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

YOPISHQOQ-ELASTIK VA INERSION XOSSALI MURAKKAB MUHITLARNING MEXANIK XATTI-HARAKATLARINI TAHLIL QILISH

Isomova Sabohat Islom qizi,
Navoiy davlat universiteti tayanch doktoranti,
ORCID: 0009-0002-2093-3142,
E-mail: isomovasabohat150@gmail.com
Tel: +998883221408
DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90

Annotatsiya: Ushbu ishda murakkab, viskoelastik va yopishqoq-elastik-inersiyali muhitlarning mexanik xatti-harakatlarini tavsiflash uchun ikkifazali va uchfazali reologik modellar ishlab chiqildi. Tadqiqot davomida muhit tarkibidagi Nyuton suyuqligi, elastik qattiq zarrachalar va ularning kombinatsiyalari asosida deformatsion inersiya xossalari tahlil qilindi. Har bir fazaning hajmiy ulushi hisobga olinib, effektiv elastiklik moduli, yopishqoqlik koeffitsienti va deformatsion inersiya parametrlari aniqlandi. Shuningdek, Guk, Nyuton va deformatsion inersiya elementlari ketma-ket va parallel ulanadigan mexanik modellar qurildi, natijada retardatsion, relaksatsion va retardatsion-relaksatsion modellar ishlab chiqildi. Qurilgan modellar uchun kuchlanish–deformatsiya tenglamalari hosil qilindi, ularning vaqtga bog‘liqligi tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari murakkab reologik muhitlarning mexanik xatti-harakatini simulyatsiya qilish va sonli tahlil yordamida modellashtirishda amaliy qo‘llanilishi mumkin.

Аннотация: В данной работе разработаны двухфазные и трехфазные реологические модели для описания механического поведения сложных вязкоупругих и вязко-упругих-инерционных сред. В ходе исследования анализировались свойства среды, состоящей из частиц Ньютона, упругих твердых частиц и их комбинаций, с учетом проявления деформационной инерции. Для каждой фазы были определены эффективные модули упругости,

© Sharq universiteti, 2026

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

коэффициенты вязкости и параметры деформационной инерции с учетом объёмной доли фаз. Кроме того, были построены механические модели с последовательно и параллельно соединёнными элементами Гука, Ньютона и деформационной инерции, в результате чего получены ретардационные, релаксационные и ретардационно-релаксационные модели. Для разработанных моделей были выведены уравнения состояние напряжение–деформация и проанализирована их временная зависимость. Результаты исследования могут быть использованы для моделирования механического поведения сложных реологических сред и проведения численного анализа.

Abstract: This study develops two-phase and three-phase rheological models to describe the mechanical behavior of complex viscoelastic and viscoelastic-inertial media. The analysis considers media composed of Newtonian fluid particles, elastic solid particles, and their combinations, exhibiting deformation inertia. For each phase, effective elasticity modulus, viscosity coefficients, and deformation inertia parameters were determined based on the volumetric fraction of each phase. Additionally, mechanical models with series and parallel connections of Hooke, Newton, and deformation inertia elements were constructed, resulting in retardation, relaxation, and retardation–relaxation models. The corresponding stress–strain equations were derived and their time-dependent behavior analyzed. The results provide a practical framework for simulating the mechanical behavior of complex rheological media and for numerical analysis applications.

Kalit so‘zlar: Viskoelastik muhit, yopishqoqlik, deformatsion inersiya, SLS modeli, Maxwell modeli, Kelvin–Voigt modeli, retardatsiya, relaksatsiya, elastiklik moduli, differensial tenglamalar.

Kirish

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

Murakkab viskoelastik va ko‘p fazali muhitlarning mexanik xossalarini o‘rganish — hozirgi zamonda reologiya va materiallar mexanikasi bo‘yicha ustuvor ilmiy tadqiqot yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Reologik xulqatvorni tushunishda klassik Maxwell va Kelvin–Voigt modellaridan tashqari, fraksion va fazaga bog‘liq modellar ham keng qo‘llanilmoqda. Masalan, James G. Oldroyd viskoelastik xulqni tavsiflovchi OldroydB modelini ishlab chiqgan bo‘lsa, bu ish reologiyaning nazariy asoslarini mustahkamlashda asosiy yutuqlardan biri sifatida qabul qilinadi.

