

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

G‘AYBULOV YULDOSH SHERMONOVICH

**QOVUSHOQ VA QOVUSHOQ-ELASTIK SUYUQLIKLARNING
NEFT CHIQRISH QUDUG‘IDA NOSTATSIONAR HARAKATI**

01.02.05 – Suyuqlik va gaz mexanikasi

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PHD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Samarqand – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)

G‘aybulov Yuldosh Shermonovich

Qovushoq va qovushoq-elastik suyuqliklarning neft chiqarish qudug‘ida
nostatsionar harakati..... 3

Гайбулов Юлдош Шермонович

Нестационарное движение вязкой и вязкоупругой жидкостей в
эксплуатационной нефтяной скважине..... 21

Gaybulov Yuldosh Shermonovich

Unsteady flow of viscous and viscoelastic fluids in a production oil well.....41

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works44

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

G‘AYBULOV YULDOSH SHERMONOVICH

**QOVUSHOQ VA QOVUSHOQ-ELASTIK SUYUQLIKLARNING NEFT
CHIQRISH QUDUG‘IDA NOSTATSIONAR HARAKATI**

01.02.05 – Suyuqlik va gaz mexanikasi

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PHD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Samarqand – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.21'hi/FM1079 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura-qurilish universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezюме)) ilmiy kengash veb-sahifasida (www.samdu.uz) va "Ziyonet" axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Akilov Jaxon fizika-matematika fanlari doktori, professor
Rasmiy oponentlar:	Normurodov Chori Begaliyevich fizika-matematika fanlari doktori, professor Burnashev Vladimir Fitratovich fizika-matematika fanlari doktori, katta ilmiy xodim
Yetakchi tashkilot:	O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi M.T.O'Razboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti

Dissertatsiya himoyasi Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 raqamli Ilmiy kengashning «22» aprel 2025 yil soat 14⁰⁰ da majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 140104, Samarqand sh., Universitet xiyoboni, 15-uy. Tel.: (+99866) 239-11-40, faks: (+99866) 239-11-40, e-mail: devonxona@samdu.uz).

Dissertatsiya bilan Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (3 raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 140104, Samarqand sh., Universitet xiyoboni, 15-uy. Tel.: (+99866) 239-11-40.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «07» aprel kuni tarqatildi.
(2025 yil «07» aprel da 1 raqamli restr bayonnomasi)



R.I.Xalmuradov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

O'.A.Nishonov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
ilmiy kotibi, fizika-matematika fanlari
bo'yicha falsafa doktori (PhD)

B.X.Xo'jayorov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, fizika-
matematika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasiga annotatsiya)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda hozirgi vaqtda neft sanoati rivojlanishining asosiy tendensiyalaridan biri sifatida nonyuton neftlarni qazib chiqarish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda nonyuton neftlar joylashgan konlarni o'zlashtirish va quduqlarni ekspluatatsiya qilish samaradorligini oshirishda neft xususiyatlarining quduq tubida joylashgan plunjerli nasos ishlashining ko'rsatkichlariga bo'lgan ta'sirini hisobga olib ishlatishga e'tibor qaratilmoqda. Bu borada, shtanglar kolonnasi va ko'targich truba orasidagi halqa sohada suyuqlik harakati nostatsionar bo'lganligi sababli, neft quduqlari shtangali nasoslar orqali ekspluatatsiya qilinganda, quduq ustuni bo'ylab suyuqlik bosim kuchining plunjerga bo'lgan bosim natijasida shtanglar kolonnasining cho'zilib, uzilib ketishining oldini olishga alohida e'tibor berilmoqda.

Jahonda anomal neftlar joylashgan quduqlarni ekspluatatsiya qilish, neftlarni quvurlar orqali uzatish, qovushoq-elastik suyuqliklarning silindrik quvurlardagi nostatsionar harakatini masalalarini yechishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan nonyuton neftning qovushoqlik xususiyatlarini va relaksatsiya hamda kechikish vaqtlarini hisobga olgan holda neftlarni qazib chiqarish, nonyuton suyuqliklarning ekspluatatsiya qilinayotgan quduqlardagi shtanglar kolonnasi va silindr orasidagi harakat jarayonlarini matematik modellashtirish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, gidrodinamik usullarni keng qo'llash orqali neft qudug'idagi plunjerga bo'ladigan gidrodinamik bosimni baholash va nonyuton suyuqliklarning nostatsionar harakatdan statsionar harakatga o'tishida relaksatsiya xususiyatlarining ta'sirini aniqlash usuli dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda bir qancha konlarining neftlari tarkibida yuqori miqdorda asfalten va smola moddalari mavjud bo'lib nonyuton qovushoq-elastik xususiyatiga ega ekanligini hisobga olib, ularni qazib olishga oid tadqiqotlar o'tkazish va amalda qo'llash bo'yicha keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Iqtisodiyot tarmoqlari va aholiga neft-gaz mahsulotlarini uzluksiz yetkazib berishni ta'minlash"¹ bo'yicha muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, yuqori qovushoqli neft joylashgan quduqlarni shtangali nasoslar orqali ekspluatatsiya qilishda neftning reologiya xususiyatini hisobga olib nasoslar ishlashining samaradorlik darajasini oshirish va ekspluatatsiya texnologiyasi jarayonini boshqarishda gidrodinamika usullarini keng qo'llash muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, 2019 yil 9 iyuldagi PQ-4388-son "Aholi va iqtisodiyotni energiya resurslari bilan barqaror ta'minlash, neft-gaz tarmog'ini moliyaviy sog'lomlashtirish va uning boshqaruv tizimini takomillashtirish chora-tadbirlari

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

to'g'risida", 2017-yil 30-iyundagi PQ-3107-son "Neft-gaz tarmog'ini boshqarish tizimini takomillashtirishga oid chora-tadbirlar to'g'risida"gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishi-ning ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining IV. «Matematika, mexanika va informatika» ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoni o'rganilganlik darajasi. Nonyuton sistemalarining reologiyasi va nonyuton suyuqliklarning trubalarda harakatlanishi dunyoning yetakchi olimlari G.Astarista, A.Mahmood, A.S.R.Duarte, Yu.Andrienko, C.Fetecau, L.Casanellas, R.P.Chhabra, A.Dennis, Fei Jiang, I.Fridtjov, R.Hilfer, A.Madurange, N.D.Waters, Tan Wenchang, V.Mathur, T.Wenchang, A.X.Mirzajanzade, P.M.Ogibalov, B.A.Yufin, R.S.Gurbanov, I.M.Ametov va boshqalar tomonidan tadqiq qilingan. O'zbekistonda yuqori qovushoqli va og'ir neftlarni qazib olishga J.A.Akilov, B.X.Xo'jayorov, A.X.Agzamov, E.K.Ermatov, V.F.Burnashev, J.M.Maxmudov, M.S.Djabbarovlarning ishlari bag'ishlangan. Shu bilan birga, hozirgi kunga qadar chuqurlikda plunjerli nasos joylashgan quduqlarda neftlar harakatining gidrodinamik tadqiqotlari, ularning relaksatsion xususiyatlarini hisobga olgan holda, to'liq amalga oshirilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand davlat arxitektura-qurilish universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq C-2018 "Suyuqlik, gaz va deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasining dolzarb muammolari" (2018-2023) loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi qovushoq va qovushoq-elastik suyuqliklarning nasos silindri va shtanglar kolonnasi orasidagi halqa sohada nostatsionar harakatining analitik yechimlarini olish, tahlil qilish va plunjerga bo'lgan to'liq gidrodinamik bosimni aniqlash usullarini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

nnyuton va relaksatsiyalanuvchi suyuqliklarning nostatsionar tekis oqimlari masalalarining yangi yechimlarini ishlab chiqish;

qovushoq va qovushoq-elastik neftlarning ekspluatatsiya qudug'idagi nostatsionar harakatida plunjerga bo'lgan bosimga relaksatsiya vaqtining ta'sir darajasini sonli hisoblash;

qovushoq-elastik suyuqlikning relaksatsiya va kechikish vaqtlarining birgalikda plunjerga bo'lgan gidrodinamik bosimga ta'sirini keltirib chiqish;

qovushoq-elastik suyuqlikning nostatsionar harakatdan statsionar holatga o'tish jarayonini tadqiq qilish, gidravlik qarshilik koeffitsiyentini aniqlash va sonli tadqiq qilish usulini takomillashtirish.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida nonyuton neftlar chiqariladigan neft qazib olish konlari olingan.

