ZAMONAVIY IQTISODIYOT VA INTELLEKTUAL TEXNOLOGIYALAR
Ilmiy-uslubiy elektron jurnali — Sharq universiteti
ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

KUCH TASIRDA DEFORMATSIYALANADIGAN OQUVCHAN MUHITLAR UCHUN MURAKKAB REOLOGIK MODELLARNI ISHLAB CHIQISH

Faxriddinova Rayhona Vahobjon qizi, magistrant,
Navoiy davlat universiteti,
rayhonafaxriddinova0705@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28

Annotatsiya: Ushbu ishda murakkab viskoelastik va ko‘p fazali muhitlarning mexanik xatti-harakatlari SLS modeli doirasida tahlil qilinadi. Ishda Guk va Nyuton elementlari asosida turli kombinatsiyalardagi reologik modellar, xususan Maksvell va Kelvin–Foygt modellari ko‘rib chiqilgan. Maksvell modeli ketma-ket ulanishi orqali kuchlanishning relaksatsiyasi, Kelvin–Foygt modeli esa retardatsiya va kechikkan elastiklik hodisalarini tavsiflaydi. Ideal elastik, yopishqoq va plastik elementlar yordamida murakkab muhitlarning deformatsion inersiya, yopishqoqlik va elastiklik xossalari tahlil qilinadi. Ishda differensial tenglamalarning analitik va sonli yechimlari, shuningdek doimiy deformatsiya sharoitida kuchlanishning vaqtga bog‘liqligi ko‘rib chiqiladi. Natijalar murakkab reologik tizimlarning xatti-harakatini tushunishga va mexanik xususiyatlarini matematik jihatdan ifodalashga yordam beradi. Shu bilan birga, ko‘p fazali tizimlarda kuchlanish–deformatsiya jarayonlarini mukammal tavsiflash imkonini beruvchi yondashuvlar taklif etilgan. Mazkur ish reologiya va materiallar mexanikasi sohasida ilmiy tadqiqotlar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Аннотация: В данной работе анализируются механические свойства сложных вязкоупругих и многокомпонентных сред в рамках модели SLS. Рассмотрены различные комбинации реологических моделей на основе элементов Гука и Ньютона, включая модели Максвелла и Кельвина–Фойгта. Модель Максвелла с последовательным соединением элементов описывает релаксацию напряжения, а модель Кельвина–Фойгта характеризует ретардацию и запаздывающую

© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

упругость. Использование идеальных упругих, вязких и пластических элементов позволяет изучить влияние деформационной инерции, вязкости и упругости на поведение сложных сред. Рассмотрены аналитические и численные решения дифференциальных уравнений, а также зависимость напряжения от времени при постоянной деформации. Результаты работы способствуют лучшему пониманию механического поведения сложных реологических систем и обеспечивают возможность математического описания их свойств. Предложенный подход имеет практическое значение для исследований в области реологии и механики материалов.

Abstract: This study analyzes the mechanical behavior of complex viscoelastic and multiphase media within the framework of the SLS model. Various combinations of rheological models based on Hookean and Newtonian elements are considered, including the Maxwell and Kelvin–Voigt models. The Maxwell model with series-connected elements describes stress relaxation, while the Kelvin–Voigt model characterizes retardation and delayed elasticity. Using ideal elastic, viscous, and plastic elements allows the study of the effects of deformation inertia, viscosity, and elasticity on the behavior of complex media. Analytical and numerical solutions of differential equations are examined, as well as the time-dependent stress under constant deformation. The results contribute to a better understanding of the mechanical behavior of complex rheological systems and provide a mathematical framework for describing their properties. The proposed approach has practical significance for research in rheology and materials mechanics.

Kalit so‘zlar: Reologiya, murakkab muhitlar, viskoelastiklik, visplastiklik, deformatsion inersiya, relaksatsiya, retardatsiya, tiksotropiya, Maksvell modeli, Kelvin–Foygt modeli, Guk qonuni, Nyuton qonuni.