Bundan tashqari, Pierre J. Carreau polimerlarning reologik xossalarini tahlil qiluvchi Carreau modelini taklif qilgan bo‘lib, uning ishlari polimerlar va kompozit suyuqliklarning oqim xattiharakatini ifodalashda keng qo‘llaniladi. Alan Jeffrey Giacomin va Christopher W. Macosko kabi olimlar esa katta amplitudali deformatsiya sharoitidagi viskoelastik xulqni ham nazariy, ham eksperimental jihatdan o‘rganish bo‘yicha izlanishlar olib bormoqdalar.

Shuningdek, hozirgi davrda an’anaviy kvazinyuton va viskoelastik materiallar bo‘yicha bir qator tadqiqotlar mavjud bo‘lib, ular relaksatsiya va polzuchest’ kabi hodisalar tahliliga qaratilgan. Masalan, vizual va dinamik mexanik tahlil yordamida viskoelastik materiallarning relaksatsiya vaqtini o‘rganilgan ilmiy maqolalar chop etilmoqda. O‘zbekiston sharoitida reologiya va materiallar mexanikasiga oid qo‘shimcha ilmiy izlanishlar ham olib borilmoqda. Toshkent Davlat Transport Universiteti olimlari tomonidan modifikatsiyalangan polimer kompozitlarning mexanik xossalari ustida tadqiqotlar olib borilmoqda, bu ish transport va qurilish materiallari uchun reologik tavsiflarni rivojlantirishga xizmat qiladi.

Universitetning ilmiy jamoasi tarkibida Umida Ziyamuxamedova, Jasurbek Nafasov, Gavhar Miradullayeva va Nilufar Maxammadiyeva kabi tadqiqotchilar mavjud bo‘lib, ular dispers to‘ldiruvchilar qo‘shimchalari ta’sirini tahlil qilgan mexanik xossalar bo‘yicha maqolalar nashr qilganlar.

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

Shu bilan birga, Toshkent Davlat Transport Universiteti ilmiy muhitida elastoplastik deformatsiya, mexanik qarshilik va diskret modellashtirish bo‘yicha ham izlanishlar amalga oshirilmoqda, bu esa reologik va material mexanikasining amaliy tadqiqot yo‘nalishlarini mustahkamlashga xizmat qiladi. Ushbu ish murakkab reologik muhitlarning kuchlanishdeformatsiya jarayonlarini chuqur nazariy asosda tushunishga va ularni model asosida matematik tahlil qilishga qaratilgan

Adabiyotlar tahlili

Yopishqoq elestik va inertsion modeli bilan bog‘liq tadqiqotlar mualliflarning [1,5,9] ishlarida keng yoritilgan bo‘lib, mazkur ishlarda asosan modelning differensial tenglamalari hamda turli shartlar asosida olingan aniq yechimlari bayon etilgan. Xususan, boshlang‘ich shartlarga asoslangan aniq yechimlarning tahliliga alohida e’tibor qaratilgan. Bundan tashqari, ushbu tadqiqotlarda masalalarni sonli usullar yordamida o‘rganish, oraliq qiymatlarni aniqlash hamda model parametrlarining tizim xatti-harakatiga ta’siri ham ko‘rib chiqilgan. Ko‘p fazali muhitlar bilan bog‘liq masalalar esa [7] monografiyada batafsil o‘rganilgan bo‘lib, unda tarkibida qattiq zarrachalar mavjud bo‘lgan suyuqliklarning tashqi kuch ta’sirida deformatsiyalanish jarayonlari asosida gidrotransport hodisasi tadqiq qilingan. Ushbu tadqiqot natijalariga ko‘ra, gidrotransport jarayoni faqat zarrachalarning ko‘chishi bilan cheklanib qolmasdan, balki moddaning molyar ko‘chishi bilan ham bog‘liq ekanligi nazariy jihatdan asoslab berilgan. Ilmiy tadqiqotlarda sonli tahlil usullarining o‘rni alohida ahamiyatga ega. Shu nuqtai nazardan, mualliflarning [2] ishida turli sonli tadqiqot usullari batafsil bayon qilingan. Shuningdek, differensial tenglamalarni sonli usullar yordamida tahlil qilishga bag‘ishlangan ikki alohida bob hamda mavzuni mustahkamlash maqsadida amaliy masalalar ham keltirilgan.

Yuqorida ko‘rib chiqilgan manbalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ayrim yo‘nalishlarda ushbu tadqiqotlarni yanada takomillashtirish, qo‘shimcha izohlar hamda to‘ldirishlar kiritish zarurati mavjud. Shu sababli mazkur maqolada keng ilmiy jamoatchilik uchun

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

foydali bo‘lishi mumkin bo‘lgan ayrim qo‘shimcha tushuntirishlar va izohlar berildi. Mualliflar ushbu maqola ilmiy jamoatchilik uchun ma’lum darajada foydali bo‘ladi, degan umidda.

