(10). A.Dawood, A.Dawood, A.Dawood, A.Dawood, M.A.Khan, S.Bashir, S.Bashir, A.Ayub, A.Hayat, A. Hayat, J.H.Sanderson, N.A.Chishti, and N.A.Chishti. "Examining the role of magnetic fields in plasma behavior and surface evolution of a Mg alloy with varied irradiances in a femtosecond laser treatment," Appl. Opt., 63(13), 3585-3599 (2024).

(11). A.Phukan and A.Nath. "Influence of an external magnetic field on laser-induced plasma and cavitation bubbles in submerged targets." J. Laser Appl., 35(1), 12011 (2023).

Ahmadov Ilhom Aktam o'g'li (Navoiy davlat universiteti tayanch doktoranti (PhD); ORCID: 0009-0008-8037-1966; E-mail: ilhomahmadov0516@gmail.com),
Mirzoev Akmal Ahadovich (O'zbekiston Fanlar akademiyasi M.T.O'razboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti professori, f.-m.f.d.; ORCID: 0000-0002-4620-0134),
Isomova Sabohat Islom qizi (Navoiy davlat universiteti tayanch doktoranti (PhD); ORCID: 0009-0002-2093-3142; E-mail: isomovasabohat150@gmail.com)

GARMONIK YUKLAMA OSTIDAGI 3-TARTIBLI INERTIO-VISKOELASTIK MODELNING ANALITIK YECHIMI TAHLILI

Annotatsiya. *Garmonik yuklama ta'siridagi materiallarning tebranma dinamikasini tavsiflovchi 3-tartibli inertio-viskoelastik reologik model tadqiq qilindi. Ishning maqsadi uchinchi tartibli differensial tenglamaning analitik yechimini keltirib chiqarishdan iborat. Integrallash o'zgarmaslari hamda tebranish amplitudalari Kramer qoidasi bo'yicha aniqlanib, deformatsiyalanish kinetikasi so'nuvchi va turg'un tebranishlar superpozitsiyasi ko'rinishida yoritildi. Taklif etilgan matematik apparat va Python dasturi reologik murakkab materiallarning dinamik xossalarini bashorat qilishga xizmat qiladi.*

Kalit so'zlar: *inertio-viskoelastiklik, 3-tartibli reologik model, analitik yechim.*

АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ИНЕРЦИО-ВИСКОЭЛАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ 3-ГО ПОРЯДКА ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Аннотация. *Исследована инертио-вискоэластичная реологическая модель 3-го порядка, описывающая колебательную динамику материалов при гармоническом нагружении. Цель работы - выведение аналитического решения дифференциального уравнения третьего порядка. Постоянные интегрирования и коэффициенты амплитуды колебаний определены по правилу Крамера, а кинетика деформирования представлена в виде суперпозиции затухающих и установившихся колебаний. Предложенный математический аппарат и программный комплекс на Python служат для прогнозирования динамических свойств реологически сложных материалов.*

Ключевые слова: *инертио-вискоэластичность, реологическая модель 3-го порядка, аналитическое решение.*

ANALYSIS OF THE ANALYTICAL SOLUTION OF A 3RD-ORDER INERTIO-VISCOELASTIC MODEL UNDER HARMONIC LOADING

Annotation. *A 3rd-order inertio-viscoelastic rheological model describing the vibrational dynamics of materials under harmonic loading was investigated. The study aims to derive an analytical solution for the third-order differential equation. Integration constants and vibration amplitude coefficients were determined via Cramer's rule, representing deformation kinetics as a superposition of damped and steady-state oscillations. The proposed mathematical framework and Python software package provide a tool for predicting the dynamic properties of rheologically complex materials.*

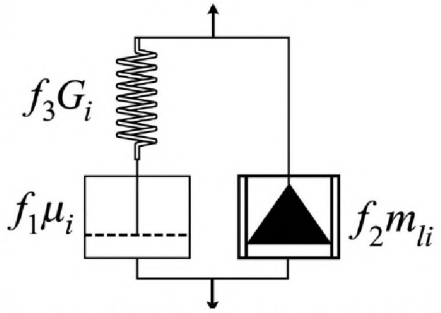
Keywords: *inertio-viscoelasticity, 3rd-order rheological model, analytical solution.*