Tadqiqotning predmetini matematik va reologik modellar, nonyuton neftlarning quvurlardagi harakati jarayonlarini gidrodinamik tahlil qilish va sonli hisoblash usullari tashkil qiladi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida nonyuton suyuqliklarning gidrodinamikasi nazariyasi, nonyuton suyuqliklarning reologiya modellari va harakat tenglamalari hisoblash eksperiment usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

nyuton va relaksatsiyalanuvchi suyuqliklarning nostatsionar tekis oqimlari masalalarining yangi yechimlari ishlab chiqilgan;

qovushoq va qovushoq-elastik neftlarning ekspluatatsiya qudug'ida nasos silindri va shtanglar kolonnasi orasidagi maydonda harakatlanayotganda neftning plunjerga bo'lgan umumiy bosimiga relaksatsiya vaqtining ta'siri aniqlangan;

relaksatsiya va kechikish vaqtlarini hisobga olgan holda, quduqda nasos silindri va shtanglar kolonnasi orasidagi halqali maydonda qovushoq va qovushoq elastik suyuqlikning nostatsionar harakati masalalarini yechishning yangi uslubi ishlab chiqilgan;

qovushoq-elastik suyuqlikning nostatsionar harakatdan statsionar holatga o'tish jarayoni tadqiq qilingan va suyuqlikning nostatsionar harakatdagi gidravlik qarshilik koeffitsiyenti aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari.

nonyuton suyuqliklarning ekspluatatsiya qilinayotgan quduqlardagi shtanglar kolonnasi va silindr orasidagi harakati jarayonlarini matematik modellashtirish usuli taklif etilgan;

nonyuton neft olinayotgan quduqda suyuqlikning plunjerga to'liq bosimni aniqlashning gidrodinamik usuli ishlab chiqilgan;

neftning relaksatsiya va kechikish xususiyatlarini hisobga olgan holda plunjerga bo'lgan to'liq bosimni aniqlash usuli ishlab chiqilgan;

nonyuton suyuqliklarning nostatsionar harakatdan statsionar harakatga o'tishida relaksatsiya xususiyatlarining ta'sirini aniqlash usuli ishlab chiqilgan.

qovushoq-elastik suyuqlikning silindrik trubadagi nostatsionar laminar harakatida gidravlik qarshilik koeffitsiyentini hisoblash usuli berilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tutash muhit mexanikasining fundamental qonunlari, klassik gidrodinamika va nonyuton suyuqliklarning reologiyasi, matematik-fizika tenglamalari, shuningdek, zamonaviy sonli usullardan foydalanilganlik bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati relaksatsiya xususiyatiga ega bo'lgan nonyuton muhitlar asosida quduqlarni ishlatish jarayonini modellashtirishning yangi ilmiy-texnik yo'nalishi ishlab chiqilganligi, suyuqliklar harakati nazariyasi va amaliyoti rivojiga qo'shgan hissasi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati neft konlarini ekspluatatsiya qilishda nasos qurilmalarining ratsional rejimda ishlashini ta'minlash va texnologik jarayonlarini boshqarish uslubi ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Qovushoq va qovushoq-elastik suyuqliklarning neft chiqarish qudug'ida nostatsionar harakati bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

shtangali nasoslardan foydalangan holda nonyuton neftlarni chiqarishda quduqlarni ekspluatatsiya qilish gidrodinamik jarayonlarni nazariy o'rganishning olingan natijalari "Qo'qon neftgazparmalash" aksiyadorlik jamiyati boshqarmasiga joriy etildi (O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2024 yil 23 avgustdagi № 04-05-6708- son ma'lumotnomasi). Natijada, plunjerning harakat tezligini oshirish orqali nasosning uzatish koeffitsiyentini 0,26 dan 0,33 ga yetkazish imkonini bergan;

Yuqori qovushoqli neftlar qazib olinadigan quduqlarni ishlatish bo'yicha tavsiyalar "Qo'qon neftgazparmalash" aksiyadorlik jamiyati boshqarmasida joriy etildi (O'zbekiston Respublikasi Energetika Vazirligining 2024 yil 23 avgustdagi № 04-05-6708- son ma'lumotnomasi). Natijada quduqda plunjer nasosining tezligini oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining natijalari 5 ta Xalqaro va 4 ta Respublika ilmiy-texnik anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya Komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 9 ta maqolalar, jumladan, 4 tasi Respublika va 5 tasi xorijiy ilmiy jurnallarda nashr etilgan, 3 ta EHM uchun dasturga guvohnomalar olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish qismi, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan tashkil topgan. Dissertatsiya hajmi 97 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida tanlangan mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, mavzu bo'yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi, muammoning o'rganilganlik darajasi keltirilgan, tadqiqot maqsadi, vazifalari, ob'ekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining joriy qilinishi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Nonyuton suyuqliklarning trubalardagi harakatini o'rganish va natijalarini neft qazib olishda qo'llash**" deb nomlangan birinchi bobida trubalarda suyuqlikning gidrodinamik bosimini modellashtirish muammolariga oid tadqiqotlar sharhlangan va tahlil qilingan.

"Neft qazib olishda nonyuton suyuqliklar harakati bo'yicha ilmiy tadqiqotlarning hozirgi zamon holati" nomli 1.1-paragrafda nyuton va nonyuton suyuqliklarning reologik modellari haqida ma'lumot berilgan, nonyuton neftlarning reologiyasi qaralgan. Oxirgi yillargacha neft qazib chiqarish masalalarini yechishda

ko'pgina nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar uchun statsionar reologik modellar ishlatilgan. Bunday reologik modellarga Shvedov-Bingam modeli, darajali suyuqliklar modeli, Kesson va Shulman reologik modellari kiradi. Bu modellar asosida ko'pgina neft qazib chiqarish masalalari yechilgan. Lekin, tajribalarning ko'rsatishicha, tarkibida katta miqdordagi asfalten-parafin, smolalar bo'lgan neftlarning reologik modellari yuqorida aytilgan reologik modellardan farq qiladi. Bunday neftlar relaksatsiya xususiyatiga ega bo'lib, Maksvell va Oldroyd modellariga mos kelishi aniqlangan.

1.2-paragrafda suyuqlikning quduqdagi trubalar va halqasimon sohalardagi nostatsionar harakatining asosiy tenglamalari keltirilgan.

Dekart koordinatalarida bir o'lchovli oqimlar uchun, massaviy kuchlar hisobga olinmaganida, harakat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\rho \frac{\partial v(y,t)}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau(y,t)}{\partial y}. \quad (1)$$

Silindrik koordinatalarda, o'qqa nisbatan simmetrik oqimlar uchun :

$$\rho \frac{\partial v(r,t)}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r\tau)}{\partial r}, \quad (2)$$

bu yerda x, y – dekart koordinatalari; t – vaqt; r – radial koordinata; v – tezlik, ρ – suyuqlik zichligi; τ – urinma kuchlanish; p – bosim.

Bu harakat tenglamalari uzluksizlik tenglamasi bilan birga yopiq bo'lmagan tenglamalar sistemasini hosil qiladi. Yetishmagan tenglama suyuqlikning eksperimental kashf etilgan xususiyatlarini ifodalovchi fizik farazlar asosida topiladi. Qovushoq suyuqliklar uchun Nyutonning ushbu qovushoq ishqalanish qonuni o'rinli:

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial r}, \quad (3)$$

bu erda μ – dinamik qovushoqlik.

O'tkazilgan tajribalarning ko'rsatishicha tarkibida yuqori miqdorda parafin, asfalten va smolalar bo'lgan neftlar uchun Maksvell

$$\tau + \lambda \frac{\partial \tau}{\partial t} = \mu \frac{\partial v}{\partial r}, \quad (4)$$

va umumiy holda Oldroyd

$$\tau + \lambda_1 \frac{\partial \tau}{\partial t} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial r} + \lambda_2 \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial t} \right), \quad (5)$$

reologik holat tenglamalari qo'llanilgan.

bu erda λ_1 – relaksatsiya vaqti; λ_2 – kechikish vaqti.

(1), (2) harakat tenglamalari va (3)-(5) reologik tenglamalar yopiq sistemani hosil qiladi.

“Yassi trubada qovushoq va qovushoq-elastik suyuqlikning nostatsionar harakati” deb nomlangan ikkinchi bobda chuqurda joylashgan nasos yordamida neft quduqlarini ishlatishda ko'taruvchi trubadagi suyuqlik(neft)ning nostatsionar

harakati o'rganilgan. Plunjerning harakatlanishi paytida unga suyuqlikning gidrodinamik bosimini aniqlash masalasi qaralgan.

