցային պալինդրոմային խնդիրը: Խնդիրը լուծվում է երեք փուլով. առաջին փուլում խնդիրը կերպափոխվում է նրան համարժեք սովորական ընդհանրացված տարրապատկերային խնդրի՝ որոշակի մոտարկող մատրիցով, երկրորդ փուլում որոշվում են այդ մոտարկող մատրիցի սեփական արժեքներ-ֆունկցիաները, երրորդ փուլում՝ համապատասխան սեփական վեկտորներ-ֆունկցիաները: Հաշվարկների բոլոր փուլերում հիմնական մաթեմատիկական ապարատ են հանդիսացել դիֆերենցիալ ձևափոխությունները, որոնք թույլ են տվել համեմատաբար հեշտությամբ իրականացնել նախնական անընդհատ խնդրի լուծումը տեղեկատվական տեխնոլոգիաների ժամանակակից միջոցներով:

Առանցքային բաներ. միապարամետրական ընդհանրացված մատրիցային պալինդրոմային խնդիր, նախնական խնդրի կերպափոխումը համարժեք խնդրի, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, հաջորդական և զուգահեռ հաշվողական ընթացակարգեր, ժամանակակից տեղեկատվական տեխնոլոգիաների միջոցներ, անընդհատ խնդրի անընդհատ լուծում:

S.H. SIMONYAN

THE SOLUTION OF A ONE-PARAMETRIC GENERALIZED MATRIX PALINDROMIC PROBLEM OF THE TYPE $A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^*(t) \cdot X(t)$

By analogy with digital problems, a one-parameter generalized matrix palindromic problem of the noted type is considered. The problem is solved in three stages: at the first stage, the problem is reduced to an equivalent ordinary generalized spectral problem with some approximating matrix, at the second stage, the eigenvalues are determined - the functions of this approximating matrix, at the third stage - the corresponding eigenvectors-functions. At all stages of calculations, the main mathematical apparatus is differential transformations, which make it relatively easy to implement the solution of the initial continuous problem by means of modern information technologies.

Keywords: one-parameter generalized matrix palindromic problem, transformation of the original problem into an equivalent problem, differential transformations, sequential and parallel computational procedures, means of modern information technologies, continuous solution of a continuous problem.

УДК 621.67

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ

DOI 10.53297/0002306X-2021.3.v74-351

Э.П. АЩИАНЦ

**РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ
ЗНАЧЕНИЯ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ОПОРОЖНЕНИЯ КОЛОННЫ
ЖИДКОСТИ ИЗ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ
НАСАДКА НА ЕГО КОНЦЕ**

Рассматриваются вопросы опорожнения жидкости из напорного трубопровода постоянного диаметра с насадком на его конце. Диаметр выходного отверстия насадка меньше диаметра трубопровода. В результате соответствующих преобразований получены простые расчетные зависимости, с помощью которых можно при минимальных затратах времени и с достаточной для практических расчетов точностью определить продолжительность опорожнения жидкости из трубопровода. Проводится сопоставление результатов расчета по рекомендуемым зависимостям с соответствующими экспериментальными данными.

Ключевые слова: напорный трубопровод, насадок, жидкость, гидравлические сопротивления, время опорожнения.

Введение. Напорные трубопроводы являются составной частью систем водоснабжения. При проектировании и эксплуатации этих систем возникает необходимость опорожнения некоторых участков трубопроводов и определения продолжительности их опорожнения. В частности, такая необходимость возникает при эксплуатации разработанной нами напорной автоматизированной оросительной системы [1], включающей гидравлические линии связи в виде полиэтиленовых труб малых диаметров. Правильное определение продолжительности наполнения и опорожнения этих труб обеспечивает работоспособность указанной системы орошения.

На продолжительность опорожнения колонны жидкости из трубопровода существенное влияние оказывают геометрия трубопровода, гидравлические сопротивления, инерционные свойства опорожняющихся колонн жидкости. Решение задачи существенно усложняется в случае опорожнения сложных трубопроводов с насадками на их конце. Анализ исследований, посвященных данной проблеме [2-4], показывает, что в указанных работах рекомендуемые расчетные зависимости, определяющие скорость опорожнения жидкости из трубопровода, не обеспечивают необходимую точность расчета и нуждаются в усовершенствовании.

Отсутствие современного опытного материала в существующей технической литературе не позволяет оценить корректность рекомендуемых в этих работах формул. Следует также отметить, что в указанных работах не приводится достаточно точного аналитического решения этой задачи при одновременном учете влияния всех основных факторов на скорость опорожнения колонны жидкости из трубопровода.

Целью настоящей работы является получение простых аналитических зависимостей, с помощью которых можно при минимальных затратах времени и с достаточной для практических расчетов точностью определить время опорожнения колонны жидкости из трубопровода с учетом всех основных факторов, влияющих на его величину, что и определяет актуальность проведенных исследований.

Постановка задачи и методы исследования. Рассматривается напорный трубопровод постоянного диаметра d_1 (рис.), из которого опорожнение жидкости происходит через насадок, диаметр выходного отверстия d_0 которого меньше диаметра трубопровода.

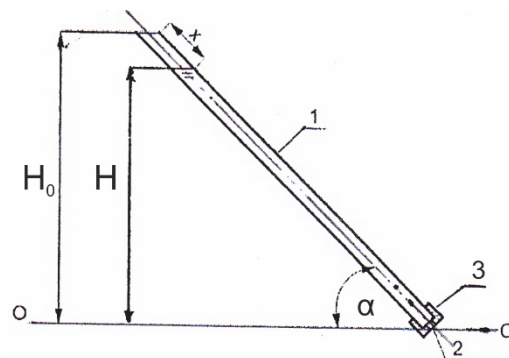


Рис. Расчетная схема трубопровода: 1 – трубопровод, 2 – отверстие, 3 – насадок

Нестационарное движение колонны жидкости, возникающее в трубопроводе, определяется из уравнения Д. Бернулли [4], взятого для двух сечений. Первое сечение принимается в начале опорожняющейся колонны жидкости на ее свободной поверхности, а второе – на выходе жидкости из трубопровода (рис.). В результате полученное дифференциальное уравнение, определяющее нестационарное движение колонны жидкости в трубопроводе в процессе ее опорожнения, интегрируется при начальном условии: при $x = 0$ – $V = 0$. В работе [5] получена аналитическая зависимость (16), определяющая изменение скорости течения колонны жидкости $V(x)$ в процессе ее опорожнения через отверстие в насадке (рис.), установленном в конце трубопровода.

Зависимость имеет вид

$$V(x) = \sqrt{\frac{2g \sin \alpha}{K-1} \left[(l-x) - l \left(\frac{l-x}{l} \right)^K \right]}, \quad (1)$$

где α - угол наклона трубопровода к горизонту; l - длина трубопровода; x - расстояние, пройденное колонной жидкости (рис.) за время t ;

$$K = \frac{\lambda}{d_1} l + \left[\left(\frac{A_0}{A_1} \right)^2 (1 + \zeta_0) - 1 \right], \quad (2)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения стенки трубопровода; A_1 - площадь поперечного сечения трубопровода; A_0 - площадь водовыпускного отверстия насадка; ζ_0 - коэффициент гидравлического сопротивления водовыпускного отверстия.

Зависимость (1) используется для определения времени опорожнения колонны жидкости из трубопровода. С этой целью в работе [5] рекомендуется графоаналитический способ определения этого времени, который по точности - расчета уступает аналитическим методам и требует больших затрат времени.

Зависимость (1) можно представить в виде

$$V(x) = \sqrt{\frac{2g(l-x)}{K-1} \left[1 - \left(\frac{l-x}{l} \right)^{K-1} \right] \sin \alpha}, \quad (3)$$

где $0 \leq x \leq l$.

