7 – TOM 6 – SON / 2024 - YIL / 15 - IYUN

# ELASTIK YOPISHQOQ SUYUQLIKLARNING STASIONAR BO'LMAGAN OQIMLARI HARAKATINI O'RGANISHDA SHULMAN-XUSIDNING MODIFIKASIYA MODELINI QO'LLASH.

**Shukurov Zoxid Kuchkorovich**

*(SamDU Kattaqo'rg'on filiali "Aniq va tabiiy fanlar" kafedrasi mudiri (PhD); shukurovzoxid742@gmail.com )*

**Otayorov Oxunjon Shovxiddin o'g'li**

**Eshboyiva Farangiz Axmadjon qizi**

*(SamDU Kattaqo'rg'on filiali talabalari)*

**Annotasiya.** Kanal va quvurlarda elastik yopishqoq suyuqliklarning statsionar bo'lmagan va pulsatsiyalanuvchi oqimlarini o'rganishda ularning murakkab reologik modellarini qo'llash orqali aniq amaliy masalalarni yechish, analitik usullarni ishlab chiqish ishlari olib borilgan va ijobiy natijalarga erishilgan. Ushbu maqolada biz kanallar va quvurlardagi elastik yopishqoq suyuqliklarning stosionar bo'lmagan oqimlari harakatlarini o'rganish uchun Shulman-Xusid modelining modifikasiyasidan foydalanishni taklif qilamiz va bu model Nyuton va Maksvell modellarining umumiy holi ekanligini ko'rsatamiz.

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ШУЛЬМАНА-ХУСИДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОТОКОВ УПРУГИХ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ.

**Аннотация.** При исследовании нестационарных и пульсирующих течений упругих вязких жидкостей в каналах и трубах с применением их сложных реологических моделей проведены работы по решению конкретных практических задач, разработке аналитических методов и достигнуты положительные результаты. В данной статье мы предлагаем использовать модификацию модели Шульмана-Хюсида для исследования поведения нестационарных течений упругих вязких жидкостей в каналах и трубах и показываем, что эта модель является общим случаем моделей Ньютона и Максвелла.

## APPLICATION OF SHULMAN-KHUSID MODIFICATION MODEL IN STUDYING THE MOVEMENT OF NON-STATIONARY FLOWS OF ELASTIC VISCOUS FLUIDS.

**Abstract.** In the study of non-stationary and pulsating flows of elastic viscous fluids in channels and pipes, by applying their complex rheological models, work was carried out to solve specific practical problems, to develop analytical methods, and positive results were achieved. In this article, we propose to use a modification of the Shulman-

Husid model to study the behavior of non-stationary flows of elastic viscous fluids in channels and pipes, and we show that this model is a general case of the Newtonian and Maxwellian models.

**Tayanch so'zlar.** Elastik yopishqoq suyuqlik, kanal, quvur, stosionar bo'lmagan oqim, model, reloksasiya, spektr, modifikatsiya.

**Ключевые слова:** Упругая вязкая жидкость, канал, труба, нестационарное течение, модель, релоксация, спектр, модификация.

**Key words:** Elastic viscous fluid, channel, pipe, non-stationary flow, model, reallocation, spectrum, modification.

Kirish (Introduction) Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili (Literature review). Elastik yopishqoq suyuqliklarning matematik modeli asosan suyuqlik elastikligining oʻzgarishini hisobga olishga asoslangan. Eng umumiy holda muhit holatning reologik tenglamalari Koshi va Finger chekli deformatsiyalari tenzor bogʻlanishi bilan ifodalangan kuchlanishlar tenzori koʻrinishida berilgan [14, 15]. Keyin elastik yopishqoq suyuqliklarning holatlari chiziqsiz reologik tenglamalari Maksvell modeli koʻrinishida umumlashtirilgan [1, 6, 7, 17, 20]. U yerda relaksasion va integral tipdagi holatlar chiziqsiz elastik yopishqoq reologik tenglamalarning matematik ekvivalentligi shartlari asosida aniqlanadi.

Yassi va xalqasimon doiraviy kesimli uzun kanallrda elastik yopishqoq suyuqlik oqimi Z.P.Shulman, B.M. Xusidlar tomonidan tadqiq etilgan [17].