Plunjerga bo'lgan suyuqlikning umumiy gidrodinamik bosimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$p(t) = \Delta p(t) + (L - h)\rho g + p_0, \quad (6)$$

bu erda $p(t)$ – suyuqlikning ko'taruvchi trubadagi nostatsionar laminar harakatida plunjerga umumiy(to'la) bosim; $\Delta p(t)$ – gidrodinamik bosimning pasayishi; p_0 – quduq og'zidagi bosim; L – ko'tarilgan suyuqlik ustunining balandligi; h – chuqur nasosning botish chuqurligi; ρ – suyuqlik zichligi; g – erkin tushish tezlanishi.

Chuqurda joylashgan nasoslar bilan neft quduqlarini ishlatish amaliyotida, ko'p hollarda $\alpha = r_2 / R > 0.2$ munosabat bajariladi, bu erda R – ko'targich truba radiusi; r_2 – shtanga radiusi. Bunday holda, truba va shtanga orasidagi radial bo'shliqni yassi yoriq sifatida qabul qilish mumkinligi ko'rsatilgan.

2.1-paragrafda yassi trubada plunjerga neft gidrodinamik bosimini aniqlash masalasi qaralgan. (1) va (3) ga muvofiq

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + q(t), \quad (0 < y < l), \quad (7)$$

bu erda v – ko'taruvchi trubadagi suyuqlikning tezligi; $l = R - r_2$; $q(t) = -\partial p / \partial z$ – trubaning Oz o'qi bo'ylab yo'nalgan gidrodinamik bosim o'zgarishi, $q(t) \approx \Delta p / L$. (7) uchun boshlang'ich va chegaraviy shartlar quyidagicha

$$v(y, 0) = 0, \quad (0 \leq y \leq l); \quad v(0, t) = v_p(t), \quad v(l, t) = 0, \quad (t > 0), \quad (8)$$

bu yerda $v_p(t)$ – plunjerning tezligi. Ko'p hollarda, vaqtning bitta T to'liq siklida plunjerning tezligi uchun

$$v_p(t) = \frac{24v_m}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n^3} \sin \frac{2\pi n t}{T}, \quad (9)$$

formuladan foydalaniladi, bunda v_m – shtangalar kolonnasi osilgan nuqtaning o'rtacha tezligi.

Gidrodinamik bosim o'zgarishini topishda suyuqlik oqimining quyidagi balansidan foydalanamiz:

$$Q = \pi(r_1^2 - r_2^2)v_p(t) = 2\pi \int_0^l (y + r_2)v(y, t)dy, \quad (10)$$

bu yerda Q – suyuqlik sarfi; r_1 – plunjer radiusi. (10) tenglik

$$Q = \pi(r_1^2 - r_2^2)v_p(t) = 2\pi \int_{r_2}^R r v(r, t)dr,$$

tenglikdagi integralda $y = r - r_2$ almashtirish bilan hosil bo'ladi.

(6)-(10) qaralayotgan jarayonning matematik modelini ifodalaydi.

Quyidagi o'lchovsiz kattaliklarni kiritamiz:

$$t' = \frac{U}{l}t, \quad x = \frac{y}{l}, \quad r_1' = \frac{r_1}{l}, \quad r_2' = \frac{r_2}{l}, \quad T' = \frac{U}{l}T, \quad v'(t') = \frac{v(t)}{U}, \quad v_p'(t') = \frac{v_p(t)}{U}, \quad a_p'(t') = \frac{l}{U^2}a_p(t),$$

bu yerda U – xarakterli tezlik.

(6)-(10) ni o'lchamsiz o'zgaruvchilarda quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v'}{\partial x^2} + q'(t'), \quad (0 < x < 1);$$

$$v'(x, 0) = 0, \quad (0 \leq x \leq 1); \quad v'(0, t') = v'_p(t'), \quad v'(1, t') = 0, \quad (t' > 0);$$

$$\frac{r_1'^2 - r_2'^2}{2} v'_p(t') = \int_0^1 (x + r_2') v'(x, t') dx,$$

bu yerda $\text{Re} = U\rho l / \mu$, $q'(t') = q(t)l / (\rho U^2)$.

Masala Laplas integral almashtirishi yordamida yechilib, bosim o'zgarishi uchun quyidagi formula olindi:

$$\bar{q}(t') = \frac{4}{\text{Re}(1 + 2r_2')} \left\{ f_0 v'_p(t') + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\int_0^{t'} e^{-\bar{a}_k^2(t'-\xi)} a'_p(\xi) d\xi + \frac{w_k \varphi_k}{\psi_k} \int_0^{t'} e^{-\bar{w}_k^2(t'-\xi)} a'_p(\xi) d\xi \right] \right\}, \quad (11)$$

bu yerda $a_k = 2\pi k$ ($k = 1, 2, \dots$) $\sin(x/2) = 0$ tenglamaning musbat ildizlari; $w_k = 2z_k$ ($k = 1, 2, \dots$); z_k $\text{tg}z = z$ tenglamaning musbat ildizlari; $\bar{a}_k = a_k / \sqrt{\text{Re}}$, $\bar{w}_k = w_k / \sqrt{\text{Re}}$. (6) ga muvofiq to'la bosim:

$$p(t) = \frac{\rho U^2 L}{l} q'(t') + (L - h)\rho g + p_0. \quad (12)$$

Olingan formulalardan foydalanib, suyuqlik qovushoqligi va zichligi o'zgarishining plunjerga gidrodinamik bosimga ta'siri o'rganilgan.

2.2-paragrafda qovushoq elastik suyuqlik relaksatsiya vaqtining yassi trubadagi gidrodinamik bosimga ta'siri qaralgan. Masalani yechish uchun o'lchamsiz kattaliklardagi

$$\left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'} \right) \frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v'}{\partial x^2} + \left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'} \right) \bar{q}(t'),$$

tenglama va quyidagi boshlang'ich va chegara shartlar hosil qilingan:

$$v'(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial v'(x, 0)}{\partial t'} = 0, \quad (0 \leq x \leq 1); \quad v'(0, t') = v'_p(t'), \quad v'(1, t') = 0. \quad (13)$$

$$\frac{r_1'^2 - r_2'^2}{2} v'_p(t') = \int_0^1 (x + r_2') v'(x, t') dx,$$

bu erda $\lambda' = \lambda U / l$. Laplas almashtirishidan foydalanib, quyidagi formula olingan:

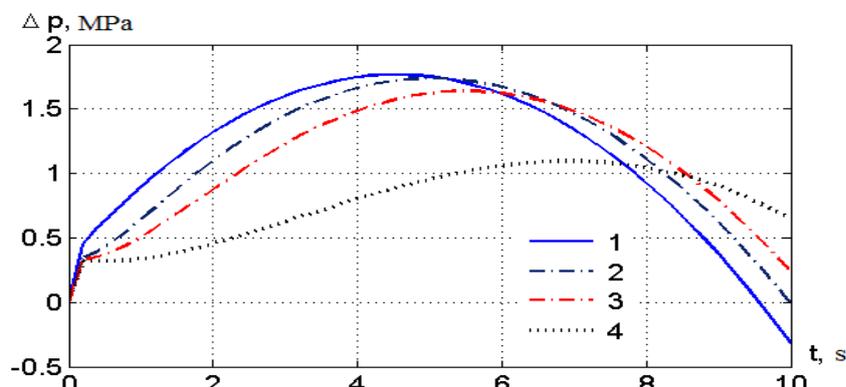
$$q'(t') = \frac{4}{\text{Re}(1 + 2r_2')} \cdot \left\{ f_0 v'_p(t') - f_0 \int_0^{t'} a'_p(\xi) e^{-2a(t'-\xi)} d\xi + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{t'} \left(\frac{\sin a\beta_k \xi}{\beta_k} + \frac{\varphi_k w_k \sin ag_k \xi}{\psi_k g_k} \right) a'_p(t'-\xi) e^{-a\xi} d\xi \right\}, \quad (14)$$

bu yerda $a = 1/(2\lambda')$, $\beta_k = \sqrt{1 - 4\lambda' \bar{a}_k^2}$, $g_k = \sqrt{1 - 4\lambda' \bar{w}_k^2}$.

Suyuqlikning plunjerga umumiy bosimi (14) ni (12) ga qo'yib aniqlanadi.

Olingan formulalar yordamida quyidagi ma'lumotlardan foydalangan holda sonli tajribalar o'tkazildi: $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$, $L = 1000 \text{ m}$, $h = 100 \text{ m}$, $U = v_m = 0.60 \text{ m/s}$, $T = 20 \text{ s}$, $R = 0,030 \text{ m}$, $r_1 = 0,02988 \text{ m}$, $r_2 = 0,010 \text{ m}$.