Kirish. Zamonaviy mashinasozlik, polimerlar fizikasi hamda geomexanika sohalarida materiallarning turli yuklamalar ta'siridagi vaqtga bog'liq deformatsiyalanish jarayonlarini aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi [1,2]. Materiallarning vaqtga bog'liq ravishda namoyon bo'ladigan elastik, qovushqoq hamda inersion xossalarini majmuaviy tavsiflashda reologik modellashtirish usuli yetakchi o'rin tutadi [3,4]. Ayniqsa, dinamik yuklanishlar va yuqori chastotali tebranishlar ta'sirida ishlaydigan konstruksion materiallar xatti-harakatini o'rganishda modellashtirishning aniqligi va model tartibi hal qiluvchi ahamiyatga ega [5,6]. Odatda, reologik modellar prujina (elastiklik), dempfer (qovushqoqlik) va massa (inersiya) kabi fundamental elementlarning ketma-ket yoki parallel birikmalaridan tashkil topib, materialdagi kuchlanish va deformatsiya o'rtasidagi reologik holat tenglamasini shakllantiradi [4,7]. Hosil bo'lgan chiziqli differensial tenglamalarni yechishda, dastlab, analitik usullardan foydalaniladi [5]. Analitik yechimlar jarayonning fizik mohiyatini chuqur tushunish va model parametrlarining sifat analizini o'tkazish imkonini beradi [6;12-b.]. Biroq real amaliy masalalarda – o'zgaruvchan qovushqoqlik, nochiziqli xossalar va yuqori tartibli inertio-viskoelastik model parametrlarining murakkab tebranma rejimlarida analitik yechim topish

amalda imkonsizdir [7;14-b.]. Shunday holatlarda sonli usullardan foydalanish yagona samarali yechim bo‘lib, ularning aniqligi va yaqinlashuvchanligini baholash uchun soddalashtirilgan analitik yechim bilan taqqoslash talab etiladi [5;7-b.].

Ushbu sohada olib borilgan tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, materiallarning viskoelastik hamda inersion xossalarini reologik modellashtirish masalalari xalqaro va mahalliy olimlar tomonidan keng o‘rganilgan. Jumladan, J.D.Ferry [1], R.M.Christensen [4], N.V.Tschoegl [9] va A.C.Pipkin [13] polimerlar hamda tutash muhitlar reologiyasi, holat tenglamalarini tuzish va dinamik ta’sirlarni nazariy asoslash bo‘yicha fundamental ishlarni amalga oshirishgan bo‘lsa, D.D.Joseph [11] hamda R.H.Ewoldt [14] inersion-viskoelastik effektlar va nochiziqli reologik rejimlarni tadqiq etishgan. Mahalliy olimlardan I.I.Safarov [5] va K.Khudoynazarovning [6] ishlarida viskoelastik tizimlarning dinamik xarakteristikalari hamda tebranish jarayonlarini analitik va sonli modellashtirish masalalari atroflicha yoritilgan. Konstruksion va polimer materiallarning murakkab yuklamalar ta’siridagi deformatsiyalanishini klassik modellar yordamida har doim ham yetarlicha aniqlikda tasvirlab bo‘lmaydi [8;10-b.]. Ayniqsa, yuqori chastotali tebranishlar va zarbli yuklanishlarda material ichki inersiya kuchlarini namoyon etadi [9;11-b.]. Shu sababli materialning vaqtga bog‘liq elastik, qovushqoq va inersion xossalarini bir vaqtning o‘zida tavsiflash uchun 3-tartibli inertio-viskoelastik reologik model ishlab chiqildi. Ushbu tadqiqotning maqsadi 3-tartibli inertio-viskoelastik model va uning strukturaviy sxemasini ishlab chiqish, sodda holatlar uchun analitik yechimni topish hamda murakkab rejimlar uchun mos sonli usulni qo‘llab, natijalarni taqqoslashdan iboratdir.

Ushbu reologik model uchta asosiy fundamental mexanik elementdan tashkil topgan bo‘lib, ularning har biri materialning alohida fizik-mexanik xususiyatini aks ettiradi.



1-chizma. 3-tartibli inertso-viskoelastik reologik modelning mexanik sxemasi.