Ключевые слова: Реология, сложные среды, вязкоупругость, вязкопластичность, деформационная инерция, релаксация, ретардация,

© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

тиксотропия, модель Максвелла, модель Кельвина–Фойгта, закон Гука, закон Ньютона.

Keywords: Rheology, complex media, viscoelasticity, viscoplasticity, deformation inertia, relaxation, retardation, thixotropy, Maxwell model, Kelvin–Voigt model, Hooke's law, Newton's law.

Kirish

Viskoelastik muhitlarning mexanik xossalarini o‘rganish zamonaviy reologiya va gidrodinamikaning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bunday muhitlarda deformatsiya va kuchlanish o‘rtasidagi bog‘lanish faqat elastik yoki faqat yopishqoq qonunlar bilan emas, balki ularning birgalikdagi ta’siri orqali namoyon bo‘ladi. Shu sababli polimerlar, dispers tizimlar hamda ko‘p fazali muhitlarning mexanik xatti-harakatini tavsiflashda turli mexanik modellar, xususan Maksvell va Kelvin–Foygt modellaridan keng foydalaniladi. Ushbu modellar elastiklik va yopishqoqlik elementlarining turli ulanishlari asosida tuzilib, muhitlarning vaqtga bog‘liq deformatsiya jarayonlarini tushuntirish imkonini beradi.

Maksvell modeli viskoelastik muhitlarda kuchlanish relaksatsiyasi hodisasini tavsiflashda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, u Guk elastik elementi va Nyuton yopishqoq elementining ketma-ket ulanishi asosida hosil qilinadi. Mazkur model yordamida deformatsiya va kuchlanishning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniyatlari aniqlanadi hamda muhitning relaksatsiya xossalari tahlil qilinadi. Shuningdek, elementlarning parallel ulanishi asosida hosil bo‘ladigan Kelvin–Foygt modeli kechikkan elastiklik hodisasini tavsiflaydi. Ushbu modellar viskoelastik tizimlarning nazariy tavsifi hamda ularning amaliy tadqiqotlarida muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

Adabiyotlar tahlili

SLS modeli bilan bog‘liq tadqiqotlar mualliflarning [1,5,9] ishlarida keng yoritilgan bo‘lib, ularda asosan modelning differensial tenglamalari hamda turli shartlar ostidagi aniq yechimlari keltirilgan. Ayniqsa, boshlang‘ich shartlar asosida olingan aniq yechimlar alohida ko‘rib chiqilgan. Bundan tashqari, mazkur ishlarda masalalarni sonli usullar yordamida tahlil qilish, oraliq qiymatlarni aniqlash hamda qaysi parametr tizim xatti-harakatiga ko‘proq ta’sir ko‘rsatishi ham ko‘rsatib o‘tilgan.

Ko‘p fazali suyuqliklar bilan bog‘liq masalalar esa [7] monografiyada o‘rganilgan bo‘lib, unda tarkibida qattiq zarrachalar mavjud bo‘lgan muhitlarning kuch ta’sirida deformatsiyalanish xossalari asosida gidrotransport jarayoni tahlil qilingan. Ushbu tadqiqot natijalariga ko‘ra, gidrotransport jarayoni nafaqat zarrachalarning ko‘chishi, balki moddaning molyar ko‘chishi bilan ham bog‘liq ekanligi nazariy jihatdan asoslab berilgan.