В интервале $0 \leq x \leq l$ функция (3) имеет максимум.

Значение координаты x^M , при которой скорость опорожнения жидкости достигает максимальной величины, определяется по формуле [6]

$$x^M = l \left[1 - \left(\frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{K-1}} \right], \quad (4)$$

откуда вытекает, что чем больше значение K , тем меньше величина x^M .

В зависимости (3) слагаемое $\left(\frac{l-x}{l} \right)^{K-1}$ при малых значениях параметра

K оказывает существенное влияние на уменьшение скорости опорожнения

колонны жидкости и, следовательно, на увеличение времени ее опорожнения из трубопровода.

Время опорожнения колонны жидкости t из трубопровода определяется из интеграла

$$t = \int \frac{dx}{\sqrt{\frac{2g(l-x)}{K-1} \left[1 - \left(\frac{l-x}{l} \right)^{K-1} \right] \sin \alpha}} + C. \quad (5)$$

В общем случае указанный интеграл не берется в конечном виде, однако путем некоторых упрощений удастся проинтегрировать вышеуказанную функцию, в которой произвольная постоянная "С" определяется из условия: при $x = 0 - t = 0$.

В случае неучета влияния гидравлических сопротивлений ($K = 0$) зависимость (3) принимает вид

$$V(x) = \sqrt{2gx \cdot \sin \alpha}. \quad (6)$$

Формула (6) показывает, что в процессе опорожнения колонны жидкости скорость ее опорожнения все время возрастает и достигает максимума при $x^M = l$.

Подставляя функцию (6) в интеграл (5) и проинтегрировав выражение

$$t = \int \frac{dx}{\sqrt{2gx \sin \alpha}}, \quad (7)$$

получим

$$t = \sqrt{2x / g \sin \alpha}. \quad (8)$$

При $x = l - T_0 = \sqrt{2l / g \sin \alpha}.$

При $K = 1$ зависимость (3) принимает вид

$$V(x) = \sqrt{2g(l-x) \cdot \ln \frac{l}{l-x} \cdot \sin \alpha}. \quad (9)$$

Функция (9) достигает максимума при $x^M = l(1 - e^{-1})$.

С целью интегрирования функции (9) производится некоторое ее упрощение путем замены переменного множителя $\ln \frac{l}{l-x}$ осредненной постоянной величиной, равной $\ln \frac{l}{l-0,5l} = 0,7$.

После указанной замены, подставляя новую функцию $V(x) = \sqrt{2g(l-x) \cdot 0,7 \sin \alpha}$ в (5) и проинтегрировав ее, получим

$$t = 1,19 T_0 \left(1 - \sqrt{\frac{l-x}{l}}\right). \quad (10)$$

При $x = l - T_1 = 1,19 T_0$.

При $K = 2$ зависимость для скорости (3) принимает вид

$$V(x) = \sqrt{\frac{2g}{l} (lx - x^2) \sin \alpha}. \quad (11)$$

Значение координаты x^M , при которой скорость опорожнения колонны жидкости достигает максимума, равно $0,5l$.

Подставляя (11) в (5) и проинтегрировав выражение, получим [6]

$$t = \frac{T_0}{2} \cdot \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin \left(\frac{2x}{l} - 1 \right) \right]. \quad (12)$$

При $x = l - T_2 = 1,57 T_0$.

При $K = 4,21$, согласно экспериментальным данным, время опорожнения колонны жидкости будет $T_{4,21} = 1,5$ с, а $T_0 = 0,775$ с.

Таким образом, анализ полученных значений T_K при значениях параметра K , находящихся в интервале $0 \leq K < 5$, позволил установить линейную связь между временем полного опорожнения колонны жидкости из трубопровода T и параметром K вида

$$T = T_0 (1 + 0,27K). \quad (13)$$

При значениях параметра $K > 5$ в зависимости (3) слагаемым $\left(\frac{l-x}{l}\right)^{K-1}$ при практических расчетах можно пренебречь и использовать для скорости опорожнения колонны жидкости зависимость вида

$$V(x) = \sqrt{\frac{2g(l-x)\sin\alpha}{K-1}}. \quad (14)$$

Подставляя указанную функцию в (5) и проинтегрировав ее, получим формулу, с помощью которой определяется время опорожнения колонны жидкости из трубопровода с насадком на его конце:

$$t = T_0 \sqrt{K-1} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{l-x}{l}}\right). \quad (15)$$

При

$$x = l - T = T_0 \sqrt{K-1}. \quad (16)$$

Следует отметить, что в формуле (2) параметр K определяет влияние как местных, так и распределенных по длине трубопровода гидравлических сопротивлений. Численное значение этого параметра зависит от диаметра d_1 трубопровода, длины трубы l , а также от отношения A_1 / A_0 . В разработанной нами автоматизированной оросительной системе [1] используются полиэтиленовые трубы малых диаметров 9...16 мм и длиной l , изменяющейся в пределах 20...200 м. Среднее значение коэффициента гидравлического трения λ для таких труб можно принять равным 0,023. При указанных численных значениях расчетных параметров значение параметра K всегда превышает 12, что указывает на корректность использования зависимости (14).

Для установления степени корректности полученных формул проведено сопоставление результатов расчета времени опорожнения жидкости из трубопровода по этим зависимостям с соответствующими экспериментальными данными. С этой целью в гидравлической лаборатории Института водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиязарова смонтирована экспериментальная установка, представляющая вертикальную полиэтиленовую трубу длиной $l = 2,95$ м и диаметром $d_1 = 0,016$ м. Коэффициент гидравлического трения

этой трубы $\lambda = 0,023$. Опорожнение жидкости из трубы проходило через круглое отверстие в металлической шайбе, которая монтировалась в насадке (рис.). При выходе струи воды из отверстия диаметром d_0 в шайбе происходило сжатие ее поперечного сечения. Площадь сжатого сечения A_c определялась по формуле $A_c = \varepsilon A_0$, где A_0 - площадь отверстия в шайбе. Коэффициент сжатия струи ε определялся по формуле [4]

$$\varepsilon = 0,62 + 0,38(A_0 / A_1)^2, \quad (17)$$

в которой $A_1 = 2 \text{ см}^2$.

При проведении экспериментов использовались шайбы с диаметрами d_0 отверстий, равными 1,6; 1,35; 1,23; 1,05; 0,87; 0,65 и 0,55 см.

Отверстия в шайбах закрывались резиновыми пробками, после чего труба полностью заполнялась водой. Затем пробки быстро удалялись и с помощью секундомера фиксировалось время опорожнения жидкости.

Таблица

Численные значения расчетных и экспериментальных данных

$d_0, \text{ см}$	$A_0, \text{ см}^2$	ε	$A_c, \text{ см}^2$	ξ_0	$K(2)$	$T, \text{ с}$	$T^{\text{эк}}, \text{ с}$
1,6	2	1,0	2	0	2,12	1,22	1,2
1,35	1,43	0,81	1,16	0,04	4,21	1,66	1,5
1,23	1,19	0,75	0,89	0,04	6,37	1,8	1,7
1,05	0,87	0,69	0,60	0,04	12,67	2,64	2,6
0,87	0,59	0,62	0,37	0,04	31,5	4,3	4,0
0,65	0,33	0,62	0,20	0,06	101,0	7,75	7,3
0,55	0,24	0,62	0,15	0,06	189,6	10,64	10,1

В таблице приведены численные значения расчетных и экспериментальных данных. Параметр K определен с помощью формулы (2). При диаметрах отверстий d_0 в шайбах, равных 1,6 см и 1,35 см, время опорожнения жидкости из трубы T определялось по формуле (13), а в остальных случаях - по формуле (16).