Modelning topologik tuzilishiga e’tibor qaratsak, u ikkita asosiy tarmoqning parallel birikishidan tashkil topgan: Chap tarmoq (Maksvell bloki): Elastik prujina (f_3G_i) va qovushqoq dempfer ($f_1\mu_i$) ketma-ket birikkan. Ketma-ket birikish materialga kuchlanish berilganda elastik deformatsiyaning darhol, qovushqoq deformatsiyaning esa vaqt o‘tishi bilan rivojlanishini ta'minlaydi. O‘ng tarmoq (Inersiya tarmog‘i): Inersiya elementi (f_2m_{li}) chap tarafdagi Maksvell bloki bilan parallel ravishda ulanadi. Parallel birikish inersiyaviy kuchlarning to‘g‘ridan to‘g‘ri umumiy kuchlanish balansi va tebranish kinetikasida ishtirok etishini ta’minlaydi.

Parallel birikish qoidasiga ko‘ra, to‘liq kuchlanish $\sigma(t)$ har bir tarmoqdagi kuchlanishlar yig‘indisiga teng bo‘ladi, to‘liq deformatsiya $\gamma(t)$ esa ikkala tarmoqda bir xil qiymatga ega:

$$\sigma(t) = \sigma_M(t) + \sigma_I(t) \quad (1)$$

$$\gamma(t) = \gamma_M(t) = \gamma_I(t) \quad (2)$$

bu yerda: M indeksi–- Maksvell tarmog‘ini, I indeksi - inersiya tarmog‘ini bildiradi.

Noma’lum deformatsiya $\gamma(t)$ va uning barcha hosilalarini tenglikning chap tomoniga, tashqi ta’sir - kuchlanish $\sigma(t)$ va uning hosilasini esa o‘ng tomoniga o‘tkazamiz:

$$f_2m_{li}\frac{d^3\gamma(t)}{dt^3} + \left(\frac{f_3G_i \cdot f_2m_{li}}{f_1\mu_i}\right)\frac{d^2\gamma(t)}{dt^2} + f_3G_i\frac{d\gamma(t)}{dt} = \frac{d\sigma(t)}{dt} + \frac{f_3G_i}{f_1\mu_i}\sigma(t) \quad (3)$$

Fizik nuqtayi nazardan, modelning relaksatsiya vaqtini $\tau_R = \frac{f_1\mu_i}{f_3G_i}$ deb belgilaymiz [12]. Bu kattalik materialga berilgan kuchlanishning ichki elastik-qovushqoq qayta taqsimlanish tezligini ko‘rsatadi. U holda $\frac{f_3G_i}{f_1\mu_i} = \frac{1}{\tau_R}$ bo‘ladi.

Ushbu belgilashni o‘rniga qo‘ysak, 3-tartibli inertio-viskoelastik modelning umumlashtirilgan reologik holat tenglamasi kelib chiqadi:

$$f_2m_{li}\frac{d^3\gamma(t)}{dt^3} + \frac{f_2m_{li}}{\tau_R}\frac{d^2\gamma(t)}{dt^2} + f_3G_i\frac{d\gamma(t)}{dt} = \frac{d\sigma(t)}{dt} + \frac{1}{\tau_R}\sigma(t) \quad (4)$$

Metodlar. (4) tenglamaga garmonik kuchlanish $\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t)$ berilganda, uning hosilasi $\frac{d\sigma}{dt} = \sigma_0 \omega \cos(\omega t)$ bo'ladi. O'ng tomonni belgilab olamiz:

$$F(t) = \sigma_0 \left(\omega \cos(\omega t) + \frac{1}{\tau_R} \sin(\omega t) \right) \tag{5}$$

O'zgarmas koeffitsiyentlarni belgilaymiz: $A = f_2 m_{li}$, $B = \frac{f_2 m_{li}}{\tau_R}$, $C = f_3 G_i$. Natijada tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$A \frac{d^3\gamma}{dt^3} + B \frac{d^2\gamma}{dt^2} + C \frac{d\gamma}{dt} = F(t) \tag{6}$$