Bosim gradiyentining vaqt boʻyicha oʻzgarishi natijasidagi yopishqoq Nyuton suyuqliklarining laminar nostasionar va stasionar oqimlar masalalari [2, 3, 4, 8] tadqiqot ishlarida qaralgan boʻlsa, turbulent rejimdagi oqimlar [13, 16] ishlarda tadqiq qilingan. Nyuton suyuqligi harakatini koʻpfazoli muhit sifatida qarash, bu sohadagi nazariy tadqiqot ishlarining tajriba natijalariga yaqinlashtirish imkonini beradi, bunday tadqiqotlar [5, 13] ishda mukammal va amaliyotga tadbiqlari asosida keltirilgan.

Ammo nonyuton suyuqliklar harakatini oʻrganishda koʻplab tadqiqotlar olib borilganiga qaramay, hozirgi kunda Shulman-Xusid modeli yordamida masalalar yetarli darajada tadqiq qilinmagan va amaliyotga tadbiq etilmagan. Jumladan, elastik yopishqoq suyuqliklarning oqimida, bosim gradiyentining keskin oʻsishi va keskin kamayib nolga teng boʻlishidagi nostasionar oqimlarida sodir boʻladigan gidrodinamik oʻzgarishlar batafsil oʻrganilmagan [10, 14, 17, 18, 19, 20].

Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology). Ma'lumki, koʻpchilik hollarda elastik yopishqoq suyuqlik oqimi uchun Maksvellning bir oʻlchovli fazodagi klassik modeli elastik yopishqoq suyuqliklar oqimi uchun qoʻlanilib kelingan [1, 8, 9]:

$$\tau + \lambda \dot{\tau} = 2\eta D, \qquad (1)$$

bu yerda $\tau$ – kuchlanishlar tenzori; $\dot{\tau}$ – kuchlanishlar tenzorining vaqt boʻyicha hosilasi; $\eta$ – suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffisenti;

$\lambda = \dfrac{\eta}{E}$ – relaksatsiya koeffisiyenti; $E$ – yopishqoq suyuqlikning elastiklik moduli; $D = \dfrac{1}{2}\dfrac{\partial u}{\partial y}$ – muhitning siljish deformatsiyasi tezligi.

Biz Maksvell modeli ko‘rinishidagi barcha elastik yopishqoq suyuqliklarning reologik modellarini topologik model shaklida umumlashtiruvchi Shulman-Xusidning modelida keltiramiz:

$$T = \sum_{k=1}^{\infty}\left(1+\frac{\varepsilon}{2}\right)' T_k^{(1)} + \frac{\varepsilon}{2}T_k^{(2)}, \quad \overset{\nabla}{T}{}_k^{(1)} + \frac{g_k}{\lambda_k}T_k^{(1)} = 2p_k\boldsymbol{D},$$
$$\overset{\Delta}{T}{}_k^{(2)} + \frac{g_k}{\lambda_k}T_k^{(2)} = -2p_k\boldsymbol{D}, \qquad \frac{Dp_k}{Dt} + \frac{g_k}{\lambda_k}p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k^2}f_k. \tag{2}$$

Bu yerda yuqori konvektiv hosila ushbu ifoda orqali

$$\overset{\nabla}{T}{}_k^{(1)} = \frac{DT_k^{(1)}}{Dt} - T_k^{(1)}\nabla V^T - \nabla V\cdot T_k^{(1)},$$

pastki konvektiv hosila esa quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\overset{\Delta}{T}{}_k^{(2)} = \frac{DT_k^{(2)}}{Dt} + T_k^{(2)}\nabla V + \nabla V^T\cdot T_k^{(2)}.$$