Как видно из таблицы, расчетные значения времени опорожнения жидкости из трубы - T , определенные по вышеуказанным зависимостям, незначительно превышают соответствующие экспериментальные данные $T^{\text{эк}}$, что повышает надежность использования рекомендуемых формул.

Заклучение

1. Получены простые и более общие аналитические зависимости, определяющие изменение скорости течения жидкости в процессе ее опорожнения из трубопровода с насадком на его конце.

2. Сопоставление результатов расчета по полученным формулам с соответствующими экспериментальными данными подтверждает корректность этих зависимостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Արտոնազիր N 2651 Ա. Ճնշումային ոռոգման ավտոմատացված համակարգ / Է. Աշխիանց, Ա. Մարգարյան, Վ. Թորմաշյան. - 2012 թ.
2. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. - М.: Стройиздат, 1987.-414 с.
3. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в нагнетательных водоводах.- Ереван: Изд-во “Лимуш”, 2010. – 210 с.
4. Сборник задач по машиностроительной гидравлике /Д.А. Бугаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз и др. - М.: Машиностроение, 1981.- 464с.
5. Ащиянц Э.П. К вопросу определения скорости опорожнения колонны жидкости из трубопровода при наличии насадка на его конце // Изв. НАН РА и НПУА. Сер. ТН. – 2021. - Т. LXXIV, N2 . - С.221-229.
6. Бронштейн И.К., Семендяев К.А. Справочник по математике.- М.: Наука, 1967. - 608 с.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиязарова. Материал поступил в редакцию 01.07.2021.

Է.Պ. ԱՇԽԻԱՆՑ

ՄՂՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ՎԵՐՋՆԱՄԱՍՈՒՄ ԿՑԱՓՈՂԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՀԵՂՈՒԿԻ ՍՅԱՆ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Դիտարկվել է հաստատուն տրամագծով ճնշումային խողովակաշարից հեղուկի դատարկման գործընթացը: Հետազոտությունների արդյունքում ստացվել են առավել ընդհանուր անալիտիկ կախվածություններ, որոնցով ավելի հեշտ և ճշգրիտ որոշվում է խողովակաշարից հեղուկի այան դատարկման տևողությունը: Ստացված բանաձևերով կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատվել են համապատասխան փորձարարական արդյունքների հետ:

Առանցքային բառեր. ճնշումային խողովակաշար, կցափող, հեղուկ, հիդրավլիկական դիմադրություններ, դատարկման ժամանակ:

E.P. ASHCIYANTS

**DEVELOPING ANALYTICAL DEPENDENCES DETERMINING THE
VALUE OF THE VELOCITY AND TIME OF EMPTYING THE LIQUID
COLUMN FROM THE PRESSURE PIPELINE IN THE PRESENCE OF A
NOZZLE AT ITS END**

Issues on emptying the liquid from the pressure pipeline of a constant diameter with a nozzle at its end are considered. The diameter of the exit hole of the nozzle is less than the pipeline diameter. As a result of adequate transformations, simple calculation dependencies are obtained. A comparison of the research results according to the obtained formulas with the corresponding experimental data is carried out.

Keyword: pressure pipeline, nozzle, liquid, velocity, hydraulic resistances, emptying time.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲԵԼՈՒԲԵԿՅԱՆ Մ.Վ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Մ.Գ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ի.Մ.

ԿԼՈՐ ԲԻՍՈՐՖ ՊԻԵՋՈՒԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԱԼԻ ԾՌՄԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԸ
ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՈՒՂՂԱՀԱՅ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ 249

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՊԱՊՈՅԱՆ Ռ.Ս., ՎԱՍԻԼՅԱՆ Գ.Ա.

ՄԽՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ՊՈՂՊԱՏՅԱ ԱՐՏԱԴՐԱՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 257

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Հ., ՄԱԻԼՅԱՆ Լ.Ս.

ԵՆԹԱՀԱՐԿԱՅԻՆ ՇՏՐԵԿՆԵՐՈՎ ՃԵՂՔԱՅԻՆ ՀԱՆՈՒՅԹՈՎ ԵՎ
ՎԵՐԸՆԹԱՅՆԵՐԻՑ ՊԱՅԹԱՆՑՔԱՅԻՆ ՊՈԿՄԱՄԱԲ ՆՈՐ ՀԱՄԱՊԻՏԱՆԻ
ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՍՏՈՐԳԵՏՆՅԱ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ..... 271

ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ Գ.Ա.

ԲԱՑԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ԶԱՆԳՎԱԾԱՅԻՆ ՊԱՅԹԵՑՄԱՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ
ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՆՈՐ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ 278

ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Մ.Ք.

ԴԻՆԱՄԻԿ ԲԵՌՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՇԱՐԺԻԶԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄՈԴԵԼ 290

ՍՈՂՈՍՈՆՅԱՆ Կ.Հ., ՊՈՂՈՍՅԱՆ Մ.Զ., ԲԱԿՈՒՆՅԱՆ Մ.Գ.

ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՊՐՈՅԵԿՏԻՎ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՈՒՄԸ ԴՐԱՆՑ
ՄԱՀՄԱՆԱԹԱԿ ՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐԻ ՎՐԱ 300

ԲԱՏՈՒՏԻՆ Ա.Վ., ԼԻԴԱ Կ.Պ., ԽՈՋՈՅԱՆ Լ.Ա., ՖԵՂԵՐԻԿՈՒ Խ.Պ., ՔԱՐԱՍՅԱՆ Տ.Ս., ՔԱՐԱՍՅԱՆ Դ.Ս.

ՕՊՏԻՄԱՑՎԱԾ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՔՆԵՐԻ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ IOS ՊԼԱՏՖՈՐՄԻ ՎՐԱ 308

ԱՅՎԱԶՅԱՆ Գ.Ե., ԱՂԱԲԵԿՅԱՆ Ա.Վ., ՍԵՄՉԵՆԿՈՒ Ա.Վ., ՄԻԴՄԿԻՑ Վ.Վ., ԿՈՎԱԼԵՆԿՈՒ Դ.Լ., ԳԱՅՇՈՒՆ Վ.Ե., ՄԱԼՅՈՒՏԻՆԱ-ԲՐՈՆՄԿԱՅԱ Վ.Վ., ԶԱԼԵՍՄԿԻՑ Վ.Բ.

ՄԵՎ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻՆ ԶՈԼ-ԴՈՆԴՈՂ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ 314

ԱԶՈՅԱՆ Մ.Ս., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Դ.Ա.

ՏՐԱՆՁԻՍՏՈՐԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԳԵՐԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ
ԲԱԶՄԱՊԱՏԿՉԻ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ..... 325

ԳՈՍՅՅԱՆ Ս.Գ., ԽԱՌԱՏՅԱՆ Ա.Ա.

ՄԻԱԶՈՓ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՎԵՅՎԼԵՏ-ԶՏՄԱՆ ԵՎ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 331

ՄԻՄՈՆՑԱՆ Ս.Հ.

$A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^*(t) \cdot X(t)$ Տիղի Միսդարմեսրման ՄԱՏԻՑԱՅԻՆ

ՊԱԼԻՆԴՐՈՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՑԱԼ..... 342

ԱՇՉԻՑԱՆՑ Է.Պ.

ՄՂՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ՎԵՐՋՆԱՄԱՍՈՒՄ ԿՑԱՓՈՂԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ

ԴԵՊՔՈՒՄ ՀԵՂՈՒԿԻ ՍՅԱՆ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ

ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ..... 351

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЛУБЕКЯН М.В., САРГСЯН М.Г., САРГСЯН И.М. ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРУГЛОЙ БИМОРФНОЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ В ПЕРЕМЕННОМ ПОПЕРЕЧНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.....	249
АГБАЛЯН С.Г., ПАПОЯН Р.С., ВАСИЛЯН Г.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ВО ВРЕМЯ ЗАКАЛКИ.....	257
ОГАНЕСЯН А.Г., МАИЛЯН Л.С. НОВАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ ПОДЭТАЖНЫМИ ШТРЕКАМИ СО ЩЕЛЕВОЙ ВЫЕМКОЙ И С ОТБОЙКОЙ ШПУРАМИ ИЗ ВОССТАЮЩИХ	271
АГАРОНЯН Г.А. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ЭНЕРГИИ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА КАРЬЕРАХ.....	278
БАГДАСАРЯН М.К МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ.....	290
СОГОМОНЯН К.А., ПОГОСЯН М.З., БАКУНЦ М.Г. ПРОЕКТИВНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ПРОСТРАНСТВ НА ИХ ОГРАНИЧЕННЫЕ ОБЛАСТИ.....	300
БАТУТИН А.В., ЛИДА К.П., ХОДЖОЯН Л.А., ФЕДЕРИКО Х.П., КАРАМЯН Т.С., КАРАМЯН Д.С. ОЦЕНКА ВЫВОДОВ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ IOS	308
АЙВАЗЯН Г.Е., АГАБЕКЯН А.В., СЕМЧЕНКО А.В., СИДСКИЙ В.В., КОВАЛЕНКО Д.Л., ГАЙШУН В.Е., МАЛЮТИНА-БРОНСКАЯ В.В., ЗАЛЕССКИЙ В.Б. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПЛЕНОК НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО КРЕМНИЯ	314
АЗОЯН М.С., КАЗАРЯН Д.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ УМНОЖИТЕЛЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ	325
ГОМЦЯН С.Г., ХАРАТЯН А.А. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ.....	331
СИМОНЯН С.О. К РЕШЕНИЮ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБОБЩЕННОЙ МАТРИЧНОЙ ПАЛИНДРОМНОЙ ЗАДАЧИ ТИПА $A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^*(t) \cdot X(t)$	342
АЩИЯНЦ Э.П. РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЗНАЧЕНИЯ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ОПОРОЖНЕНИЯ КОЛОННЫ ЖИДКОСТИ ИЗ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ НАСАДКА НА ЕГО КОНЦЕ.....	351

CONTENTS

BELUBEKYN M.V., SARGSYAN M.G., SARGSYAN I.M. THE BENDING VIBRATION OF THE CIRCULAR BIMORPH PIEZOELECTRIC PLATE IN NONSTATIONARY TRANSVERSE ELECTRIC FIELD	249
AGHBALYAN S.G., PAPOYAN R.S., VASILYAN G.A. DEVELOPING A METHOD FOR FORECASTING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL PRODUCTS AT HARDENING	257
HOVHANNISYAN A.H., MAILYAN L.S. A NEW UNIVERSAL COMBINED SYSTEM OF UNDERGROUND MINING WITH SUB- STOREY DRIFTS WITH A SLOTTED RECESS AND WITH REBOUNTING HOLES MADE OF RISING STONES	271
AHARONYAN G.A. A NEW TECHNOLOGY FOR REGULATING ACTIONS OF ENERGY OF MASS EXPLOSION AT THE OPEN PITS	278
BAGHDASARYAN M.K. A MODEL FOR STUDYING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ELECTRIC DRIVE MOTOR WITH DYNAMIC LOAD	290
SOGHOMONYAN K.H., POGHOSYAN M.Z., BAKUNTS M.G. PROJECTIVE REFLECTION OF SPACES ON LIMITED DOMAINS	300
BATUTIN A.V., LYDA K.P., KHOJOYAN L.A., FEDERICO J.P., KARAMYAN T.S., KARAMYAN D.S. EVALUATION OF INFERENCE OPTIMIZED IMAGE CLASSIFICATION MODELS ON IOS PLATFORM	308
AYVAZYAN G.Y., AGHABEKYAN A.B., SEMCHENKO A.V., SIDSKY V.V., KOVALENKO D.L., GAISHUN V.E., MALYUTINA-BRONSKAYA V.V., ZALESSKI V.B. CHARACTERISTICS OF SOL-GEL FILMS ON THE SURFACE OF BLACK SILICON	314
AZOYAN M.S., GHAZARYAN D.A. AN EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSISTOR PARAMETRIC MULTIPLIERS OF MICROWAVES	325
GOMTSYAN S.G., KHARATYAN A.A. DEVELOPING A COMPUTER MODEL OF WAVELET FILTERING AND RECONSTRUCTION OF ONE-DIMENSIONAL SIGNALS	331
SIMONYAN S.H. THE SOLUTION OF ONE-PARAMETRIC MATRIX PALINDROMIC PROBLEMS OF THE TYPE $A(t) \cdot X(t) = \lambda(t) \cdot A^*(t) \cdot X(t)$	342
ASHCIYANTS E.P. DEVELOPING ANALYTICAL DEPENDENCES DETERMINING THE VALUE OF THE VELOCITY AND TIME OF EMPTYING THE LIQUID COLUMN FROM THE PRESSURE PIPELINE IN THE PRESENCE OF A NOZZLE AT ITS END	351

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1 Ազոյան Միքայել Սարգիսի	տ.գ.թ., դոցենտ, Կապի միջոցների ամբիոն, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե -miquael1945@mail.ru
2 Ահարոնյան Գագիկ Անուշավանի	տ.գ.թ., հորատապայթեցման աշխատանքների ղեկավար, «Ա.Ա.Բ. ՊՐՈՅԵԿՏ» ՓԲԸ, Հայաստան
3 Աղաբեկյան Արթուր Վալերիի	ասպիրանտ, ՀԱՊՀ
4 Աղբալյան Սուրեն Գևորգի	տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե -metalsur@polytechnic.am
5 Այվազյան Գագիկ Երջանիկի	տ.գ.թ., դոցենտ, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե - agagarm@gmail.com
6 Աշիյան Էդուարդ Պետրոսի	տ.գ.դ., ա.գ., Ի.Վ. Եղիազարովի անվ. ջրային պրոբլեմների և հիդրոտեխնիկայի ինստիտուտ, Հայաստան
7 Բակունց Մարինե Գարենի	ասպիրանտ, ճարտարագիտական գրաֆիկա ամբիոնի դասախոս, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե -marinka-bakunts@mail.ru
8 Բաղդասարյան Մարինկա Քաջիկի	տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ԷՄԱ ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե -m.baghdasaryan@seua.am
9 Բատուտին Անդրեյ Վոլոդիմիրովիչ	DataArt Kiev, AI/ML Engineer մագիստրոս, մասնագիտացում՝ Engineering, Օդեսայի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան, Ուկրաինա Էլ. հասցե - andrey.batutin@dataart.com
10 Բելուբեկյան Մելս Վաղարշակի	Ֆ.-մ.գ.թ., պրոֆեսոր, ՀՀ ԳԱԱ մեխանիկայի ինստիտուտի գլխավոր գիտաշխատող Էլ. հասցե - mbelubekyan@yahoo.com
11 Գայշուն Վլադիմիր Եվգենիի	Ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ, Գոմելի Սկորինայի անվ. պետական համալսարան, Բելառուս
12 Գոմցյան Սվետլանա Գևորգի	տ.գ.թ., ասիստենտ, Ռադիոսարքավորումների ամբիոն, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե -gomtsyan.sveta@gmail.com
13 Զալեսսկի Վալերի Բորիսի	տ.գ.թ., լաբորատորիայի վարիչ, «Օպտիկա, օպտոէլեկտրոնիկա և լազերային տեխնոլոգիա» ԳԱՄ, Մինսկ, Բելառուս
14 Լիդա Կոնրադ Պյոտրովիչ	DataArt Poland, AI/ML Engineer մագիստրոս, մասնագիտացում՝ Software Development Technologies, Լյուբլինի տեխնոլոգիական համալսարան, Լեհաստան Էլ. հասցե - konrad.lyda@dataart.com