Tenglamaning to'liq yechimi bir jinsli tenglama yechimi (γ_h) va bir jinsli bo'lmagan tenglamaning xususiy yechimi (γ_p) yig'indisidan iborat: $\gamma(t) = \gamma_h(t) + \gamma_p(t)$. Bir jinsli tenglamaning xarakteristik tenglamani tuzamiz:

$$Ak^3 + Bk^2 + Ck = 0 \Rightarrow k(Ak^2 + Bk + C) = 0 \tag{7}$$

Ildizlar: $k_1 = 0$; Kvadrat tenglama ildizlari: $k_{2,3} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$. Zaruriy tebranma rejimda ($B^2 - 4AC < 0$) ildizlar kompleks-qo'shma bo'ladi: $k_{2,3} = -\alpha \pm i\beta$. Bir jinsli tenglamaning umumiy yechimi quyidagicha olinadi:

$$\gamma_h(t) = C_1 + e^{-\alpha t}(C_2 \cos(\beta t) + C_3 \sin(\beta t)) \tag{8}$$

Tashqi kuch garmonik bo'lgani uchun xususiy yechimni quyidagi shaklda izlaymiz:

$$\gamma_p(t) = M \sin(\omega t) + N \cos(\omega t) \tag{9}$$

Hosilalarini olamiz:

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma_p}{dt} &= M\omega \cos(\omega t) - N\omega \sin(\omega t) \\ \frac{d^2\gamma_p}{dt^2} &= -M\omega^2 \sin(\omega t) - N\omega^2 \cos(\omega t) \\ \frac{d^3\gamma_p}{dt^3} &= -M\omega^3 \cos(\omega t) + N\omega^3 \sin(\omega t) \end{aligned} \tag{10}$$

Hosilalarni (6) tenglamasiga qo'yib, $\sin(\omega t)$ va $\cos(\omega t)$ oldidagi koeffitsiyentlarni tenglashtiramiz. Hosil bo'lgan ikkita noma'lumli (M va N) algebraik tenglamalar sistemasini yechsak quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$M = \sigma_0 \frac{(C - A\omega^2)/\tau_R + B\omega^2}{\omega[(C - A\omega^2)^2 + B^2\omega^2]} \quad N = \sigma_0 \frac{(C - A\omega^2)\omega - B/\tau_R}{\omega[(C - A\omega^2)^2 + B^2\omega^2]} \tag{11}$$

Olingan yechimlarni birlashtirib, deformatsiyaning vaqtga bog'liqlik funksiyasini hosil qilamiz:

$$\gamma(t) = C_1 + e^{-\alpha t}(C_2 \cos(\beta t) + C_3 \sin(\beta t)) + M \sin(\omega t) + N \cos(\omega t) \tag{12}$$

Bu yerda C_1, C_2, C_3 o'zgarmas koeffitsiyentlari boshlang'ich shartlaryordamida aniqlanadi.