Yaumann hosilasi esa ushbu ko‘rinishda berilgan: $\dfrac{DA}{Dt} = \dfrac{\partial A}{\partial t} + V\nabla A + WA - AW$,

bu yerda $\nabla V = \boldsymbol{D} + W$, $\boldsymbol{D} = \dfrac{1}{2}\left(\nabla V^T + \nabla V\right)$, $W = \dfrac{1}{2}\left(\nabla V - \nabla V^T\right)$ bo‘lib, $\boldsymbol{D}$ – deformatsiya tezligi tenzori; $\nabla V$ – deformatsiya tezligi gradiyenti; $\nabla V^T$ – transponirlangan deformatsiya tezligi gradiyenti; noldanfarqli ikkinchi normal kuchlanishlar ayirmasini ifodalovchi $\varepsilon$ parametr sifatida kiritilgan bo‘lib, u quyidagi formula orqali aniqlanadi $\dfrac{\varepsilon}{2} = \dfrac{\Psi_2}{\Psi_1}$. Bu yerda $\Psi_1 = (\sigma_{11} - \sigma_{22})/\gamma^2$, $\Psi_2 = (\sigma_{22} - \sigma_{33})/\gamma^2$ funksiyalar, mos ravishda, birinchi va ikkinchi, ikkinchi va uchinchi kuchlanishlar ayirmasi; $p_k$ – tenglamaning o‘zidan aniqlanuvchi parametr; $T_k^{(1)}$, $T_k^{(2)}$ – har biri uchun to‘qqizta elementdan tashkil topgan kuchlanish tenzorlari; $\overset{\nabla}{T}{}_k^{(1)}$, $\overset{\Delta}{T}{}_k^{(2)}$ – ixtiyoriy tanlangan koordinatalar sistemasida berilgan kuchlanish tenzorlari bo‘lib, ular uchun belgilangan hosilalar, mos ravishda, yuqori va pastki konvektiv hosilalarni bildiradi [18-19].

Yuqorida keltirilgan (2) umumiy ko‘rinishdagi elastik yopishqoq suyuqliklar modeliga juda ko‘p polimer suyuqliklar va boshqa elastik yopishqoq suyuqliklar modellari kiradi. Asosan, bu modellarning bir-biridan farqi, elastik yopishqoq suyuqliklar xususiyatlariga qarab (2) tenglamaga kiruvchi $f_k\left(S_D(t')\right)$ va $g_k\left(S_D(t')\right)$

funksiyalarning aniqlanishidadir. Xususan, kichik deformasiyalarda $f_k = g_k = 1$ bo‘lib, bu holda elastik yopishqoq suyuqliklar modeli chiziqli ko‘rinishga keladi. Sonli hisob yuritishda $\lambda_k$ va $\eta_k$ kattaliklar, jumladan, $\lambda_k = \frac{\lambda}{k^\alpha}$, $\eta_k = \frac{\eta}{\xi(\alpha)k^\alpha}$ ko‘rinishida olinadi, bu yerda $\eta$ – boshlang‘ich holatdagi Nyuton suyuqligining dinamik yopishqoqlik koeffisiyenti; $\lambda$ – relaksasiya koeffisiyenti (vaqti); $\alpha$ – relaksasiya vaqti taqsimlanish spektrini xarakterlovchi son; $\xi(\alpha)$ – Rimanning dzeta funksiyasi, u $\xi(\alpha) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^\alpha}$ ko‘rinishidagi ifoda orqali aniqlanadi.

Shuni aytish kerakki, yuqori konvektiv hosila, pastki konvektiv hosila va Yaumann hosilasi ixtiyoriy koordinatalar sistemasida olingan bo‘lib, ular ortogonal Dekart va silindrik koordinatalar sistemalarida oddiy hosilalarga aylanadi.

Maksvell tipidagi modellarda $f_k = g_k = 1$ va $p_k = \frac{\eta_k}{\lambda_k}$ ekanligidan, yuqorida keltirilgan Shulman-Xusid modeli to‘liq chiziqli ko‘rinishga keladi. Shunday ekan Shulman-Xusid modelini, ushbu ko‘rinishdagi modifikatsiyalangan model shakliga keltiramiz[10, 11]:

Dekart koordinatalar sistemasi uchun ushbu ko‘rinishda:

$$T = \sum_{k=1}^{\infty} T_k, \quad \lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial t} + T_k = 2\eta_k \boldsymbol{D},$$
$$\boldsymbol{D} = \frac{1}{2}\frac{\partial u}{\partial y}; \tag{3}$$

silindrik koordinatalar sistemasi uchun esa ushbu ko‘rinishda keltiramiz:

$$T = \sum_{k=1}^{\infty} T_k, \quad \lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial t} + T_k = 2\eta_k \boldsymbol{D},$$
$$\boldsymbol{D} = \frac{1}{2}\frac{\partial \vartheta_x}{\partial r}. \tag{4}$$