- 15 Խառատյան Արսեն Արամայիսի մագիստրանտ, Ռադիոսարքավորումների ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե -arsen.xaratyan@mail.ru
- 16 Խոջոյան Լևոն Արմենի DataArt Armenia, AI/ML Engineer բակալավր, մասնագիտացում՝ Computer Science ԵՊՀ, Հայաստան
Էլ. հասցե - levon.khojoyan@dataart.com
- 17 Կովալենկո Դմիտրի Լեոնիդի ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ, Գոմելի Սկոբինայի անվ. պետական համալսարան, Բելառուս
- 18 Հովհաննիսյան Արմեն Հենրիկի տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Ընդերքաբանության և շրջակա միջավայրի պահպանության ամբիոնի վարիչ, Ընդերքաբանության և մետալուրգիայի ֆակուլտետ, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - hovarmen1961@gmail.com
- 19 Ղազարյան Դավիթ Արմենի Ռ-709 իս. ուսանող, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե -david.ghazryan.no1@gmail.com
- 20 Մաիլյան Լևոն Սամվելի գլխավոր տնօրեն, «Գոլդ Սթար» ՓԲԸ, Հայաստան
Էլ. հասցե - l.mayilyan@gold-star.am
- 21 Մալյուտինա-Բրոնսկայա Վիկտորիա Վլադիմիրի գիտաշխատող, «Օպտիկա, օպտոէլեկտրոնիկա և լազերային տեխնոլոգիա» ԳԱՄ, Մինսկ, Բելառուս
- 22 Պապոյան Ռոբերտ Սեթի – ասպիրանտ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - robertspapoyan@gmail.com
- 23 Պողոսյան Մանվել Զախարի տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Գծագրության և համակարգչային գրաֆիկայի ամբիոնի վարիչ, ՃՀՀԱՀ
Էլ. հասցե -pmanvel2010@yandex.ru
- 24 Սարգսյան Իննա Միքայելի ասպիրանտ, Մեխանիկայի և մեքենագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե -innasargsyan@hotmail.com
- 25 Սարգսյան Միքայել Գարեգինի ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ, Մեխանիկայի և մեքենագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - miksarg@mail.ru
- 26 Սեմչենկո Ալինա Վալենտինի ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ, Գոմելի Սկոբինայի անվ. պետական համալսարան, Բելառուս
Էլ. հասցե -alina@gsu.by
- 27 Սիդսկի Վիտալի Վալերիի տ.գ.թ., դոցենտ, Գոմելի Սկոբինայի անվ. պետական համալսարան, Բելառուս
- 28 Սիմոնյան Սարգիս Հովհաննեսի տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաների և ավտոմատացման ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - simonyan@seua.am

- 29 Սողոմոնյան Կոլյա
Համագասպի
տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Ճարտարագիտական
գրաֆիկայի ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե -kolia95@mail.ru
- 30 Վասիլյան Գայանե Արտաշի
տ.գ.թ., դոցենտ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե -gayavasi@gmail.com
- 31 Քարամյան Դավիթ Սպարտակի
NLP Engineer, մագիստրոս, մասնագիտացում:
NLP՝ Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ, ԵՊՀ,
Հայաստան
Էլ. հասցե - davkar98@gmail.com
- 32 Քարամյան Տիգրան Սպարտակի
DataArt Armenia, AI/ML Engineer ասպիրանտ,
մասնագիտացում՝ Mathematical Economics, ԵՊՀ,
Հայաստան
Էլ. հասցե - t.qaramyan@ysu.am
- 33 Ֆեդերիկո Խուան Պաբլո Խուան
Կառլոսի
DataArt Argentina, AI/ML Engineer բակալավր,
մասնագիտացում՝ Systems Engineering, Լանուսի
ազգային համալսարան, Արգենտինա
Էլ. հասցե - juan.federico@dataart.com

СПИСОК АВТОРОВ

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 Агабекян Артур Валерьевич | соискатель, НПУА |
| 2 Агаронян Гагик Анушаванович | к.т.н., начальник буровзрывных работ ЗАО
“А.А.Б. ПРОЕКТ” |
| 3 Агбалин Сурен Геворкович | д.т.н., профессор, кафедра Металлургии и
материаловедения, НПУА
Эл. почта- metalsur@polytechnic.am |
| 4 Азоян Микаел Саркисович | к.т.н., доцент, кафедра Средств связи, НПУА
Эл. почта - miqael1945@mail.ru |
| 5 Айвазян Гагик Ерджаникович | к.т.н., доцент, НПУА
Эл. почта- agagarm@gmail.com |
| 6 Ащиянц Эдуард Петрович | д.т.н., с.н.с., Институт водных проблем и
гидротехники им. И.В. Егiazарова |
| 7 Багдасарян Маринка Каджиковна | д.т.н., профессор, зав. кафедрой Электрических
машин и аппаратов, НПУА
Эл. почта- m.baghdasaryan@seua.am |
| 8 Бакунц Марине Гареновна | аспирант, преподаватель кафедры Инженерной
графики, НПУА
Эл. почта- marinka-bakunts@mail.ru |
| 9 Батутин Андрей Владимирович | DataArt Kiev, AI/ML Engineer, магистр, специали-
зация: Engineering, Одесский национальный
политехнический университет, Украина
Эл. почта- andrey.batutin@dataart.com |
| 10 Белубекян Мелс Вагаршакович | к.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник
Института механики НАН РА
Эл. почта- mbelubekyan@yahoo.com |
| 11 Василян Гаяне Арташевна | к.т.н., доцент, кафедра Металлургии и материало-
ведения, НПУА
Эл. почта- gayavasi@gmail.com |
| 12 Гайшун Владимир Евгеньевич | к.ф.-м.н., доцент, Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины |
| 13 Гомцян Светлана Геворковна | к.т.н., ассистент кафедры Радиоустройств, НПУА
Эл. почта- gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 14 Залесский Валерий Борисович | к.т.н., зав. лабораторией, ГНПО “Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника” НАН
Беларуси, Минск |
| 15 Казарян Давид Арменович | студент ИТ гр.Р-709, НПУА
Эл. почта- david.ghazryan.no1@gmail.com |
| 16 Карамян Давид Спартакович | Информационные технологии, ЕГУ, NLP
Engineer, магистр, специализация: NLP
ЕГУ, Армения
Эл. почта- davkar98@gmail.com |
| 17 Карамян Тигран Спартакович | DataArt Armenia, AI/ML Engineer,
аспирант, специализация: Mathematical
Economics, ЕГУ, Армения
Эл. почта- t.qaramyan@ysu.am |