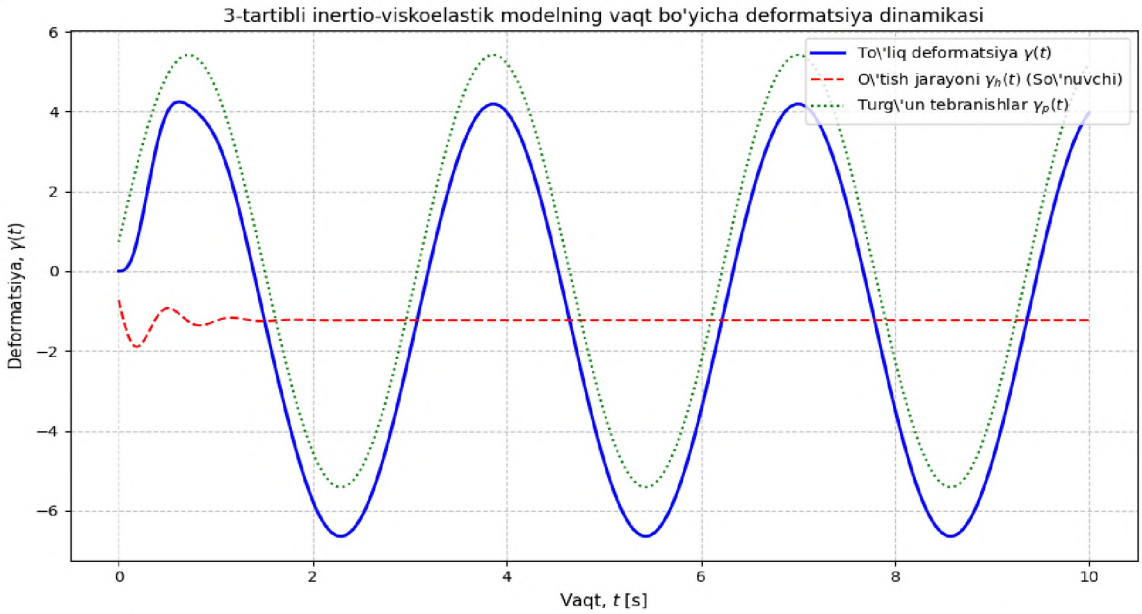
Fizikaviy nuqtayi nazardan, materialga garmonik yuklama berilishdan oldin u to'liq tinch holatda bo'lgan va hech qanday dastlabki kuchlanish hamda deformatsiyalarga ega bo'lmagan deb qaraladi. Bu esa dinamik tizim uchun tabiiy va qiyosiy chegaraviy shartlarni belgilab beradi, ya'ni, vaqtning boshlang'ich momentida materialning deformatsiyasi, deformatsiyalanish tezligi va deformatsiyalanish tezlanishi nolga teng deb olinadi:

Ushbu uchta fizik shart uchinchi tartibli diferensial tenglamaning umumiy yechimidagi C_1, C_2, C_3 integrallash o'zgarmaslarini bir qiymatli va aniq aniqlash imkonini beradi. Boshlang'ich shartlar differensial tenglamalar sistemasiga qo'llanilib, birgalikda yechilishi natijasida o'zgarmas koeffitsiyentlar materialning reologik parametrlari ($f_1\mu_i, f_2 m_{li}, f_3 G_i, \tau_R$) va tashqi yuklama ko'rsatkichlari (σ_0, ω) orqali to'liq ifodalanadi.

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{2\alpha M\omega - N\omega^2}{\alpha^2 + \beta^2} \\ C_1 &= -N - C_2 = -N - \frac{2\alpha M\omega - N\omega^2}{\alpha^2 + \beta^2} \\ C_3 &= \frac{\alpha C_2 - M\omega}{\beta} = \frac{\alpha(2\alpha M\omega - N\omega^2)}{\beta(\alpha^2 + \beta^2)} - \frac{M\omega}{\beta} \end{aligned} \tag{13}$$

Bu yerda $\alpha = \frac{1}{2\tau_R} = \frac{f_3 G_i}{2 f_1 \mu_i}$ so'nish koeffitsiyenti.

Natijalar. Yuqoridagi kelib chiqqan yagona analitik yechim materialga kuchlanish berilgan dastlabki lahzalardan boshlab to qaror topgan turg‘un tebranishlar rejimiga o‘tgunga qadar bo‘lgan butun jarayondagi deformatsiya kinetikasini yuqori aniqlikda va qo‘shimcha mavhum parametrlarsiz tasvirlaydi. 3-tartibli inertio-viskoelastik modelning vaqt bo‘yicha dinamik javobini baholash va olingan analitik yechimni amaliy simulatsiya qilish maqsadida Python muhitida dasturiy realizatsiya bajarildi. Modelning kinetik xatti-harakatini yaqqol ko‘rsatib berish uchun standart muhandislik va reologik parametrlar to‘plami tanlab olindi.



2-rasm. 3-tartikli inertio-viskoelastik modelning vaqt bo‘yicha deformatsiyalanish kinetikasi ($f_3 G_i = 50.0$ Pa, $f_1 \mu_i = 10.0$ Pa · s, $f_2 m_{li} = 0.5$ kg/m, $\sigma_0 = 100.0$ Pa, $\omega = 2.0$ rad/s): 1-to‘liq deformatsiya $\gamma(t)$; 2 - o‘tish (so‘nuvchi) jarayoni $\gamma_h(t)$; 3-qaror topgan turg‘un tebranishlar $\gamma_p(t)$.