1-rasmda plunjerning yuqoriga harakati davomida unga bo'lgan gidrodinamik bosimga neft relaksatsiya vaqtining ta'siri keltirilgan. Rasimda $\lambda = 0$ qovushoq suyuqlikka mos keladi.



1-rasm. Plunjerning yuqoriga harakati davomida unga bo'lgan gidrodinamik bosimga neft relaksatsiya vaqtining ta'siri

1 – $\lambda = 0$; 2 – $\lambda = 0,5$ s; 3 – $\lambda = 1$ s; 4 – $\lambda = 4$ s. $\mu = 0,1$ Pa·s, $\rho = 920$ kg/m³.

Grafiklardan ko'rinadiki, plunjer harakatining boshlanishida va oxirida gidrodinamik bosim sakrashga ega. Suyuqlikning relaksatsiya xususiyati nyuton suyuqligiga qaraganda bosimning tezlashishda kamayishiga, sekinlashishda esa oshishiga olib keladi. Grafikning maksimumi vaqt o'qi bo'ylab o'ngga siljiydi.

Parametrlarning $\lambda = 0, 3, 8$ s;

a. $\rho = 750$ kg/m³, $\mu = 0,047$ Pa·s; b. $\rho = 930$ kg/m³, $\mu = 0,2$ Pa·s.

qiymatlari uchun, plunjerning yuqoriga qarab harakati boshida (tezlanish paytida) bosim ko'tariladi. Bu nasosning ishlashi paytida shtanga-truba-suyuqlik tizimida paydo bo'ladigan inersial kuchlarning ta'siridan kelib chiqadi. Tezlashuv jarayonida neftning qovushoq-elastik xususiyatlari qovushoq suyuqlikka nisbatan umumiy bosim qiymatlarining kamayishiga olib keladi va ko'tarilish sekinlashganda va tushish sekinlashganda, aksincha, oshadi. Relaksatsiya xususiyatlarining oshishi bilan qovushoq va qovushoq-elastik suyuqlikning bosim profillari orasidagi farq ortadi.

2.3-paragrafda kuchlanish relaksatsiyasi va siljish tezligi kechikishi xususiyatlarining yassi trubada gidrodinamik bosimga ta'siri qaralgan. Jarayonning matematik modeli (5), (7) tenglamalar yoki ulardan hosil qilinuvchi

$$\rho \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \left(1 + \lambda_2 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) q(t), \quad (0 < y < l), \quad (15)$$

(15) tenglama quyidagi

$$v(y, 0) = 0, \quad \frac{\partial v(y, 0)}{\partial t} = 0, \quad (0 \leq y \leq l). \quad v(0, t) = v_p(t), \quad v(l, t) = 0, \quad (t > 0), \quad (16)$$

boshlang'ich va chegaraviy shartlardan (10) tenglikdan iborat.

Masala analitik usulda yechilib, o'lchamsiz kattaliklarda quyidagi formula olindi:

$$q'(t') = \frac{4}{\text{Re} \cdot (1 + 2r_2')} \left\{ f_0 \int_0^{t'} a'_p(\xi) \left(1 - e^{-2a(t'-\xi)} + 2a\lambda_2' e^{-2a(t'-\xi)} \right) d\xi + \right.$$

$$+ 2a \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{t'} a'_p(\xi) \left[F(\alpha_k, \beta_k, t' - \xi) + \frac{w_k \varphi_k}{\psi_k} F(\alpha_{1k}, \beta_{1k}, t' - \xi) \right] d\xi \}. \quad (17)$$

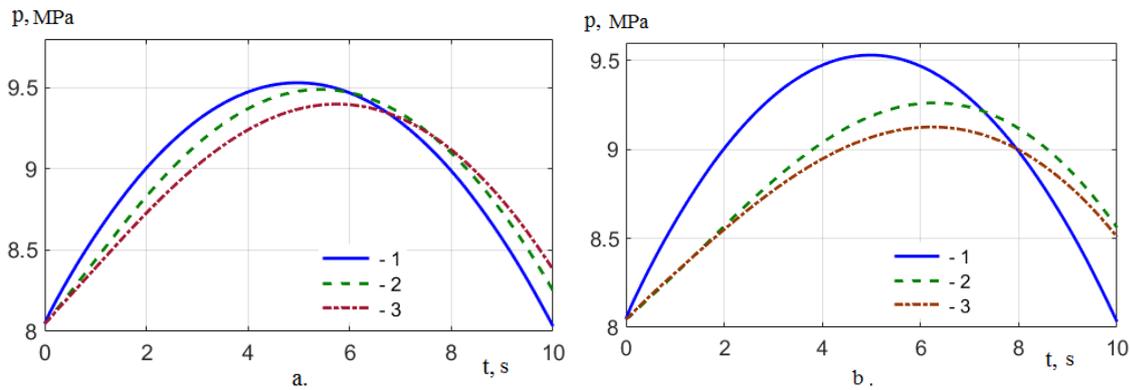
bu yerda

$$a = \frac{1}{2\lambda'_1}, \alpha_k = 1 + \lambda'_2 \bar{a}_k^2, \beta_k = \sqrt{\alpha_k^2 - 4\lambda'_1 \bar{a}_k^2}; \alpha_{1k} = 1 + \lambda'_2 \bar{w}_k^2, \beta_{1k} = \sqrt{\alpha_{1k}^2 - 4\lambda'_1 \bar{w}_k^2}$$

$$\lambda'_1 = \frac{U}{l} \lambda_1, \lambda'_2 = \frac{U}{l} \lambda_2, F(A, B, t') = [\lambda'_2 chaBt' + (1 - \lambda'_2 aA) shaBt' / (aB)] e^{-aAt'}$$

Umumiy bosim (17) ifodani (12) tenglikka qo'yib topiladi.

2-rasmda neft relaksatsion xususiyatlarining plunjerga bo'ladigan umumiy bosimga ta'siri grafiklari $\mu = 0,1 Pa \cdot s$, $\rho = 900 kg/m^3$ qiymatlar uchun keltirilgan.



2-rasm. Plunjerga bo'ladigan umumiy bosimga neft relaksatsion xususiyatlarining ta'siri.

$$\mu = 0,10 Pa \cdot s, \rho = 900 kg/m^3.$$

$$a. 1 - \lambda_1 = \lambda_2 = 0; \quad 2 - \lambda_1 = 1 s, \lambda_2 = 0,5 s; \quad 3 - \lambda_1 = 2 s, \lambda_2 = 1 s;$$

$$b. 1 - \lambda_1 = \lambda_2 = 0; \quad 2 - \lambda_1 = 3 s, \lambda_2 = 1 s; \quad 3 - \lambda_1 = 5 s, \lambda_2 = 2 s.$$

Ko'rinadiki, plunjer tezlashishi jarayonida neftning qovushoq elastik xususiyatlari qovushoq suyuqlikka nisbatan umumiy bosim qiymatlarining kechikishiga olib keladi va ko'tarilish sekinlashganda aksincha, oshadi. Qovushoq elastik xususiyatlarning oshishi bilan qovushoq va qovushoq elastik suyuqlikning bosim profillari orasidagi farq ortadi. Bu, ayniqsa, sekinlashish paytida seziladi. $\lambda_1 - \lambda_2$ farq ortib borishi bilan qovushoq elastik xususiyatlarning ta'siri ko'proq namoyon bo'ladi.

Dissertatsiyaning “**Neft quduqlarini chuqurda joylashgan nasoslar yordamida ishlatishda suyuqlikning plunjerga gidrodinamik bosimi**” nomli uchinchi bobida plunjerga gidrodinamik bosimni aniqlash masalasi shtang va ko'targich truba radiuslari nisbatiga oid ikkinchi bobda qabul qilingan farazdan foydalanmasdan yechilgan.

3.1-paragrafda ko'taruvchi truba va shtangalar orasidagi halqali bo'shliqda suyuqlikning laminar nostatsionar harakatida qovushoq suyuqlikning gidrodinamik bosimini aniqlash masalasi qaralgan. Masala

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + q(t), \quad (r_2 < r < R). \quad (18)$$

harakat tenglamasi,

$$v(r, 0) = 0, \quad (r_2 \leq r \leq R); \quad v(r_2, t) = v_p(t), \quad v(R, t) = 0, \quad (t > 0) \quad (19)$$

boshlang'ich va chegaraviy shartlar hamda

$$\pi(r_1^2 - r_2^2)v_p(t) = 2\pi \int_{r_2}^R rv(r, t)dr. \quad (20)$$

tenglik yordamida ifodalanadi. Masala $q(t) = -\partial p / \partial z \approx \Delta p / L$ bosim o'zgarishini va umumiy bosimni topishdan iborat.