СПИСОК АВТОРОВ

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 Агабекян Артур Валерьевич | соискатель, НПУА |
| 2 Агаронян Гагик Анушаванович | к.т.н., начальник буровзрывных работ ЗАО
“А.А.Б. ПРОЕКТ” |
| 3 Агбалин Сурен Геворкович | д.т.н., профессор, кафедра Металлургии и
материаловедения, НПУА
Эл. почта- metalsur@polytechnic.am |
| 4 Азоян Микаел Саркисович | к.т.н., доцент, кафедра Средств связи, НПУА
Эл. почта - miqael1945@mail.ru |
| 5 Айвазян Гагик Ерджаникович | к.т.н., доцент, НПУА
Эл. почта- agagarm@gmail.com |
| 6 Ащиянц Эдуард Петрович | д.т.н., с.н.с., Институт водных проблем и
гидротехники им. И.В. Егiazарова |
| 7 Багдасарян Маринка Каджиковна | д.т.н., профессор, зав. кафедрой Электрических
машин и аппаратов, НПУА
Эл. почта- m.baghdasaryan@seua.am |
| 8 Бакунц Марине Гареновна | аспирант, преподаватель кафедры Инженерной
графики, НПУА
Эл. почта- marinka-bakunts@mail.ru |
| 9 Батутин Андрей Владимирович | DataArt Kiev, AI/ML Engineer, магистр, специали-
зация: Engineering, Одесский национальный
политехнический университет, Украина
Эл. почта- andrey.batutin@dataart.com |
| 10 Белубекян Мелс Вагаршакович | к.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник
Института механики НАН РА
Эл. почта- mbelubekyan@yahoo.com |
| 11 Василян Гаяне Арташевна | к.т.н., доцент, кафедра Металлургии и материало-
ведения, НПУА
Эл. почта- gayavasi@gmail.com |
| 12 Гайшун Владимир Евгеньевич | к.ф.-м.н., доцент, Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины |
| 13 Гомцян Светлана Геворковна | к.т.н., ассистент кафедры Радиоустройств, НПУА
Эл. почта- gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 14 Залесский Валерий Борисович | к.т.н., зав. лабораторией, ГНПО “Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника” НАН
Беларуси, Минск |
| 15 Казарян Давид Арменович | студент ИТ гр.Р-709, НПУА
Эл. почта- david.ghazryan.no1@gmail.com |
| 16 Карамян Давид Спартакович | Информационные технологии, ЕГУ, NLP
Engineer, магистр, специализация: NLP
ЕГУ, Армения
Эл. почта- davkar98@gmail.com |
| 17 Карамян Тигран Спартакович | DataArt Armenia, AI/ML Engineer,
аспирант, специализация: Mathematical
Economics, ЕГУ, Армения
Эл. почта- t.qaramyan@ysu.am |

18 Коваленко Дмитрий Леонидович	к.ф.-м.н., доцент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
19 Лида Конрад Петрович	DataArt Poland, AI/ML Engineer, магистр, специализация: Software Development Technologies, Люблинский технический университет, Польша Эл. почта- konrad.lyda@dataart.com
20 Маилян Левон Самвелович	генеральный директор ЗАО “Голд Стар” Эл. почта- l.mayilyan@gold-star.am
21 Малютин-Бронская Виктория Владимировна	научный сотрудник, ГНПО “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника” НАН Беларуси, Минск
22 Оганесян Армен Генрикович	д.т.н., профессор, зав. каф. Недрологии и охраны окружающей среды, НПУА Эл. почта- hovarmen1961@gmail.com
23 Папоян Роберт Сетович	аспирант, кафедра Металлургии и материаловедения, НПУА Эл. почта- robertspapoyan@gmail.com
24 Погосян Манвел Захарович	д.т.н., профессор, зав. кафедрой Черчения и компьютерной графики, НУАСА Эл. почта- rmanvel2010@yandex.ru
25 Саргсян Инна Михайловна	соискатель, кафедра Механики и машиноведения, НПУА Эл. почта- innasargsyan@hotmail.com
26 Саргсян Микаел Гарегиневич	к.ф.-м.н., доцент, кафедра Механики и машиноведения, НПУА Эл. почта- miksarg@mail.ru
27 Семченко Алина Валентиновна	к.ф.-м.н., доцент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины Эл. почта- alina@gsu.by
28 Сидский Виталий Валерьевич	к.т.н., доцент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
29 Симонян Саргис Оганесович	д.т.н., проф., зав. кафедрой Информационных технологий и автоматизации, НПУА, Эл. почта – simonyan@seua.am
30 Согомонян Коля Амазаспович	д.т.н., профессор, кафедра Инженерной графики, НПУА Эл. почта- kolia95@mail.ru
31 Федерико Хуан Пабло (Хуан Карлос)	DataArt Argentina, AI/ML Engineer, бакалавр, специализация: Systems Engineering Национальный университет Лануса, Аргентина Эл. почта- juan.federico@dataart.com
32 Харатян Арсен Арамаисович	магистрант, кафедра Радиоустройств, НПУА Эл. почта- arsen.xaratyanyan@mail.ru
33 Ходжоян Левон Арменович	DataArt Armenia, AI/ML Engineer, бакалавр, специализация: Computer Science ЕГУ, Армения Эл. почта- levon.khojoyan@dataart.com

LIST OF THE AUTHORS

- | | | |
|----|----------------------------------|--|
| 1 | Aghabekyan Arthur Valeri | Probationer, NPUA |
| 2 | Aghbalyan Suren Gevorg | Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA
E-mail - metalsur@polytechnic.am |
| 3 | Aharonyan Gagik Anushavan | Cand. of tech. sci., Head of drilling and blasting operations CJSC «A.A.B. PROJECT» |
| 4 | Ashciyants Eduard Petr | Dr. of tech. sci., Institute of Water Problems and Hydro – Engineering named after I.V. Yeghiazarov |
| 5 | Ayvazyan Gagik Erjanik | Cond. of tech.sci., Assoc. Prof., NPUA
E-mail - agagarm@gmail.com |
| 6 | Azoyan Mikayel Sargis | Cond. of tech.sci. of the Chair Communication Means, NPUA
E-mail -miquael1945@mail.ru |
| 7 | Baghdasaryan Marinka Qajik | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA
E-mail - |
| 8 | Bakunts Marine Garen | Post graduate student, Lecturer, Chair of Engineering Graphics, NPUA
E-mail - marinka-bakunts@mail.ru |
| 9 | Batutin Andriy Volodymyr | DataArt Kiev, AI/ML Engineer Master’s Degree, Specialization: Engineering, Odessa National Polytechnic University, Ukraine
E-mail - andrey.batutin@dataart.com |
| 10 | Belubekyan Mels Vagharshak | Cand. of Phys.-math. sci., Prof., Chief scientific worker of the Institute of Mechanics, NAS, RA
E-mail - mbelubekyan@yahoo.com |
| 11 | Federico Juan Pablo, Juan Carlos | DataArt Argentina, AI/ML Engineer Bachelor's Degree, Specialization: Systems Engineering Universidad Nacional de Lanús, Argentina
E-mail - juan.federico@dataart.com |
| 12 | Gaishun Vladimir Evgeni | Cand. of Phys.-math. sci., Associate Professor, Francisk Skorina Gomel State University |
| 13 | Ghazaryan Davit Armen | Cond. of tech.sci. of the Chair, Communication Means
E-mail -david.ghazryan.no1@gmail.com |
| 14 | Gomtsyan Svetlana Gevork | Cand. of tech. sci., Asistant of the Chair “Radio Devices”, NPUA
E-mail -gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 15 | Hovhannisyan Armen Henrik | Dr. of tech. sci., Prof., Head of the Chair “Mining and environmental protection engineering”, NPUA
E-mail -hovarmen1961@gmail.com |
| 16 | Karamyan Davit Spartaki | Information Systems, YSU, NLP Engineer, Master's Degree, Specialization: NLP, YSU, Armenia
E-mail - davkar98@gmail.com |
| 17 | Karamyan Tigran Spartaki | DataArt Armenia, AI/ML Engineer, PhD, Specialization: Mathematical Economics, YSU, Armenia
E-mail - t.qaramyan@ysu.am |