Bu yerda keltirilgan modifikatsiyalangan Shulman-Xusid modelidan xususiy holda Nyuton, Maksvell modellari kelib chiqishini keltiramiz. Ryelaksasiya koeffisiyenti $\lambda$ nolga intilgan holatida xususiy hol sifatida Nyuton modeli kelib chiqadi. Haqiqatdan ham, (3) va (4) tenglamalarda $\lim_{\lambda \to 0} \lambda_k = 0$ desak, u holda Dekart koordinatalar sistemasi uchun

$$T = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \tag{5}$$

va silindrik koordinatalar sistemasi uchun

$$T = \eta \frac{\partial \vartheta_x}{\partial r} \qquad (6)$$

ko‘rinishda ifodalash qiyin emas.

Modifikatsiyalangan Shulman-Xusid modelining xususiy holi sifatida, ryelaksasiya vaqti spektrini taqsimlanishini xarakterlovchi son $\alpha$ cheksizlikka intilganda, Maksvell suyuqligi uchun reologik tenglama hosil bo‘ladi. Ya’ni (3) va (4) tenglamalarda $\alpha \to \infty$ bo‘lganda, Dekart koordinatalar sistemasida

$$\tau + \lambda \dot{\tau} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \qquad (7)$$

tenglamani va silindrik koordinatalar sistemasida

$$\tau + \lambda \dot{\tau} = \eta \frac{\partial \vartheta_x}{\partial r} \qquad (8)$$

tenglamani hosil qilamiz. Bu tenglamalar Maksvell tenglamalarini ifoda qiladi.

Tahlil va natijalar (Analysis and results). Nyuton modelining kamchiligi suyuqlikning elastiklik xususiyatini e’tiborga olmasligida, afsuski elastiklik xususiyatini o‘z ichiga oluvchi suyuqliklar texnika va texnologik jarayonlarda juda ko‘plab uchraydi [20].

Keltirilgan Maksvell modelining Shulman-Xusid modeliga nisbatan kamchiligi shundaki, bu yerda elastik yopishqoq suyuqlik bir jinsli suyuqlikdan iborat deb, faqat bitta relaksatsiya vaqti (koeffisiyenti) orqali aniqlanadi. Shulman-Xusid modelining modifikatsiyasida esa elastik yopishqoq suyuqlik bir jinsli emas deb qaraladi va relaksatsiya vaqti (koeffisiyenti) cheksiz ko‘p yaqinlashuvchi ketma-ketlik sifatida ifodalanib, bular ichidagi eng katta relaksatsiya koeffisiyenti tanlanadi, undan keyingi relaksatsiya koeffisiyentlari esa uning ma’lum bir qonuniyatiga bo‘ysinuvchi ulushi sifatida aniqlanadi. Shu boisdan ham Shulman-Xusid modelining modifikatsiyasi Maksvell modelinining umumlashmasi sifatida qaraladi [17-20].

Xulosa (Conclusion). Yuqorida taklif etilgan Shulman-Xusidning modifikatsiya modeli orqali yassi kanalda elastik yopishqoq suyuqlikning stasionar bo‘lmagan oqimi harakatini o‘rganish Maksvell modelida elastik yopishqoq suyuqlikning stasionar bo‘lmagan oqimi harakatini urganishdan bir qancha qulay va yaxshi natija berishini ko‘rish mumkin.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI (REFERENCES).

[1]. Astarita Dj., Marruchchi Dj. Osnovы gidromexaniki nenyutonovskix jidkostey – M.: Mir, 1978. – 309 s.

[2]. Valuyeva Ye.P., Purdin M.S. Gidrodinamika i teploobmen pulsiruyuщyego laminarnogo potoka v kanalax // Teploenergetika 2015, №9. – S. 24-33.

[3]. Kolosov B.V. O mexanizme nenyutonovskogo povedeniya jidkosti // Elektronnыy nauchnыy jurnal «Neftegazovoye delo». 2015, №1. http. // ogbus. ru. – S. 56-61.