Laplas integral almashtirishini va Furening o'zgaruvchilarni ajratish usulini qo'llab, quyidagi formula olingan:

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2}{1 - \alpha_*^2} a'_p(t') + \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} v'_p(t') - \frac{2}{\text{Re}} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{\psi_{1n}} \cdot \int_0^{t'} a'_p(\xi) e^{-s_n(t'-\xi)} d\xi, \quad (21)$$

bu yerda $t' = \frac{U}{R}t$, $r' = \frac{r}{R}$, $v'_p(t') = \frac{v_p(t)}{U}$, $q'(t') = \frac{R}{\rho U^2 L} q(t)$,

$$\text{Re} = \frac{\rho R U}{\mu}, \quad \alpha_* = \sqrt{\alpha_1^2 - \alpha^2}, \quad \alpha = \frac{r_2}{R}, \quad \alpha_1 = \frac{r_1}{R},$$

$$\begin{aligned} d_1(x) &= J_0(\alpha x) - J_0(x); \quad d_2(x) = Y_0(\alpha x) - Y_0(x); \quad d_3(x) = \alpha J_1(\alpha x) - J_1(x); \\ d_4(x) &= \alpha Y_1(\alpha x) - Y_1(x); \quad d_5(x) = \alpha^2 J_0(\alpha x) - J_0(x); \quad d_6(x) = \alpha^2 Y_0(\alpha x) - Y_0(x); \\ d_7(x) &= J_0(x)Y_1(\alpha x) - J_1(\alpha x)Y_0(x); \quad d_8(x) = J_1(x)Y_0(\alpha x) - J_0(\alpha x)Y_1(x). \\ D_\alpha(x) &= J_0(\alpha x)Y_0(x) - J_0(x)Y_0(\alpha x); \end{aligned}$$

$$\varphi(x) = \frac{1 - \alpha^2}{4} x D_\alpha(x) + Y_0(x)d_3(x) - J_0(x)d_4(x); \quad \psi(x) = \frac{1 - \alpha^2}{2} x D_\alpha(x) - d_2(x)d_3(x) + d_1(x)d_4(x);$$

$$\psi_{1n} = (1 - \alpha^2)D_\alpha(\beta_n) + \frac{1 - \alpha^2}{2} \beta_n [\alpha d_7(\beta_n) + d_8(\beta_n)] + d_1(\beta_n)d_6(\beta_n) - d_2(\beta_n)d_5(\beta_n),$$

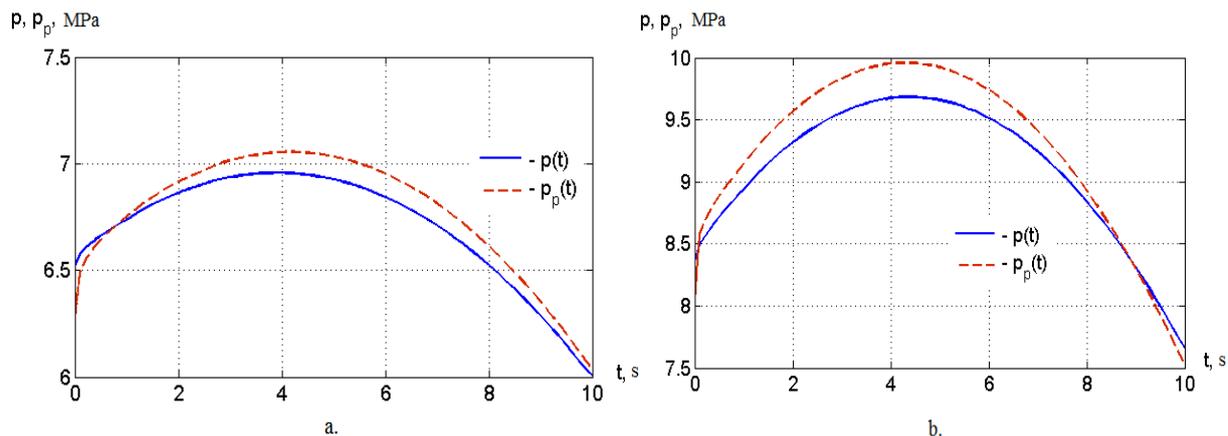
$$\varphi_n = \varphi(\beta_n), \quad \beta_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad \text{lar} \quad \frac{1 - \alpha^2}{2} \beta D_\alpha(\beta) - d_2(\beta)d_3(\beta) + d_1(\beta)d_4(\beta) = 0$$

tenglamaning musbat ildizlari; $J_0(x), Y_0(x), J_1(x), Y_1(x)$ – nolinch va birinchi tartibli birinchi va ikkinchi tur Bessel funksiyalari. (21) ni

$$p(t) = \frac{\mu U L}{R^2} q'(t') + (L - h)\rho g + p_0, \quad (22)$$

tenglikka ga qo'yib, plunjerga qo'yilgan umumiy bosim topiladi.

Formula (22) bo'yicha hisoblangan umumiy bosim qiymatlari 2.1-paragrafda yassi truba uchun olingan (12) formula bilan hisoblangan qiymatlar bilan taqqoslab ko'rildi. Soddalik uchun, (22) ni masalaning doiraviy truba uchun yechimi, (12) ni yassi truba uchun yechimi deymiz. Umumiy bosimning mos qiymatlarini $p(t), p_p(t)$ deb belgilaymiz. Ular grafiklari $\alpha = 0,4$ hol uchun 3-rasmda keltirilgan. Ko'rinadiki, plunjerni ko'tarish jarayonining boshida yassi truba uchun umumiy bosimning qiymatlari doiraviy truba uchun hisoblanganiga qaraganda kam va faqat to'xtash momentida ozroq katta bo'lishi mumkin.



3-rasm. Halqasimon ($p(t)$) va yassi ($p_p(t)$) trubalar uchun plunjerga umumiy bosimning vaqt bo'yicha o'zgarish grafiklari. $\alpha = 0,4$.

a. $\mu = 0,04 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$; b. $\mu = 0,100 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$.

$\alpha = r_2 / R$ parametrning nisbatan kichik qiymatlarida doiraviy va yassi truba uchun hisoblangan bosim qiymatlari, ayniqsa, shtanga radiusining kichik qiymatlari uchun sezilarli darajada farqlanadi. Og'ir neft uchun α parametrning nisbatan katta qiymatlarida ikkala formula bo'yicha hisoblangan bosim qiymatlari kam farq qiladi.

3.2-paragrafda qovushoq elastik suyuqlik kuchlanish relaksatsiyasining plunjerga gidrodinamik bosimga bo'lgan ta'sirini modellashtirish qaralgan. (2), (4) tenglamalar,

$$v(r,0) = 0, \frac{\partial v(r,0)}{\partial t} = 0 \quad (r_2 \leq r \leq R); \quad v(r_2,t) = v_p(t), \quad v(R,t) = 0, \quad (t > 0)$$

boshlang'ich va chegara shartlar hamda (20) munosabat jarayonning matematik modeli bo'lib xizmat qiladi. (4) dan $\lambda > 0$, $\tau(r,0) = 0$ da urinma kuchlanish uchun quyidagini olamiz:

$$\tau(r,t) = \frac{\mu}{\lambda} \int_0^t \frac{\partial v(r,\xi)}{\partial r} e^{-\frac{t-\xi}{\lambda}} d\xi.$$

Ilgari kiritilgan bilan bir qatorda $\lambda' = \lambda U / R$, $c = 1 / \lambda'$ o'lchamsiz miqdorlarni kiritib, o'lchamsiz kattaliklarda quyidagilarni hosil qilish mumkin:

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{c}{\text{Re}} \frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial}{\partial r'} \int_0^{t'} v'(r',\xi) e^{-c(t'-\xi)} d\xi \right) + q'(t'), \quad (\alpha < r' < 1). \quad (23)$$

$$\left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'} \right) \frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial v'}{\partial r'} \right) \right] + \left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'} \right) q'(t'), \quad (\alpha < r' < 1). \quad (24)$$

$$v'(r',0) = 0, \frac{\partial v'(r',0)}{\partial t'} = 0, \quad (\alpha \leq r' \leq 1); \quad v'(\alpha,t') = v'_p(t'), \quad v'(1,t') = 0, \quad (t' > 0). \quad (25)$$

$$\int_{\alpha}^1 r' v'(r',t') dr' = \frac{\alpha_*^2}{2} v'_p(t'). \quad (26)$$

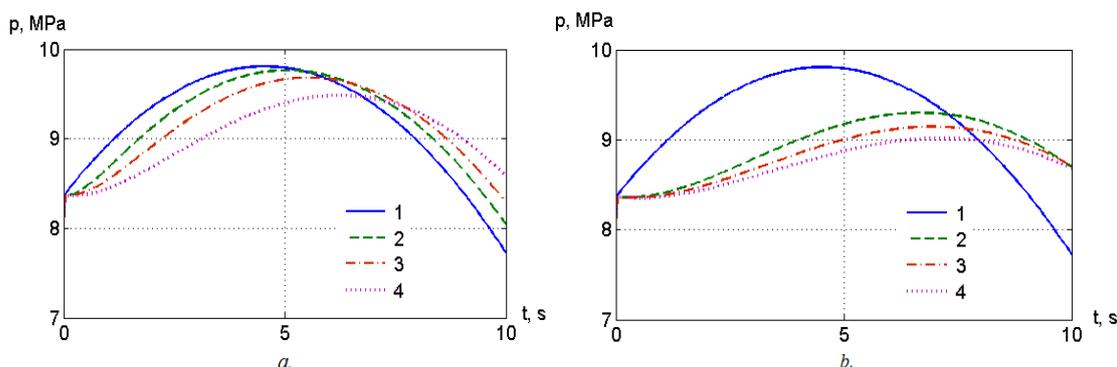
Bu tenglamalarni Laplas almashtirishi va o'zgaruvchilarni ajratish usuli bilan yechib, o'lchamsiz bosim o'zgarishi uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2 v'_p(t)}{1 - \alpha^2} + \frac{4cA_\alpha}{\text{Re}} \int_0^{t'} e^{-c(t'-\xi)} v'_p(\xi) d\xi - \frac{4}{\text{Re}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{b_n \psi_{1n}} \int_0^{t'} v'_p(\xi) e^{-a(t'-\xi)} \sin ab_n(t'-\xi) d\xi. \quad (27)$$

bu yerda $a = 1/(2\lambda')$, $b_n = \sqrt{4\lambda' x_n^2 - 1}$, $x_n = \beta_n / \sqrt{\text{Re}}$.

Plunjerga umumiy bosimni (27) ni (22) ga qo'yib topiladi. Olingan formulalar yordamida parametrlarning $L = 1000 \text{ m}$, $h = 100 \text{ m}$, $U = v_m = 0,60 \text{ m/s}$; $\lambda = 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5 \text{ s}$; $\mu = 0,100 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ qiymatlarida sonli hisoblashlar bajarildi.

4-rasmda plunjerning ko'tarilishida unga suyuqlik umumiy bosimining vaqt bo'yicha o'zgarishi grafigi keltirilgan. Ko'rinadiki, neftning relaksatsion xususiyatlari bosimning ham pasayishiga, ham oshishiga olib kelishi mumkin. Bunday holda, qiymatlarning eng katta farqi maksimal nuqtalarda va ko'tarilishning to'xtashi vaqtida kuzatiladi.



4-rasm. Plunjerning ko'tarilishida suyuqlik umumiy bosimining vaqtga bog'liqlik grafigi.

$$\mu = 0,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}; \quad \rho = 900 \text{ kg/m}^3.$$

a. 1- $\lambda = 0$; 2- $\lambda = 0,5 \text{ c}$; 3- $\lambda = 1 \text{ c}$; 4- $\lambda = 2 \text{ c}$.

b. 1- $\lambda = 0$; 2- $\lambda = 3 \text{ c}$; 3- $\lambda = 4 \text{ c}$; 4- $\lambda = 5 \text{ c}$.

Suyuqlikning qovushoq-elastik xususiyatlari bosim maksimumining kechikishiga olib keladi. Relaksatsiya vaqtining oshishi bilan bosim farqi ortadi.

3.3-paragrafda qovushoq elastik suyuqlikning plunjerga bo'lgan bosimiga relaksatsiya va kechikish vaqtlarining ta'siri qaralgan.

Tenglamalar va qo'shimcha shartlarni o'lchamsiz kattaliklarda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{c_2}{\text{Re}} \frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial v'}{\partial r'} \right) + \frac{c_1}{\text{Re}} \frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial}{\partial r'} \int_0^{t'} v'(r', \xi) e^{-\frac{t'-\xi}{\lambda_1}} d\xi \right) + q'(t'), \quad (28)$$

$$\left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t'} \right) \frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \left(1 + \lambda_2 \frac{\partial}{\partial t'} \right) \left[\frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial v'}{\partial r'} \right) \right] + \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t'} \right) q'(t'), \quad (29)$$

$$v'(r', 0) = 0, \quad \frac{\partial v'(r', 0)}{\partial t'} = 0, \quad (\alpha \leq r' \leq 1); \quad v'(\alpha, t') = v'_p(t'), \quad v'(1, t') = 0, \quad (30)$$

$$\int_{\alpha}^1 r' v'(r', t') dr' = \frac{\alpha_*^2}{2} v'_p(t'), \quad (31)$$

bu yerda $\lambda'_1 = \frac{U}{R} \lambda_1$, $\lambda'_2 = \frac{U}{R} \lambda_2$, $c = \frac{1}{\lambda'_1}$, $c_2 = \frac{\lambda'_2}{\lambda'_1}$, $c_1 = c(1 - c_2)$.

Masalaning yechimi quyidagi ko'rinishda olindi:

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2}{1 - \alpha^2} \frac{dv'_p(t')}{dt'} + \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} \left[c_2 v'_p(t') + c_1 \int_0^{t'} v'_p(t' - \xi) e^{-c\xi} d\xi \right] - \frac{4}{\text{Re}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{C_n \psi_{1n}} \int_0^{t'} \frac{dv'_p(t' - \xi)}{d\xi} e^{-a_n \xi} (A_n c h b_n \xi + B_n b_n \text{sh} b_n \xi) d\xi, \quad (32)$$

bu yerda

$$A_n = 1 + 2\lambda'_2 x_n^2 (2 + a\lambda'_2 x_n^2) + (\lambda'_1 + \lambda'_2) (\lambda'_2 (a_n^2 + b_n^2) - 2a_n) - 4\lambda'^2_2 a_n x_n^2;$$

$$B_n = 2(\lambda'_2 - \lambda'_1) (\lambda'_2 a_n - 1); \quad a = 1/(2\lambda'_1), \quad a_n = a(1 + \lambda'_2 x_n^2), \quad b_n = \sqrt{a_n^2 - 2a x_n^2}.$$

$$C_n = 1 + 4\lambda'_1 x_n^2 + \lambda'_2 x_n^4 + 2\lambda'_1 \lambda'_2 (a_n^2 + b_n^2) - 4\lambda'_1 a_n (1 + \lambda'_2 x_n^2).$$

Umumiy bosim (32) ni (22) formulaga qo'yish orqali aniqlanadi.

Agar vaqtning biror oralig'ida plunjer tezligi o'zgarmas bo'lsin: $v_p(t) = v_m = \text{const}$, ya'ni $v'_p(t) = 1$. (32) dan quyidagini olamiz:

$$q'(t') = \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} [c_2 + c_1 (1 - e^{-ct'})].$$

Ko'rinadiki, plunjer tezligi o'zgarmas bo'lgan vaqt oralig'ida gidrodinamik bosim qovushoq suyuqlik uchungina o'zgarmas bo'ladi, qovushoq elastik suyuqlik uchun esa o'zgarmas bo'lmaydi.

Agar boshlang'ich momentda plunjerga o'zgarmas tezlik berilsa: $v_p(t) = v_m \eta(t)$, (32) ga ko'ra

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2}{1 - \alpha^2} \delta(t') + \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} [c_2 \eta(t') + c_1 (1 - e^{-ct'})] - \frac{4}{\text{Re}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{C_n \psi_{1n}} e^{-a_n t'} (A_n c h b_n t' + B_n b_n \text{sh} b_n t').$$

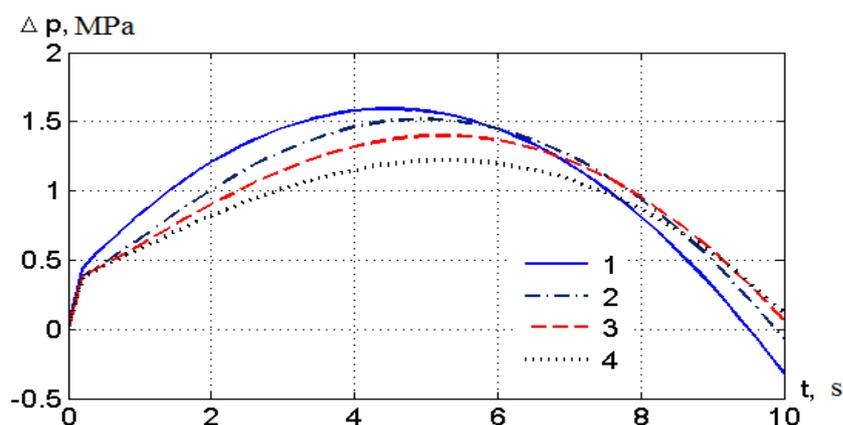
Ko'rinadiki, agar dastlabki momentda plunjer tezligi keskin keskin o'zgarsa, gidrodinamik bosim o'zgarishi impuls xarakteriga ega bo'lishi mumkin. Bu yerda $\eta(t)$, $\delta(t)$ – Xevisaydning birlik va Dirakning delta funksiyalari.