Mazkur ishda [11-14] manbalar natijalariga asoslanib, uch fazali muhitning holat modellari taklif qilinadi hamda fazalarning reologik xossalari hajmiy miqdorlarini hisobga olish orqali muhitlarning kuchlanish-deformatsiya holatini ifodalovchi tenglamalar takomillashtiriladi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot Metodi. Tasavvur qilaylik, muhit Nyuton suyuqligining yopishqoq xossalariga ega bo‘lgan zarrachalaridan, elastik xossalarga ega qattiq zarrachalardan, shuningdek, ikkala turdagi zarrachalardan tashkil topgan komplekslardan iborat bo‘lib, ular deformatsion inersiya xossalarini namoyon qiladi. Bu xossalar suyuqlikning dinamik yopishqoqligi — μ, molekulalarning chiziqli zichligi koeffitsienti — m_ℓ, shuningdek, qattiq zarrachalarning elastiklik moduli - G bilan aniqlanadi.

Faraz qilaylik, ajratilgan hajmda ikki turdagi zarrachalar mavjud va ular tasodifiy tarzda taqsimlangan bo‘lib, har bir turdagi zarracha ma’lum hajm ulushini egallagan. Unda bu hajm qismi o‘zidagi zarrachalarning xossalariga ega bo‘ladi, masalan, haqiqiy dinamik yopishqoqlik μi bilan ifodalanuvchi xossaga. Ajratilgan hajmning boshqa qismi, ya’ni yirikroq zarrachalarni o‘z ichiga olgan qism esa deformatsion inersiya xossasiga ega bo‘lib, bu xossa haqiqiy chiziqli zichlik koeffitsienti $m_{\ell i}$bilan aniqlanadi.

Agar endi ajratilgan hajmdan molyar zarrachalar olib tashlansa va suyuqlik butun hajm bo‘ylab teng taqsimlansa, u holda bu suyuqlikning xossalari keltirilgan (effektiv) dinamik yopishqoqlik μп orqali ifodalanadi.

Xuddi shu tarzda, agar ajratilgan hajmda joylashgan yopishqoq suyuqlik zarrachalari va molyar zarrachalardan yopishqoq suyuqlik olib tashlansa va molyar zarrachalar (ularning haqiqiy chiziqli zichlik koeffitsienti $m_{\ell i}$ deb olinadi) butun ajratilgan hajm

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

bo‘ylab taqsimlangan deb qaralsa, u holda bu muhit endi keltirilgan chiziqli zichlik koeffitsienti $m_{\ell n}$ ga ega bo‘ladi.

Shunda keltirilgan reologik parametrlarning haqiqiy reologik xossalarga nisbati, ya’ni:

$$\frac{\mu_n}{\mu_i} = f_1 \text{ va } \frac{m_{\ell n}}{m_{\ell i}} = f_2,$$

muayyan reologik xususiyatlarni tavsiflaydi.

Bu — X.A. Raxmatullin [4-6,8,10,13] qarashlariga o‘xshash tarzda — aralashmaning yopishqoq va deformatsion inersiya xossalarining hajmiy ulushi sifatida talqin qilinadigan biroz boshqacha tushunchadir.

Xuddi shu mulohazani ajratilgan hajmda joylashgan qattiq zarrachalarning elastik xossasiga nisbatan qo‘llasak, aralashmadagi elastik xossalarning hajmiy ulushini quyidagi ko‘rinishda olishimiz mumkin:

$$\frac{G_n}{G_i} = f_3.$$

Agar ajratilgan hajmda yuqorida ko‘rib chiqilganlardan tashqari boshqa hech qanday deformatsion xossalarga ega zarrachalar mavjud bo‘lmasa, u holda quyidagi munosabatga ega bo‘lamiz:

$$\frac{\mu_n}{\mu_i} + \frac{m_{\ell n}}{m_{\ell i}} + \frac{G_n}{G_i} = 1, \quad \text{yoki} \quad f1 + f2 + f3 = 1 \qquad (1)$$

Chunki μп = f1 μi, $m_{\ell n}$= f2 $m_{\ell i}$ va Gп = f3 Gi bo’lganligi sababli, aralashmada kuchlanishlar Guk qonuni, Nyuton qonuni va deformatsion inersiya qonuni asosida quyidagicha ifodalanadi:

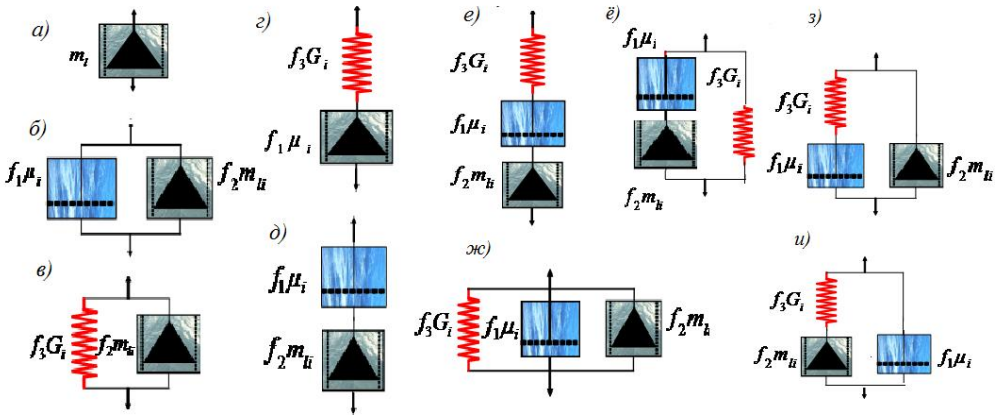
$$\tau_{ij} = f_1 \mu_i \dot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_2 m_{\ell i} \ddot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_3 G_i \gamma_{ij}. \qquad (2)$$

Guk, Nyuton va deformatsion inersiya elementlarini parallel va ketma-ket ulab (4-rasm, a) [12], ikki fazali retardatsion modellar (4-rasm, b va v), ikki fazali relaksatsion modellar (4-rasm, g va d), shuningdek, uch fazali relaksatsion modellar (4-rasm, e),

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

uch fazali retardatsion modellar (4-rasm, j) va uch fazali retardatsion-relaksatsion modellar (4-rasm, i va z) hosil qilinadi.



1-rasm. Inersiya ta'siridagi deformatsiyalarni hisobga oluvchi mexanik modellar

Tahlil va natijalar

Yuqorida keltirilgan uslublar asosida ularning mos kuchlanish-deformatsiya holati tenglamalari quyidagicha:– ikki fazali yopishqoq-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsion model tenglamalari (1-b rasm)

$$\tau = f_1\mu_i(\dot{\gamma} + t_{ret(Kh_1)}\ddot{\gamma}), \qquad (3)$$

bu yerda: $t_{ret(Kh_1)} = f_2 m_{li} / f_1\mu_i$ — yopishqoq-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsiya vaqti.

– ikki fazali elastik-inersion deformatsiyalanuvchi modellar uchun retardatsion model tenglamalari (1-v rasm)

$$\tau = f_3 G_i(\gamma + t^2_{ret(Kh_2)}\ddot{\gamma}), \qquad (4)$$

bu yerda: retardatsiya vaqti — elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun.

– ikki fazali elastik-inersion deformatsiyalanuvchi modellar uchun relaksatsion model tenglamalari (1-g rasm)

$$\tau + t^2_{rel(Kh_2)}\ddot{\tau} = f_2 m_l \ddot{\gamma}, \qquad (5)$$

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

bu yerda: $t_{rel(Kh_2)}=\sqrt{f_2 m_{li}/f_3 G_i}$ — elastik-inersion deformatsiyalanuvchi modellar uchun relaksatsiya vaqti.

– ikki fazali yopishqoq-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun relaksatsion model tenglamalari (1-d rasm)

$$\tau + t_{rel(Kh_1)}\dot{\tau} = f_2 m_{li}\ddot{\gamma}, \qquad (6)$$

bu yerda: $t_{rel(Kh_1)}=f_2 m_{li}/f_1\mu_i$ — yopishqoq-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsiya vaqti.

– uch fazali yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun relaksatsion model tenglamalari (1-e rasm)

$$\tau + t_{rel(Kh_1)}\dot{\tau} + t^2_{rel(Kh_2)}\ddot{\tau} = f_2 m_{li}\ddot{\gamma}, \qquad (7)$$

bu yerda: $t_{rel(Kh_1)}=f_2 m_{li}/f_1\mu_i$ va $t_{rel(Kh_2)}=\sqrt{f_2 m_{li}/f_3 G_i}$ — yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsiya vaqtlaridir.

– uch fazali yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun relaksatsion model tenglamalari (1-yo rasm)

$$\tau + t_{rel(Kh_1)}\dot{\tau} = f_3 G_i\left(t_{rel(Kh_1)}\dot{\gamma} + t^2_{ret(Kh_2)}\ddot{\gamma}\right), \qquad (8)$$

bu yerda: $t_{rel(Kh_1)}=f_2 m_{li}/f_1\mu_i$ va $t_{ret(Kh_2)}=\sqrt{f_2 m_{li}/f_3 G_i}$ mos ravishda yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlarning relaksatsiya vaqti va retardatsiya vaqtidir.