Murakkab reologik muhitlarning kuchlanish–deformatsiya jarayonlarini o‘rganish zamonaviy reologiya va materiallar mexanikasining asosiy tadqiqot yo‘nalishlaridan biridir. Real texnologik va tabiiy muhitlar ko‘pincha elastiklik, yopishqoqlik, plastiklik hamda deformatsion inersiya kabi o‘zaro bog‘langan xossalarning murakkab majmuasiga ega bo‘lib, klassik Guk, Nyuton va Sen-Venan modellarining o‘zi ularning xatti-harakatini to‘liq tavsiflab bera olmaydi. So‘nggi ilmiy ishlanmalarda [2,3,4,6,7] ko‘p fazali (elastik, yopishqoq va inersion komponentlardan iborat) muhitlarning reologik xususiyatlarini fazalar hajmiy ulushlari asosida aniqlash yondashuvi keng qo‘llanilmoqda. X.A. Raxmatullin maktabi tomonidan ilgari surilgan bu yondashuvga ko‘ra, aralash muhitning keltirilgan elastiklik moduli, yopishqoqligi va deformatsion inersiya koeffitsientlari fazalarning haqiqiy parametrlaridan kelib chiqadi.

Mazkur yondashuv asosida ikki va uch fazali muhitlar uchun relaksatsion, retardatsion hamda aralash tipdagi mexanik modellar qurish, shuningdek, ular uchun kuchlanish–deformatsiya tenglamalarini aniqlash mukammal reologik tavsiflash

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

imkonini beradi. Ushbu ishning asosiy maqsadi — ko‘p fazali deformatsion inersion muhitlarning mexanik xatti-harakatini ifodalovchi reologik modellarni tahlil qilish va ularning matematik asoslarini takomillashtirishdir.

Sonli tahlil usullarining ahamiyati ilmiy tadqiqotlarda alohida o‘rin tutadi. Shu sababli mualliflarning [2] ishida turli sonli tadqiqot usullari batafsil bayon etilgan. Shuningdek, differensial tenglamalarni sonli usullar orqali o‘rganishga bag‘ishlangan ikki alohida bob hamda mavzuni mustahkamlash uchun amaliy masalalar ham keltirilgan. Yuqorida keltirilgan manbalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ularning ayrim jihatlari ma’lum yo‘nalishlarda foydalanish uchun qo‘shimcha izohlar va to‘ldirishlarni talab qiladi. Shu bois mazkur maqolada keng ilmiy jamoatchilik uchun foydali bo‘lishi mumkin bo‘lgan ayrim qo‘shimcha tushuntirishlar va izohlar keltirildi. Mualliflar ushbu maqola ilmiy jamoatchilik uchun ma’lum darajada foydali bo‘ladi, degan umidda.

Tadqiqot metodologiyasi

Ideallashtirilgan reologik muhit modellarining xatti-harakatlarini o‘rganish mexanik elementlar va modellar yordamida juda qulay [1, 5, 11, 12,]. Masalan, $\tau = G\gamma$ Guk qonuniga bo‘ysunuvchi ideal elastik jismni (γ– deformatsiyasi) sxematik tarzda G elastiklik moduli bilan ifodalanuvchi prujina shaklida tasvirlash mumkin (1.a-rasm). Ideal yopishqoq suyuqlikni (Nyuton modeli) esa porshin, suyuqlik bilan to‘ldirilgan silindrda harakat qiladigan dempfer sifatida tasavvur etish mumkin (1.b-rasm). Porshen siljiganida, suyuqlik uning va silindr devorining orasidagi tor bo‘shliqlar orqali silindrning bir qismidan ikkinchi qismiga oqib o‘tadi. Bu jarayonda porshen harakatiga qarshilik ko‘rsatuvchi kuch uning harakat tezligiga proporsional bo‘ladi.

Sen-Venan tomonidan taklif etilgan ideal plastik jism ikki bir-biriga bosilgan plastinka ko‘rinishida tasvirlanadi (1.v-rasm). Bu modelning asosiy reologik xususiyati shundaki, jismdagi deformatsiya faqatgina kesuvchi kuchlanish muayyan kritik

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

qiymatga – oqish chegarasi (ya'ni, kesuvchi kuchlanishning chegaraviy qiymati) – yetgandan keyingina boshlanadi. Ushbu chegaradan oshgach, deformatsiya har qanday tezlikda rivojlanishi mumkin

Guk, Nyuton va Sen-Venan modellariga asoslangan sodda muhit modellarini kombinatsiyalash orqali murakkab muhit modellarining xatti-harakatini o‘rganish mumkin.