Olingan formulalardan foydalanib, suyuqlik qovushoq-elastik xossalari gidrodinamik bosimga ta'sirini o'rganish bo'yicha sonli tajribalar o'tkazildi. Bunda $\mu = 0,09 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$, $1 - \lambda_1 = \lambda_2 = 0$; $2 - \lambda_1 = 1 \text{ s}$, $\lambda_2 = 0,5 \text{ s}$; $3 - \lambda_1 = 2 \text{ s}$, $\lambda_2 = 1 \text{ s}$; $4 - \lambda_1 = 4 \text{ s}$, $\lambda_2 = 2 \text{ s}$.

5-rasmda plunjerning ko'tarilishida suyuqlik qovushoq elastik xususiyatlarining gidrodinamik bosimga ta'siri grafiklari keltirilgan.

Grafiklardan ko'rinadiki, plunjer tezlashishi jarayonida suyuqlikning qovushoq-elastik xususiyatlari qovushoq suyuqlikka nisbatan gidrodinamik bosimning kamayishiga olib bo'ladi. Biroq, ko'tarilish tezligi sekinlashganda aksincha, oshadi.

Hisoblashlar ko'rsatadiki, neftning qovushoq-elastik xususiyatlari plunjerdagi bosimning pasayishiga ham (tezlanish paytida) va oshishiga ham (sekinlashuv paytida) olib kelishi mumkin.



5-rasm. Plunjerning ko‘tarilishida suyuqlik qovushoq elastik xususiyatlarining gidrodinamik bosimga ta’siri. $\mu = 0,09 Pa \cdot c$, $\rho = 920 kg/m^3$.

1- $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$; 2- $\lambda_1 = 1 s$, $\lambda_2 = 0,5 s$; 3- $\lambda_1 = 2 s$, $\lambda_2 = 1 s$; 4- $\lambda_1 = 4 s$, $\lambda_2 = 2 s$.

Bunda qiymatlardagi eng katta farq ko‘tarilishni to‘xtatish vaqtida kuzatiladi. Relaksatsiya xususiyatlari gidrodinamik bosim maksimumga erishishi vaqtining oshishiga olib keladi, bu xususiyatlar kuchayishi bilan bosim profillari orasidagi farq oshadi, ayniqsa ko‘tarilishning sekinlashuvi paytida.

Plunjer tezligining $v(t) = 0,40; 0,60; 0,80; 1,00 m/s$ qiymatlarida kuchlanish relaksatsiya va boshqa parametrlarning plunjerga bo‘lgan gidrodinamik bosimga ta’siri o‘rganildi. Hisoblashlar ko‘rsatadiki, relaksatsiyani hisobga olgan holda gidrodinamik bosim oshib boradi, lekin bu gidrodinamik bosim qovushoq neft gidrodinamik bosimiga nisbatan kichik holda qoladi. Qovushoq elastik suyuqlikning bunday xususiyati quduqdan neftning kirib kelish tezligini, bu esa nasosning uzatish koeffitsiyentini oshirishi mumkin.

Dissertatsiyaning "**Qovushoq elastik suyuqliklar trubalardagi oqimining gidravlik xususiyatlari**" deb nomlanuvchi to‘rtinchi bobida silindrik trubalarda suyuqlikning nostatsionar harakatidan statsionar harakatga o‘tish jarayonlari qaralgan. 4.1-paragrafda Oldroyd reologik modeli asosida suyuqlik relaksatsiya parametrlarining o‘tish rejimiga ta’siri o‘rganilgan.

$$\rho \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial u}{\partial t} = - \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(1 + \lambda_2 \frac{\partial}{\partial t} \right) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right), \quad (0 < r < R). \quad (33)$$

tenglamaning

$$u(r, 0) = 0, \quad \frac{\partial u(r, 0)}{\partial t} = 0; \quad u(R, t) = 0, \quad u(0, t) < +\infty; \quad - \frac{\partial p}{\partial z} = a_p \eta(t), \quad (34)$$

boshlang‘ich va chegaraviy shartlardagi yechimi olinib, uning asosida suyuqlikning truba ko‘ndalang kesimi bo‘yicha o‘rtacha tezligi aniqlangan:

$$v(t) = \frac{a_p R^2}{8\mu} \left(1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_k t}{2\lambda_1}}}{\alpha_k^4} \left(\cos \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t + \frac{\tilde{\beta}_k}{\gamma_k} \sin \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t \right) \right), \quad (35)$$

bu erda α_k - ushbu $J_0(x) = 0$ tenglamaning musbat ildizlari; $\beta_k = 1 + \lambda_2' \alpha_k^2$,

$$\gamma_k = \sqrt{4\lambda_1' \alpha_k^2 - \beta_k^2}; \quad \tilde{\beta}_k = \beta_k - \lambda_1' \alpha_k^2. \quad \lambda_1' = \frac{v\lambda_1}{R^2}, \quad \lambda_2' = \frac{v\lambda_2}{R^2}, \quad v = \frac{\mu}{\rho}.$$

Bu yerda oldingi bobdagi belgilashlardan foydalanilgan.

Ishda λ_1 va λ_2 parametrlarning silindr trubada nostatsionar holatdan statsionar holatga o'tish jarayoniga ta'siri o'rganilgan va $t \geq 10\lambda_1/\beta_k$ bo'lganda statsionar rejimga o'tishi aniqlandi.

Turli texnologik jarayonlarni o'rganishda suyuqliklar oqimining eng muhim xa-rakteristikasi gidravlik qarshilik koeffitsiyentidir. 4.2-paragrafda trubadagi qovu-shoq elastik suyuqlikning nostatsionar harakatida oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyentini aniqlash usuli taklif qilingan. (35) dan $a_p = \Delta p / L$ deb, quyidagini olish mumkin:

$$\Delta p = \frac{8\nu L \mu}{R^2} \left(1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_k t}{2\lambda_1}}}{\alpha_k^4} \left(\cos \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t + \frac{\tilde{\beta}_k}{\gamma_k} \sin \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t \right) \right)^{-1}. \quad (36)$$

Darsi-Veysbax formulasiga ko'ra:

$$\Delta p = \lambda_* \frac{\rho v^2 L}{2d}, \quad (37)$$

bu erda Δp – trubaning uzunligi L bo'lgan qismidagi bosim pasayishi; λ_* – gidravlik qarshilik koeffitsiyenti, $d = 2R$ – truba diametri.

(36) va (37) dan quyidagini olamiz:

$$\lambda_* = \frac{64}{\text{Re}} k_*, \quad (38)$$

bu erda Re – Reynolds soni, qovushoq elastik va qovushoq suyuqliklar uchun, mos ravishda:

$$k_* = \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_k t}{2\lambda_1}}}{\alpha_k^4} \left(\cos \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t + \frac{\tilde{\beta}_k}{\gamma_k} \sin \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t \right) \right]^{-1}, \quad k_* = \left(1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_k^4} e^{-\frac{\alpha_k^2 \mu}{\rho R^2} t} \right)^{-1}.$$

λ_* vaqtga bog'liq va shuning uchun oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyenti deb ataladi. Suyuqlik relaksatsiya xususiyatlarining oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyentiga ta'sirini o'rganish bo'yicha sonli hisoblashlar bajarildi. Uning natijalari $t = 60$ s va Reynolds sonining ba'zi qiymatlari uchun 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyenti qiymatlari

	$\lambda_1 = \lambda_2 = 0$	$\lambda_1 = 5 s, \lambda_2 = 3 s$	$\lambda_1 = 8 s, \lambda_2 = 4 s$	$\lambda_1 = 15 s, \lambda_2 = 8 s$
k_*	$k_* = 1,0117$	$k_* = 1,0059$	$k_* = 0,9930$	$k_* = 0,9880$
Re	λ_*			
320	0,2023	0,2012	0,1986	0,1962
720	0,0899	0,0894	0,0883	0,0872
1120	0,0578	0,0575	0,0567	0,0560
1520	0,0426	0,0424	0,0418	0,0413
1920	0,0337	0,0335	0,0331	0,0327
2320	0,0277	0,0276	0,0274	0,0271

Jadvaldan ko'rinadiki, suyuqlikning relaksatsiya xususiyatlari, asosan, oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi. Qovushoq-elastik

suyuqlikning uzun silindrik trubadagi nostatsionar laminar harakatida o'tish jarayoni qovushoq suyuqliknikidan sezilarli darajada farq qiladi. O'tish rejimida gidravlik qarshilik koeffitsiyenti qiymati qovushoq va qovushoq elastik suyuqlik uchun deyarli bir xil bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan k_* miqdorning qiymati 1 ga intiladi, bu esa ma'lum $\lambda_* = 64/Re$ formulaga mos keladi.