- | | |
|---|--|
| 18 Kharatyan Arsen Aramais | Graduate student of the Chair “Radio Devices”, NPUA
E-mail - arsen.xaratyan@mail.ru |
| 19 Khojoyan Levon Armeni | DataArt Armenia, AI/ML Engineer Bachelor's Degree,
Specialization: Computer Science Yerevan State
University, Armenia
E-mail - levon.khojoyan@dataart.com |
| 20 Kovalenko Dmitri Leonid | Cand. of Phys.-math. sci., Assoc. Prof., Francisk Skorina
Gomel State University |
| 21 Lyda Konrad Piotr | DataArt Poland, AI/ML Engineer Master's Degree,
Specialization: Software Development Technologies
Lublin University of Technology, Poland
E-mail - konrad.lyda@dataart.com |
| 22 Mailyan Levon Samvel | “Gold Star” CJSC, General Director
E-mail -l.mayilyan@gold-star.am |
| 23 Malyutina-Bronskaya Victoria
Vladimir | Researcher, SSPA "Optics, Optoelectronics, and Laser
Technology" NAS of Belarus, Minsk |
| 24 Papoyan Robert Set | Post-graduate student of the Chair “Metallurgy and
Material Science”, NPUA
E-mail -robertspapoyan@gmail.com |
| 25 Poghosyan Manvel Zakhar | Dr. of techn. sci., Prof. NUACA Drawing and Computer
Graphics head of the chair
E-mail - pmanvel2010@yandex.ru |
| 26 Sargsyan Inna Michael | Probationer of the Chair Mechanics and Machine Science,
NPUA
E-mail - innasargsyan@hotmail.com |
| 27 Sargsyan Mikayel Garegin | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Chair of “Mechanics and
Machine Science”, NPUA
E-mail - miksarg@mail.ru |
| 28 Semchenko Alina Valentin | Cand. of Phys.-math. sci., Assoc. Prof., Francisk Skorina
Gomel State University |
| 29 Sidsky Vitali Valeri | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Francisk Skorina Gomel
State University |
| 30 Simonyan Sargis Hovhannes | Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair Information
Technologies and Automation, NPUA
E-mail - simonyan@seua.am |
| 31 Soghomonyan Kolya
Hamazasp | Dr. of techn. sci., Prof., Lecturer at the Chair of
Engineering Graphics, NPUA
E-mail - kolia95@mail.ru |
| 32 Vasilyan Gayane Artash | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Metallurgy
and Material Science”, NPUA
E-mail - gayavasi@gmail.com |
| 33 Zalesski Valeri Boris | Cand. of tech. sci., Head of the Laboratory, SSPA "Optics,
Optoelectronics, and Laser Technology" NAS of Belarus,
Minsk |

18 Коваленко Дмитрий Леонидович	к.ф.-м.н., доцент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
19 Лида Конрад Петрович	DataArt Poland, AI/ML Engineer, магистр, специализация: Software Development Technologies, Люблинский технический университет, Польша Эл. почта- konrad.lyda@dataart.com
20 Маилян Левон Самвелович	генеральный директор ЗАО “Голд Стар” Эл. почта- l.mayilyan@gold-star.am
21 Малютина-Бронская Виктория Владимировна	научный сотрудник, ГНПО “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника” НАН Беларуси, Минск
22 Оганесян Армен Генрикович	д.т.н., профессор, зав. каф. Недрологии и охраны окружающей среды, НПУА Эл. почта- hovarmen1961@gmail.com
23 Папоян Роберт Сетович	аспирант, кафедра Металлургии и материаловедения, НПУА Эл. почта- robertspapoyan@gmail.com
24 Погосян Манвел Захарович	д.т.н., профессор, зав. кафедрой Черчения и компьютерной графики, НУАСА Эл. почта- rmanvel2010@yandex.ru
25 Саргсян Инна Михайловна	соискатель, кафедра Механики и машиноведения, НПУА Эл. почта- innasargsyan@hotmail.com
26 Саргсян Микаел Гарегиневич	к.ф.-м.н., доцент, кафедра Механики и машиноведения, НПУА Эл. почта- miksarg@mail.ru
27 Семченко Алина Валентиновна	к.ф.-м.н., доцент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины Эл. почта- alina@gsu.by
28 Сидский Виталий Валерьевич	к.т.н., доцент, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
29 Симонян Саргис Оганесович	д.т.н., проф., зав. кафедрой Информационных технологий и автоматизации, НПУА, Эл. почта – simonyan@seua.am
30 Согомонян Коля Амазаспович	д.т.н., профессор, кафедра Инженерной графики, НПУА Эл. почта- kolia95@mail.ru
31 Федерико Хуан Пабло (Хуан Карлос)	DataArt Argentina, AI/ML Engineer, бакалавр, специализация: Systems Engineering Национальный университет Лануса, Аргентина Эл. почта- juan.federico@dataart.com
32 Харатян Арсен Арамаисович	магистрант, кафедра Радиоустройств, НПУА Эл. почта- arsen.xaratyan@mail.ru
33 Ходжоян Левон Арменович	DataArt Armenia, AI/ML Engineer, бакалавр, специализация: Computer Science ЕГУ, Армения Эл. почта- levon.khojoyan@dataart.com

LIST OF THE AUTHORS

- | | | |
|----|----------------------------------|--|
| 1 | Aghabekyan Arthur Valeri | Probationer, NPUA |
| 2 | Aghbalyan Suren Gevorg | Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA
E-mail - metalsur@polytechnic.am |
| 3 | Aharonyan Gagik Anushavan | Cand. of tech. sci., Head of drilling and blasting operations CJSC «A.A.B. PROJECT» |
| 4 | Ashciyants Eduard Petr | Dr. of tech. sci., Institute of Water Problems and Hydro – Engineering named after I.V. Yeghiazarov |
| 5 | Ayvazyan Gagik Erjanik | Cond. of tech.sci., Assoc. Prof., NPUA
E-mail - agagarm@gmail.com |
| 6 | Azoyan Mikayel Sargis | Cond. of tech.sci. of the Chair Communication Means, NPUA
E-mail -miquael1945@mail.ru |
| 7 | Baghdasaryan Marinka Qajik | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA
E-mail - |
| 8 | Bakunts Marine Garen | Post graduate student, Lecturer, Chair of Engineering Graphics, NPUA
E-mail - marinka-bakunts@mail.ru |
| 9 | Batutin Andriy Volodymyr | DataArt Kiev, AI/ML Engineer Master’s Degree, Specialization: Engineering, Odessa National Polytechnic University, Ukraine
E-mail - andrey.batutin@dataart.com |
| 10 | Belubekyan Mels Vagharshak | Cand. of Phys.-math. sci., Prof., Chief scientific worker of the Institute of Mechanics, NAS, RA
E-mail - mbelubekyan@yahoo.com |
| 11 | Federico Juan Pablo, Juan Carlos | DataArt Argentina, AI/ML Engineer Bachelor's Degree, Specialization: Systems Engineering Universidad Nacional de Lanús, Argentina
E-mail - juan.federico@dataart.com |
| 12 | Gaishun Vladimir Evgeni | Cand. of Phys.-math. sci., Associate Professor, Francisk Skorina Gomel State University |
| 13 | Ghazaryan Davit Armen | Cond. of tech.sci. of the Chair, Communication Means
E-mail -david.ghazryan.no1@gmail.com |
| 14 | Gomtsyan Svetlana Gevork | Cand. of tech. sci., Asistant of the Chair “Radio Devices”, NPUA
E-mail -gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 15 | Hovhannisyan Armen Henrik | Dr. of tech. sci., Prof., Head of the Chair “Mining and environmental protection engineering”, NPUA
E-mail -hovarmen1961@gmail.com |
| 16 | Karamyan Davit Spartaki | Information Systems, YSU, NLP Engineer, Master's Degree, Specialization: NLP, YSU, Armenia
E-mail - davkar98@gmail.com |
| 17 | Karamyan Tigran Spartaki | DataArt Armenia, AI/ML Engineer, PhD, Specialization: Mathematical Economics, YSU, Armenia
E-mail - t.qaramyan@ysu.am |