– uch fazali yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsion model tenglamalari (1-j rasm)

$$\tau = f_3 G_i(\gamma + t_{ret(K)}\dot{\gamma} + t^2_{ret(Kh_2)}\ddot{\gamma}), \qquad (9)$$

bu yerda: $t_{ret(K)}=f_1\mu_i/f_3 G_i$ — Kelvin modeli uchun retardatsiya vaqti, $t_{ret(Kh_2)}=\sqrt{f_2 m_{li}/f_3 G_i}$ esa yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsiya vaqtidir.

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

– uch fazali yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsion-relaksatsion model tenglamalari (1-z rasm)

$$\tau + t_{rel(M)}\dot{\tau} = f_1\mu_i(\dot{\gamma} + t_{ret(Kh_1)}\ddot{\gamma} + t^2_{ret(Kh_2)}\dddot{\gamma}), \qquad (10)$$

bu yerda: $t_{rel(M)} = f_1\mu_i / f_3G_i$, $t_{ret(Kh_1)} = f_2m_{li} / f_1\mu_i$ va $t_{ret(Kh_2)} = \sqrt{f_2m_{li} / f_3G_i}$ mos ravishda Maksvell modeli uchun relaksatsiya vaqti va yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsiya vaqtidir;– uch fazali yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsion-relaksatsion model tenglamalari (1-i rasm)

$$\tau + t^2_{rel(Kh_2)}\ddot{\tau} = f_1\mu_l\left(\dot{\gamma} + t_{ret(Kh_1)}\ddot{\gamma} + t^2_{ret(Kh_2)}\dddot{\gamma}\right), \qquad (11)$$

bu yerda: $t_{ret(Kh_1)} = f_2m_{li} / f_1\mu_i$ va $t_{ret(Kh_2)} = \sqrt{f_2m_{li} / f_3G_i}$ — yopishqoq-elastik-inersion deformatsiyalanuvchi muhitlar uchun retardatsiya vaqti va relaksatsiya vaqtidir.

Xulosa va takliflar

Murakkab reologik muhitlarning deformatsion xatti-harakatini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, real tizimlarda elastiklik, yopishqoqlik, plastiklik hamda deformatsion inersiya kabi jarayonlar bir vaqtning o‘zida namoyon bo‘ladi. Klassik Guk, Nyuton va Sen-Venan modellari, shuningdek Maksvell va Kelvin–Foygt kabi ikki elementli modellarning qo‘llanishi sodda muhitlarning reologik javobini tavsiflashga imkon bersa-da, ko‘p fazali tizimlarning murakkab mexanik xususiyatlarini to‘liq ifodalash uchun yetarli emas.

Tadqiqotda fazaviy yondashuv asosida aralash muhitning reologik parametrlarini fazalarning haqiqiy xossalari va ularning hajmiy ulushlari orqali aniqlash konsepsiyasi asoslab berildi. Bunda yopishqoq, elastik va inersion komponentlarning keltirilgan parametrlarini aniqlash orqali ikki fazali va uch fazali muhitlar uchun relaksatsion, retardatsion hamda retardatsion-relaksatsion mexanik modellar qurish imkoniyati yaratildi.

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

Olingan natijalar shuni tasdiqlaydiki, deformatsion inersiya omili ko‘p fazali muhitlarda xatti-harakatning muhim tarkibiy qismi bo‘lib, kuchlanish va deformatsiyaning vaqt bo‘yicha taqsimlanishida sezilarli rol o‘ynaydi. Taklif etilgan modellarning matematik ifodalari esa bunday tizimlarda kuchlanish-deformatsiya jarayonlarini aniqroq modellashtirishga, relaksatsiya va retardatsiya vaqtlarini ajratishga hamda aralash tizimlarning mexanik barqarorligini baholashga imkon beradi. Shu tariqa, tadqiqot natijalari ko‘p fazali reologik muhitlarning murakkab mexanik xossalarini har tomonlama yorituvchi yondashuvni shakllantiradi va texnologik jarayonlarni loyihalash, materiallarni optimallashtirish hamda strukturaviy tizimlarning mustahkamligini baholashda tatbiq etilishi mumkin.

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

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.

DOI: https://doi.org/10.66493/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026

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

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/qs11hy90
© Sharq universiteti, 2026