Guk elementini elastiklik moduli G ga ega va Sen-Venan plastik elementini oqim chegarasi τ_0 bilan ketma-ket ulash orqali biz elastik-plastik element modelini hosil qilamiz (1.g-rasm). Agar kuchlanish $\tau < \tau_0$ bo‘lsa, model Guk elementidek o‘zini tutadi, $\tau > \tau_0$ bo‘lsa, plastik oqim boshlanadi. Guk va Nyuton modellarini birlashtirish orqali biz yopishqoq-elastik (viskoelastik) muhit modelini hosil qilamiz va bu modelning xossalari ularning qanday ulanishiga — ketma-ket (1.d-rasm) yoki parallel (1.e-rasm) — bog‘liq bo‘ladi.

Murakkab muhitlarda kuchlanishlarning relaksatsiyasi, deformatsiyalarning retardatsiyasi va tiksotropiya hodisalari. Guk modeli (elastiklik moduli G) va Nyuton modeli μ ni ketma-ket ulash (1.d-rasm) orqali biz yopishqoq-elastik (viskoelastik) relaksatsiyalovchi muhit — Maksvell modelini (suyuqligini) hosil qilamiz. Bu suyuqlik o‘zini elastik yoki yopishqoq (viskoz) tarzda tutadi, bu esa relaksatsiya vaqti t_{rel} bilan tajriba o‘tkazish vaqti t o‘rtasidagi nisbatga bog‘liq.

Agar prujinani cho‘zsangiz va keyin yuklamani olib tashlasangiz, unda porshen harakatni boshlashga ulgurmaydi, va butun tizim Gukning elastik jismi kabi o‘zini tutadi. Boshqa tomondan, agar prujinani cho‘zsangiz va cho‘zilish holatini doimiy ushlab tursangiz, unda prujina porshenni yuqoriga siljitib, tizimga doimiy yopishqoqlikka ega Nyuton suyuqligi xususiyatlarini beradi.

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

Maksvell modeliga tegishli reologik tenglama quyidagicha hosil qilinadi. Maksvell modelidagi umumiy deformatsiya Guk va Nyuton elementlaridagi deformatsiyalar yig‘indisiga teng:

$$\gamma = \gamma_H + \gamma_N, \tag{1}$$

bu yerda:

γ_H — Guk elementidagi deformatsiya,

γ_N— Nyuton elementidagi deformatsiya.

Agar (1)-tenglamaning chap va o‘ng tomonlaridan vaqt bo‘yicha hosila olinsa, quyidagicha bo‘ladi:

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_H + \dot{\gamma}_N. \tag{2}$$

Bu yerda:

$\dot{\gamma}$ — Maksvell modelidagi umumiy deformatsiyaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, $\dot{\gamma}_H$— Guk elementidagi deformatsiyaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, $\dot{\gamma}_N$ — Nyuton elementidagi deformatsiyaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi.

Ushbu $\dot{\gamma}_N$ kattalik Nyuton elementiga tegishli reologik tenglamadan aniqlanadi

$$\dot{\gamma}_N = \frac{\tau}{\mu}. \tag{3}$$

bu yerda: τ — kuchlanish, μ— yopishqoqlik koeffitsienti.

Reologik Guk qonuniga ko‘ra (1.a-rasmga asoslanib), deformatsiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{\gamma}_H = \frac{\dot{\tau}}{G}. \tag{4}$$

bu yerda: τ— kuchlanish, G — elastiklik moduli (modul uprugosti).

Tenglamalar (3) va (4) ni (2) ga qo‘yib, Maksvell modeliga oid reologik tenglamani olamiz:

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

$$\tau + \frac{\mu}{G}\dot{\tau} = \mu\dot{\gamma}\,. \tag{5}$$

Bu — Maksvell modeli uchun asosiy reologik tenglama bo‘lib, u elastik va yopishqoq (viskoz) xatti-harakatlarning ketma-ket birikmasini ifodalaydi.