[4]. Matviyenko V.N., Kirsanov Ye.A. Strukturnoye obosnovaniye nenьyutonovskogo techeniya // Vestnik Moskovskogo gosuniversiteta im. Lomonosova ser.2. Ximiya, 2017. T. 58, №2. – S. 105-113.

[5]. Nigmatulin R.I. Osnovы mexaniki geterogennыx sred. – M.: Nauka, 1978. – 336 s.

[6]. Trusdell K. Pervonachalnыy kurs rasionalnoy mexaniki sploshnыx sred. – M.: Mir, 1975. – 592 s.

[7]. A Begjanov, Z K Shukurov, B Sh Yuldoshev, and. Pulsating flow of stationary elastic-viscous fluids in a flat-wall channel 26-y Mejdunarodnoy konferensii Construction The Formation Of Living Environment (FORM-2023) E3S Web of Conferences 401, 01030 (2023) CONMECHYDRO - 2023.

[8]. AkilovZh.A., Dzhabbarov M.S. and Khuzhayorov B.Kh. Tangential Shear Stress under the Periodic Flow of a Viscoelastic Fluid in a Cylindrical Tube// SSN 0015-4628, Fluid Dynamics, 2021, Vol. 56, №2. P. 189-199.

[9]. ChhabraR.P., RichardsonJ.F. Non-Newtonion Flow and applied rheology, (Engineering applications). 2008. P 518.

[10]. Navruzov K., Sharipova Sh., Kujatov N., Begjanov A. General rheological model of elastic viscosity fluids // Novateur publications Journal NX-A Multidisciplinary peer reviewed Journal ISSN 2581-4230.2020.vol. 6. P.138-142.

[11]. Navruzov K., Shukurov Z. K., Begjanov A. Sh. Method for determining hydraulic resistance during fluid flow in pipes // Electronic journal of actual problems of modern science, education and training 2019-II Issn 2181-9750. UDC: P. 532-542.

[12]. Shukurov Z. K. Nestasionarnoye techeniye vyazkouprugoy jidkosti v ploskom kanale pri nalichii perepada davleniya. Publishing House "Education and Science". Praha, Czech Republic 2021. P. 29-31.

[13]. Shukurov Z.K., Assistant Umarov N. Investigation of the hydraulic resistance of pulsating flows of a viscous fluid in an elastic pipe. Journal of Tianjin University Science and Technology ISSN (Online): 0493-2137 E-Publication: Online Open Access Vol:65 Issue:4: 2022 DOI 10.17608/TDX.IO/HJQB6

[14]. Shukurov Z. Pulsating flows of a viscous fluid in a flat channel with variable walls // Asian Journal of Research №3, 2019. – pp. 169-174. (№35 CrossRef. Impact factor: 5.1).

[15]. Shishlyannikov V.V. Teploobmen nenyutonovskix jidkostey v krugloy trube // Izvestiya Volg.GTU, 2010, №1. – S. 53-56.

[16]. Shukurov Zoxid Kuchkarovich. General rheological model of Maxwell-type elastic valuable fluids // European Journal of Molecular & Clinical Medicine. ISSN 2515-

8260 Volume 07, Issue 05, 2020. – pp. 1716-1721. (01.00.00 (№3. Scopus. №35 CrossRef)).

[17]. Shulman Z.P., Xusid B.M. Nestasionarnыye prosessы konvektivnogo perenosa v nasledstvennых sredax. – Minsk, 1983. – 256 s.

[18]. Shukurov Zoxid, Sag'dullayev Otabek. Method for determining hydraulic resistance during fluid flow in pipes // Novateur publications international Journal of innovations in Engineering Research and Technology. Volume 8, Issue 12, Dec. -2021.

[19]. K.Navruzov, M.Turayev, Z.Shukurov. Pulsiruyuщiye techeniya vyazkouprugoy jidkosti v ploskom kanale na osnove obobщyennoy modeli maksvella. Mejdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferensiya «RAXMATULINSKIYe CHTENIYA» 26 –27 maya Tashkent-2023 75-76 s.

[20]. Navruzov K., Turayev M., Shukurov Z. Pulsating flows of viscous fluid in flat channel E3S Web of Conferences 401, 02010 (2023) CONMECHYDRO - 2023 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102010