- | | |
|---|--|
| 18 Kharatyan Arsen Aramais | Graduate student of the Chair “Radio Devices”, NPUA
E-mail - arsen.xaratyan@mail.ru |
| 19 Khojoyan Levon Armeni | DataArt Armenia, AI/ML Engineer Bachelor's Degree,
Specialization: Computer Science Yerevan State
University, Armenia
E-mail - levon.khojoyan@dataart.com |
| 20 Kovalenko Dmitri Leonid | Cand. of Phys.-math. sci., Assoc. Prof., Francisk Skorina
Gomel State University |
| 21 Lyda Konrad Piotr | DataArt Poland, AI/ML Engineer Master's Degree,
Specialization: Software Development Technologies
Lublin University of Technology, Poland
E-mail - konrad.lyda@dataart.com |
| 22 Mailyan Levon Samvel | “Gold Star” CJSC, General Director
E-mail -l.mayilyan@gold-star.am |
| 23 Malyutina-Bronskaya Victoria
Vladimir | Researcher, SSPA "Optics, Optoelectronics, and Laser
Technology" NAS of Belarus, Minsk |
| 24 Papoyan Robert Set | Post-graduate student of the Chair “Metallurgy and
Material Science”, NPUA
E-mail -robertspapoyan@gmail.com |
| 25 Poghosyan Manvel Zakhar | Dr. of techn. sci., Prof. NUACA Drawing and Computer
Graphics head of the chair
E-mail - pmanvel2010@yandex.ru |
| 26 Sargsyan Inna Michael | Probationer of the Chair Mechanics and Machine Science,
NPUA
E-mail - innasargsyan@hotmail.com |
| 27 Sargsyan Mikayel Garegin | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Chair of “Mechanics and
Machine Science”, NPUA
E-mail - miksarg@mail.ru |
| 28 Semchenko Alina Valentin | Cand. of Phys.-math. sci., Assoc. Prof., Francisk Skorina
Gomel State University |
| 29 Sidsky Vitali Valeri | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Francisk Skorina Gomel
State University |
| 30 Simonyan Sargis Hovhannes | Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair Information
Technologies and Automation, NPUA
E-mail - simonyan@seua.am |
| 31 Soghomonyan Kolya
Hamazasp | Dr. of techn. sci., Prof., Lecturer at the Chair of
Engineering Graphics, NPUA
E-mail - kolia95@mail.ru |
| 32 Vasilyan Gayane Artash | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Metallurgy
and Material Science”, NPUA
E-mail - gayavasi@gmail.com |
| 33 Zalesski Valeri Boris | Cand. of tech. sci., Head of the Laboratory, SSPA "Optics,
Optoelectronics, and Laser Technology" NAS of Belarus,
Minsk |

«Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. տեխնիկական գիտությունների սերիա» հանդեսում տպագրվում են տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները տեխնիկական գիտությունների հետևյալ բաժիններից՝ մեքենաշինություն, մետալուրգիա, նյութագիտություն, ընդերքօգտագործման տեխնոլոգիաներ, շինարարական կառուցվածքներ, հիդրավիկա և հիդրոտեխնիկական կառույցներ, էներգետիկա, էլեկտրատեխնիկա, գիտական սարքաշինություն և չափողական տեխնիկա, հաշվողական տեխնիկա և ինֆորմատիկա, ռադիոէլեկտրոնիկա, միկրոէլեկտրոնիկա, լազերային տեխնիկա, ավտոմատացում և կառավարման համակարգեր:

Հանդեսում լուսաբանվում են ակադեմիական և ճյուղային գիտահետազոտական ինստիտուտների, բուհերի, գիտաարտադրական միավորումների և այլ կազմակերպությունների գիտական գործունեության առավել կարևոր արդյունքները:

Հանդեսի հիմնական նպատակն է խթանել գիտատեխնիկական առաջընթացը և նպաստել արտադրության մեջ այդ արդյունքների ներդրմանը:

Հանդեսը նախատեսված է ճարտարագետների, հետազոտողների և գիտնականների լայն շրջանների համար: Լույս է տեսնում երեք ամիսը մեկ անգամ:

В журнале "Известия Национальной академии наук РА и Национального политехнического университета Армении. Серия технических наук" публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований, охватывающих основные разделы технических наук: машиностроение, металлургия, материаловедение, технологии недропользования, строительные конструкции, гидравлика и гидротехнические сооружения, энергетика, электротехника, научное приборостроение и измерительная техника, вычислительная техника и информатика, радиоэлектроника, микроэлектроника, лазерная техника, автоматизация и системы управления.

Журнал является периодическим изданием, освещающим наиболее важные результаты научной деятельности академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и др.

Основная цель журнала - пропагандировать фундаментальные и прикладные исследования в области технических наук, способствовать внедрению их результатов и ускорению научно-технического прогресса в производстве.

Журнал рассчитан на широкий круг ученых, исследователей и инженеров. Выходит один раз в три месяца.

The journal "Proceedings of the Republic of Armenia National Academy of Sciences and National Polytechnic University of Armenia. Series of Technical Sciences" publishes the results of theoretical and experimental investigations concerning the main branches of technical sciences: mechanical engineering, metallurgy, material science, mining engineering, natura utilization, building constructions, hydraulics and hydrotechnical constructions, power and electrical engineering, scientific instrument making and measuring devices, computer science and informatics, radioelectronics, microelectronics, laser eequipment, automation and control systems.

The journal is a periodical edition that presents the most important results of scientific activities at academic and branch scientific-research institutions, universities, research - industrial companies, etc.

The main task of the journal is the propaganda of fundamental and applied investigations in the field of technical sciences, and the promotion of their introduction and the acceleration of scientific and technological progress in industry.

The journal is intended for a wide range of scientists, researchers and engineers. It is published once in three months.

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով, համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Footer-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է Sylfaen տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերեն կամ անգլերեն լինելու դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիշը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԺԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում՝ գլխատառերով հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում: Հոդվածի վերնագիրը տրվում է հեղինակի ազգանվանը հաջորդող տողի կենտրոնում՝ bold, ամբողջությամբ գլխատառերով՝ 10 տառաչափով՝ հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անոտացիա) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի 500 նիշից ոչ ավելի՝ ներառյալ միջակայքերը, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան վերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծի մեջ:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ. » և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականության ցանկ» արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, գլխատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և բջջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл статьи в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт Sylfaen (размер шрифта - 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏԴ, УДК, UDC); строкой ниже - инициалы (И.О.) и фамилия - заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен состоять не более чем из 500 знаков, включая пробелы. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание **“Ключевые слова”** - Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова *“Рис.”*, *“Таблица”*, а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Словосочетание **“СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ”** располагается в центре строки заглавными буквами, Bold. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

RULES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the Sylfaen, font size 10, and the texts in by Times New Roman, in font size 10 .

2. On the top left corner, the Universal Decimal Classifier is placed in the language of the manuscript (ՀՏԴ, УДК, UDC). The initials and the surname(s) in font size 10, bold for texts in Armenian, English and Russian should be in the centre of the next line. The title should be placed in the centre of the line following the author's surname in font size 10, bold, all in capital letters for texts in Armenian, English and Russian.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 500 characters including the spaces, the number of keywords or word combinations - 4-8.

4. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

5. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They should be printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

6. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

7. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author's initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the centre of the line in capital letters. In the list of references, each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals, the references should be introduced in the following style: the author's surname, initials, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the authors names, full title, publication place, publisher, year, total number of pages.

8. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

9. The manuscript should be signed by the author(s) with indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of employment place, educational institution; the position occupied scientific degree, telephone numbers (office, home, mobile).