Tahlil va natijalar

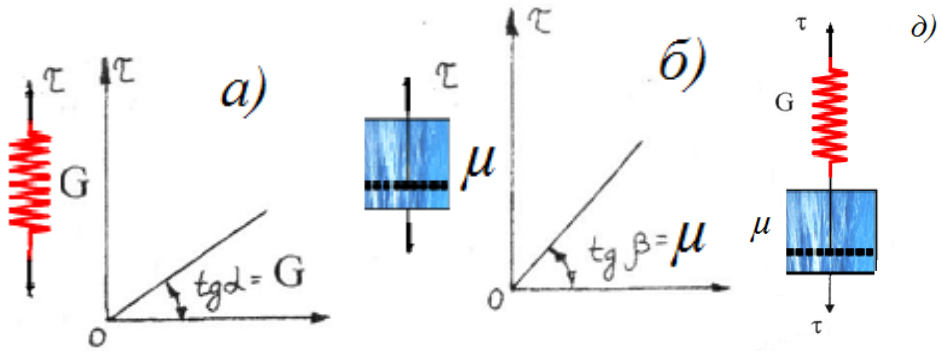
Doimiy deformatsiya sharoitida ($\gamma = const,\ \dot{\gamma} = 0$), (5)-tenglama quyidagi tarzda soddalashadi:

$\tau + \frac{\mu}{G}\dot{\tau} = 0$. Bu differensial tenglama vaqt bo‘yicha kuchlanishning o‘zgarishini ifodalaydi. Tenglamani yechib, kuchlanishning vaqtga bog‘liqligi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\tau = \tau_1 \exp\left(-\frac{t_1 - t}{t_{rel}}\right), \tag{6}$$

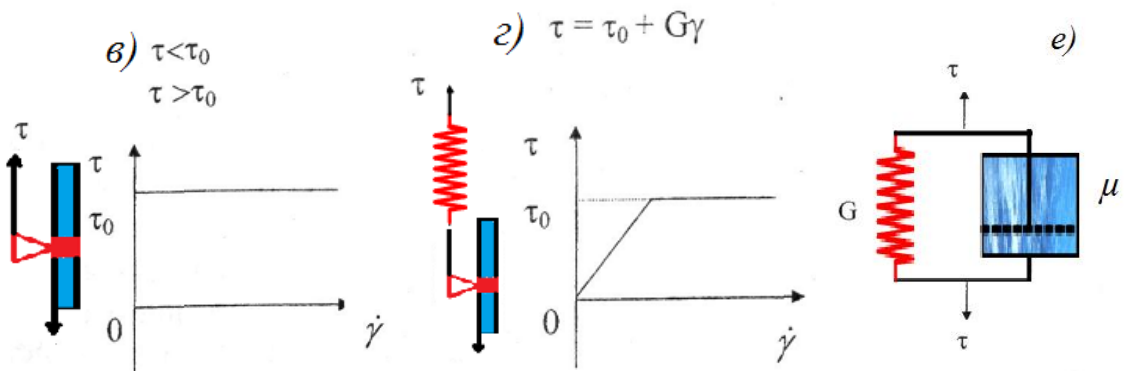
Bu yerda:

τ_1 — bu kuchlanish t_1 vaqtida, ya’ni deformatsiya doimiy bo‘lib qolgan vaqtdagi kuchlanish qiymati; $t_{rel} = \frac{\mu}{G}$ — relaksatsiya vaqti, bu moddaning ichki xususiyatlarini (elastiklik G va yopishqoqlik μ) hisobga oladi; t — bu joriy vaqt, ya’ni hozirgi moment; τ — bu t vaqtidagi hozirgi kuchlanish.



DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)



1-rasm. Turli reologik muhitlarning oddiy va ikki fazali mexanik modellari

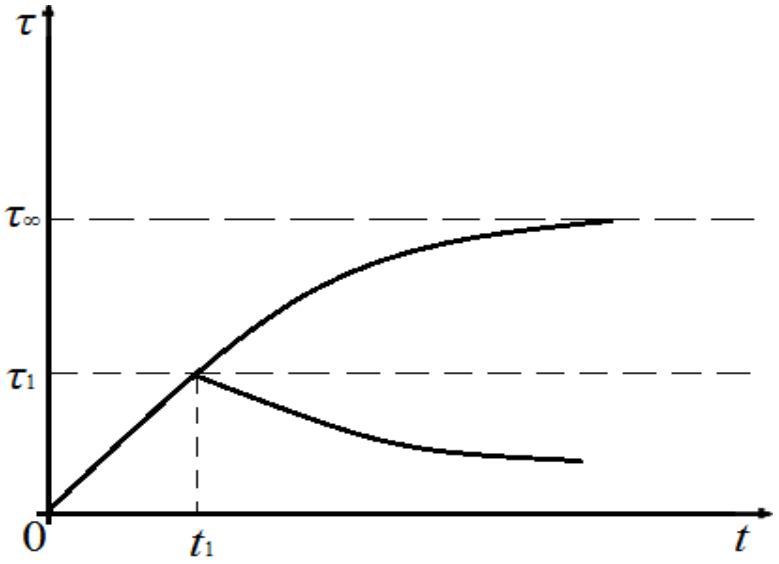
(6) tenglama shuni ko‘rsatadiki, Maksvell modelida deformatsiya doimiy bo‘lsa, kuchlanish vaqt o‘tishi bilan kamayadi. Bu hodisa kuchlanishning relaksatsiyasi deb ataladi.

Shu tariqa, relaksatsiya vaqti $t_{rel} = \frac{\mu}{G}$ — bu doimiy deformatsiya holatida kuchlanish marta kamayadigan vaqtga teng bo‘ladi.

2-rasmda Maksvell modeli uchun kuchlanishning o‘zgarish grafigi keltirilgan. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, vaqtning nolga teng nuqtasidan t_1 gacha bo‘lgan oraliqda (ya’ni $\dot{\gamma} = const$ bo‘lsa) kuchlanish ortadi va $t \to \infty$ bo‘lganda muvozanatdagi maksimal qiymatga intiladi — τ_∞. Biroq, agar $t > t_1$ da deformatsiya tezligi nolga teng bo‘lsa (ya’ni $\gamma = const$, $\dot{\gamma} = 0$), unda kuchlanish (6) qonuniga muvofiq relaksatsiyalanadi.

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)



2-rasm. Maksvell suyuqligida kuchlanishning o‘zgarish diagrammasi.

Keling, elementlarning parallel ulanishi holatida yopishqoq-elastik (viskoelastik) modelning xatti-harakatini ko‘rib chiqamiz (1.e-rasm). Bu holda biz Maksvell modelidan farqli xossalarga ega bo‘lgan Kelvin-Foygtning retardatsion modelini olamiz. Tortuvchi kuch ta’sirida prujina cho‘ziladi, porshin esa suyuqlik ichida harakatlana boshlaydi. Porshen harakati suyuqlikning yopishqoqlik qarshiligi bilan bog‘liq bo‘lgani uchun, prujinaning to‘liq cho‘zilishi darhol yuz bermaydi. Yuklama olib tashlangandan keyin ham prujina darhol dastlabki uzunligiga qisqara olmaydi, chunki bunga suyuqlikning yopishqoqlik qarshiligi to‘sqinlik qiladi.