Xulosa. Ushbu tadqiqot ishida 3-tartibli inertio-viskoelastik reologik modelning garmonik yuklama ta’siri ostidagi tebranma dinamikasi va vaqtga bog‘liq deformatsiyalanish jarayonlari nazariy hamda amaliy jihatdan har taraflama tadqiq qilindi. Olingan asosiy ilmiy va amaliy natijalar quyidagilardan iborat. To‘liq analitik yechim va integrallash o‘zgarmaslari aniqlandi, materialga yuklama berilishdan oldingi ($t = 0$) chegaraviy va boshlang‘ich shartlar qat’iy e’tiborga olingan holda, uchinchi tartibli differensial tenglamaning umumiy va xususiy yechimlari shakllantirildi. Integrallash o‘zgarmaslari (C_1, C_2, C_3) hamda tebranish amplitudasi koeffitsientlari (M, N) Kramer qoidasiga asosan faza tenglamalari orqali reologik parametrlar va kuchlanish parametrlari bilan uzviy bog‘langan holda bir qiymatli aniqlandi. O‘tish va turg‘un tebranishlar kinetikasi tahlil qilinib, deformatsiyaning umumiy tenglamasi so‘nuvchi o‘tish jarayoni ($\gamma_h(t)$) va qaror topgan garmonik tebranishlar ($\gamma_p(t)$) yig‘indisidan iborat ekanligi ko‘rsatildi. Eksponensial so‘nish koeffitsiyenti (α) materialning relaksatsiya vaqtiga bog‘liq holda, $t \geq 1.2\ s$ vaqt oralig‘ida o‘tish jarayonining to‘liq so‘nishini va tizimning doimiy amplituda hamda faza siljishi turg‘un tebranishlar rejimiga o‘tishini ko‘rsatdi. Dasturiy realizatsiya orqali python muhitida analitik yechim uchun modulli dastur yaratildi. Olingan natijalar 3-tartibli inertio-viskoelastik modellarni tebranma rejimda tadqiq etishda keltirib chiqarilgan analitik yechimning yuqori aniqlik va ishonchlilik berishini tasdiqlaydi. Ushbu matematik apparat va dasturiy majmuadan dinamik yuklama ostida ishlaydigan polimerlar, reologik murakkab muhitlar va mashinasozlik konstruksiyalarining tebranishlarini baholashda keng foydalanish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

(1). Ferry J.D. (1980). Viscoelastic properties of polymers (3rd ed.). John Wiley & Sons. https://doi.org/ 10.1002/pol.1981.130191012

(2). Wineman A. (2009). Nonlinear viscoelastic solids–A review. Mathematics and Mechanics of Solids, 14(3), 300–366. https://doi.org/10.1177/1081286509103896

(3). Mainardi F., Spada G. (2011). Creep and relaxation in linear viscoelasticity: Is there always a duality? Rheologica Acta, 50(1), 15–30. https://doi.org/10.1007/s00397-010-0494-6

(4). Christensen R.M. (2010). Theory of viscoelasticity: An introduction (2nd ed.). Dover Publications. https://doi.org/10.1016/C2009-0-21932-1

(5). Safarov I.I., Teshaev M.K., Akhmedov A.B. (2020). Numerical study of dynamic characteristics of viscoelastic systems. Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 19(2), p. 75–86. https://doi.org/10.17512/jamcm.2020.2.07

(6). Khudoynazarov K., Abdikarimov A. (2019). Torsion vibrations of a viscoelastic cylindrical shell filled with a liquid. AIP Conference Proceedings, 2186(1), Article 080005. https://doi.org/10.1063/1.5138012

(7). Sobotka Z. (1984). Rheology of materials and engineering structures. Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2009-0-09319-3

(8). Barnes H.A., Hutton J.F., Walters K. (1989). An introduction to rheology. Elsevier. https://doi.org/ 10.1016/C2009-0-08805-X

(9). Tschoegl N.W. (1989). The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior: An introduction. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73602-5

(10). Lakes R.S. (2009). Viscoelastic materials. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/ CBO9780511626722

(11). Joseph D.D., Narain A., Riccius O. (1986). Shear wave propagation and inertia in viscoelastic fluids. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 19(3), p. 237–303. https://doi.org/10.1016/0377-0257(86)80001-3