Xulosa va takliflar

Murakkab muhitlarda deformatsiya va kuchlanish jarayonlarini o‘rganish shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlar oddiy elastik yoki sof yopishqoq muhitlardan farqli ravishda viskoelastik xususiyatlarga ega bo‘ladi. Bu muhitlarda deformatsiya va kuchlanishning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi relaksatsiya, retardatsiya hamda tiksotropiya hodisalari orqali namoyon bo‘ladi. Ushbu jarayonlarni tushuntirish uchun reologiyada Guk elastik elementi va Nyuton yopishqoq elementi asosida tuzilgan mexanik modellar qo‘llaniladi. Guk modeli elastik jism xatti-harakatini, Nyuton modeli esa yopishqoq

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

suyuqlik xossalarini ifodalaydi. Ushbu elementlarning fizik xususiyatlarini tavsiflovchi

Guk va Nyuton elementlarini ketma-ket ulash orqali viskoelastik relaksatsiyalovchi muhitni tavsiflovchi Maksvell modeli hosil qilinadi. Bu modelda umumiy deformatsiya elastik va yopishqoq elementlar deformatsiyalarining yig‘indisiga teng bo‘lishi ko‘rsatildi va shu asosda Maksvell modelining reologik tenglamasi keltirib chiqarildi. Tahlil natijasida doimiy deformatsiya sharoitida kuchlanish vaqt o‘tishi bilan kamayishi, ya’ni kuchlanish relaksatsiyasi hodisasi yuz berishi aniqlandi.

Dispers tizimlarda olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bunday muhitlarda elastiklik va yopishqoqlik xossalari ko‘pincha anomal tarzda namoyon bo‘ladi. Yuklama ta’sirida strukturaviy to‘r buzilishi, yuklama olib tashlangach esa zarrachalar va makromolekulalar o‘zaro ta’siri natijasida strukturaning qayta tiklanishi kuzatiladi. Bu jarayon tiksotropiya hodisasi bilan bog‘liq bo‘lib, muhit yopishqoqligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ifodalaydi.

Shunday qilib, Maksvell modellarining tahlili viskoelastik muhitlarda deformatsiya va kuchlanishning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniyatlarini tushuntirish imkonini beradi va polimerlar hamda dispers tizimlarning mexanik xossalarini o‘rganishda muhim ilmiy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Астарита, Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей: Пер. с англ. под ред. Ю.А. Буевича. М.: Мир, 1978. 310 с.

[2] Айнола Л.Я., Коппель Т.Я., Ламб Ю.Ю. О критериях перехода ламинарной формы течения в турбулентную при разгонном движении жидкости в круглой трубе. Труды Таллин. политехн. ин-та, 1981, № 505, с.17-29.

[3] Бибик, Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. Л.: Химия, 1981. 172

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026

ISSN: 3093-9062 Vol. 1 No. 1 (2026)

[4] Рейнер М. Деформация и течение. Пер. с англ. под ред. Л.В.Никитина. М.: Гостоптехиздат, 1963. 374 с.

[5] Рейнер М. Реология. Пер. с англ. под ред. Э.И. Григолюка - М.: Наука, 1965. 324 с.

[6] Рахматулин Х.А.Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред. ПММ ТХХ, 1956, с.184-195.

[7] Нигматуллин Р.И.Основы механики гетерогенных сред. М., Наука, 1978.

[8] Умаров А.И., Расулов О.Я. Нестационарно раздельно-кольцевое движение одно- и двухфазных сред в цилиндрической трубе. ДАН УзССР, 1986, № 7, с.19-21.

[9] Хусанов И.Н. Обобщенная модель вязко-инертно деформируемой среды. Узб. журнал Проблемы механики, № 1, 2008. с. 31-35

[10] Afonso A.M.P. Further developments on theoretical and computational rheology. PhD Thesis, 2010

[11] Alves M. A. Escoamentos de fluidos viscoelásticos em regime laminar: análise numérica, teórica e experimental. PhD thesis, FEUP, Porto, Portugal, 2004.

[12] Ancey C. Introduction to Fluid Rheology. Notebook. Ecublens, CH-1015 Lausanne, Suisse. 2005

[13] Askeland D.R., Fulay P.P., Wright W.J. The Science and Engineering of Materials. Cengage Learning (2011)

[14] Chhabra R. P., Richardson J. F. Non-Newtonian flow and applied rheology. Butterworth-Heinemann, USA, 2008.

DOI: https://doi.org/10.66493/0h2c1n28
© Sharq universiteti, 2026