(12). Baumgaertel M., Winter H.H. (1989). Determination of discrete relaxation time spectra for polymer melts from dynamic mechanical data. Rheologica Acta, 28(6), p. 511–519. https://doi.org/10.1007/BF01332922

(13). Pipkin A.C. (1986). Lectures on viscoelasticity theory (2nd ed.). Springer-Verlag. https://doi.org/ 10.1007/978-1-4612-4952-8

(14). Ewoldt R.H., McKinley G.H. (2010). On secondary loops in LAOS via harmonic generative rheology. Rheologica Acta, 49(2), p. 213–219. https://doi.org/10.1007/s00397-009-0408-2

Muxitdinova Feruza Rustam qizi (Namangan davlat Texnika univarsiteti, fizika-matematika fanlari nomzodi; e-mail: feruzafizik1991@gmail.com),
Maxmudjonov O‘rinboy Valijon o‘g‘li (Namangan davlat Texnika universiteti tayanch doktoranti; E-mail: urinboyfizik@gmail.com)

BIPOLYAR TRANZISTORNING VOLT-AMPER XARAKTERISTIKASIGA KO‘NDALANG MAGNIT MAYDON TA’SIRINING ANALITIK MODELI

Annotatsiya. *Maqolada ko‘ndalang magnit maydonning bipolyar tranzistor volt-amper xarakteristikasiga (VAX) ta’siri nazariy jihatdan o‘rganilgan. Dastlab, p-n-p strukturaning VAXi klassik diffuzion nazariya doirasida izchil keltirib chiqarilgan: bazadagi zaryad tashuvchilar uchun uzluksizlik tenglamasi p--n o‘tish nazariyasining chegaraviy shartlari bilan yechilib, inyeksiyalangan kovaklar taqsimoti, kollektor tok zichligi va bazada tashish koeffitsiyenti uchun yopiq analitik ifodalar olingan. So‘ngra magnit maydon ta’siri Drude modeli va Eynshteyn munosabati asosida kiritilgan: magnit maydon induksiyasi ortishi bilan ozchilik tashuvchilarning effektiv harakatchanligi, diffuziya koeffitsiyenti va diffuziya uzunligi kamayishi ko‘rsatilgan, bu esa bazaning effektiv qalinlashuviga ekvivalentdir. Kollektor toki va bazada tashish koeffitsiyentining magnit maydondagi umumlashgan analitik ifodalari olingan. Kuchsiz maydonlar soha-sida effekt magnit maydon induksiyasiga kvadratik bog‘liq bo‘lib, tashuvchilar harakatchanligi kvadratiga proporsional ekanligi aniqlangan, shuning uchun yuqori harakatchanlikka ega materiallarda sezgirlik kes-kin ortadi. Germaniy uchun bajarilgan sonli hisoblashlar 2 Tl induksiyada kollektorning to‘yinish toki 13 %ga, 4 Tlda esa 38%ga kamayishini ko‘rsatadi. Modelning qo‘llanish chegaralari muhokama qilingan hamda yondashuvni ikki o‘lchamli elektron gazli geteroo‘tishli maydon tranzistorlariga kengaytirish istiq-bollari belgilangan.*

Kalit so‘zlar: *bipolyar tranzistor, volt-amper xarakteristikasi, ko‘ndalang magnit maydon, ozchilik zaryad tashuvchilar, diffuziya uzunligi, harakatchanlik, Hall burchagi, bazada tashish koeffitsiyenti, magnitotranzistor, magnitosezgirlik.*

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Аннотация. *В статье теоретически исследовано влияние поперечного магнитного поля на вольт-амперную характеристику (ВАХ) биполярного транзистора. Сначала ВАХ структуры p-n-p последовательно получена в рамках классической диффузионной теории: уравнение непрерывности для неосновных носителей заряда в базе решено с граничными условиями теории p–n перехода, получены замкнутые аналитические выражения для распределения инжектированных дырок, плотности коллекторного тока и коэффициента переноса базы. Затем влияние магнитного поля введено на основе модели Друде и соотношения Эйнштейна: показано, что с ростом индукции магнитного поля эффективная подвижность, коэффициент диффузии и диффузионная длина неоснов-*