X U L O S A

“Qovushoq va qovushoq-elastik suyuqliklarning neft chiqarish qudug'ida nostatsionar harakati” mavzusidagi dissertatsiya ishining natijalari asosida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Suyuqlikning ekspluatatsiya qudug'ida nasosning silindri va shtanglar kolonnasi orasidagi nostatsionar harakati masalasi yechilgan.

2. Ekspluatatsiya qudug'idagi halqasimon bo'shliq yassi va doiraviy truba shaklida modellashtirilgan hollar uchun plunjerga neftning gidrodinamik bosimini aniqlash masalalarning yangi yechimlari olingan.

3. Qovushoq va qovushoq-elastik suyuqlikning plunjerga gidrodinamik bosimini aniqlashga imkon beruvchi yangi formulalar olingan.

4. Nonyuton neft relaksatsiya va kechikish vaqtlarining plunjer harakati jarayonida hosil bo'lgan gidrodinamik bosimga bo'lgan ta'siri aniqlangan.

5. Sonli tajribalar yordamida qovushoq elastik neftlar chiqadigan quduqlarni ishlatishda suyuqlikning relaksatsiya xususiyatlarini hisobga olish zarurligi ko'rsatilgan. Bu xususiyatlar plunjer tezlashishi paytida gidrodinamik bosimning pasayishiga, sekinlashuvi paytida esa oshishiga olib keladi.

6. Neftning qovushoq-elastik xususiyatlari gidrodinamik bosimning maksimumga erishishini kechiktirishi aniqlangan. Ushbu xususiyat kuchayishi bilan, ayniqsa plunjerning to'xtashi paytida, bosim profillari orasidagi farq ortadi.

7. Agar plunjerning yuqoriga harakat tezligi keskin o'zgarsa, suyuqlikning gidrodinamik bosimi impuls xarakteriga ega bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan.

8. Plunjerning tezligi o'zgarmas bo'lgan vaqt oralig'ida gidrodinamik bosim faqat qovushoq suyuqlik uchun o'zgarmas bo'lishi, qovushoq elastik suyuqlik uchun esa o'zgarmas bo'lmasligi mumkinligi aniqlangan.

9. Qovushoq elastik suyuqlikning uzun silindrik trubadagi nostatsionar laminar harakatidan statsionar harakatga o'tish jarayoni qovushoq suyuqliknikidan sezilarli darajada farq qilishi aniqlangan. Nyuton suyuqligi uchun statsionar rejim tezroq o'tadi, qovushoq-elastik suyuqlik uchun bu vaqt bunchalik kichik emas. Relaksatsiya va kechikish vaqtlari o'tish jarayoniga turli xil ta'sir ko'rsatadi.

10. Oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyenti uchun yangi formula taklif qilingan.

11. Silindrik trubadagi suyuqlikning nostatsionar laminar harakatida suyuqlik relaksatsiya xususiyatlarining oniy gidravlik qarshilik koeffitsiyentiga ta'siri aniqlangan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ
САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИМЕНИ ШАРАФА РАШИДОВА**

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА**

ГАЙБУЛОВ ЮЛДОШ ШЕРМОНОВИЧ

**НЕСТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВЯЗКОЙ И ВЯЗКОУПРУГОЙ
ЖИДКОСТЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ**

01.02.05 – Механика жидкости и газа

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Самарканд – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2024.2PhD/FM1079.

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном архитектурно-строительном университете имени Мирзо Улугбека.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.samdu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net/uz).

Научный руководитель:

Акилов Жахон

доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Нормуродов Чори Бегалиевич

доктор физико-математических наук, профессор

Бурнашев Владимир Фидратович

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Институт механики и сейсмостойкости

**сооружений имени М.Т.Уразбаева сооружений
АН РУз**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2025 года в ___ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 при Самаркандском государственном университете имени Шарафа Рашидова. (Адрес: 104000, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (+99866) 239-11-40, факс: (+99866) 239-11-40, e-mail: devonxona@samdu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета имени Шарафа Рашидова (регистрационный номер _____). Адрес: 140104, Самарканд, Университетский бульвар, 15. (+99866) 239-11-40.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2025 года.

(реестр протокола рассылки № ___ от «___» _____ 2025 года.)

Р. И. Халмурадов

Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

У.А.Нишонов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор философии по физико-математических наук

Б.Х.Хужаёров

Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор физико-математических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире одной из основных тенденций развития нефтяной промышленности в настоящее время является увеличение доли добычи неньютоновских нефтей. На месторождениях, содержащих неньютоновские нефти, важной задачей является повышение эффективности эксплуатации скважин с учетом особенностей влияния неньютоновских характеристик на ряд параметров работы скважинного плунжерного насоса. Накопленный опыт показывает, что реологические свойства неньютоновских нефтей значительно влияют на процесс эксплуатации скважин.

На сегодняшний день в мире ведутся научные исследования по повышению эффективности эксплуатации скважин, продуцирующие неньютоновские нефти и трубопроводному транспорту высоковязких вязкоупругих нефтей. При этом особое значение имеет математическое моделирование процесса движения высоковязких неньютоновских нефтей в скважине между колонной штанг и цилиндром глубинного насоса. В связи с этим, особое внимание уделяется разработке гидродинамических методов определения полного давления на плунжер путем изучения нестационарного движения неньютоновских нефтей в скважине.

Нефти ряда месторождений Узбекистана содержат большое количество асфальтено-смолистых веществ и являются неньютоновскими вязкоупругими жидкостями. Характерной особенностью вязкоупругих жидкостей является релаксационные явления. Релаксационные свойства тяжелых высоковязких нефтей значительно влияют на гидродинамические характеристики потока при работе плунжерного лифта. Поэтому при эксплуатации скважин глубинными штанговыми насосами с плунжерным лифтом, содержащие высоковязкие неньютоновские нефти необходимо будет учитывать их релаксационные свойства. В стратегии развития Нового Узбекистана определены важные задачи по «обеспечению бесперебойного снабжения нефтепродуктами отраслей экономики и населения»². Исходя из этих задач, разработка гидродинамических основ повышения эффективности работ насосных установок и показателей эксплуатации скважин, продуцирующие неньютоновские нефти имеет важное научное и практическое значение.

В настоящее время в нашей Республике проводятся научные и практические работы по совершенствованию технологии добычи высоковязких и тяжелых нефтей. При этом особое внимание уделяется повышению энергоэффективности и использованию ресурсов в отраслях промышленности. В связи с этим, разработке гидродинамических методов определения полного давления на плунжер путем изучения нестационарного движения неньютоновских нефтей в эксплуатационной скважине.

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года ПП-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

В стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы поставлены задачи ускоренного развития национальной экономики и обеспечения высоких темпов ее роста.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28.01.2022 - «Стратегия развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № ПП-4388 от 09.07.2019 – «О мерах по стабильному обеспечению экономики и населения энергоресурсами, финансовому оздоровлению и совершенствованию системы управления нефтегазовой отраслю» и ПП-3107 от 30 июня 2017 года «Об усовершенствовании системы управления нефтегазодобывающей промышленностью», а также в других нормативно-правовых документах, принятых по развитию нефтегазовой отрасли.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии в Республике Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика».

Степень изученности проблемы. Научные исследования реологии неньютоновских систем и движения неньютоновских жидкостей в трубах рассматривались ведущими учеными мира: G. Astarista, A. Mahmood, A.S.R.Duarte, Yu.Andrienko, C. Fetecau, R.P.Chhabra, A.Dennis, Fei Jiang, I.Fridtjov, R.Hilfer, A.Madurange, N. D. Waters, V. Mathur, T.Wenchang, A.X.Мирзаджанзаде, П.М.Огибалов, Б.А.Юфин, Р.С. Гурбанов, И.М. Аметов и др. Гидродинамическим исследованиям движения высоковязких вязкоупругих нефтей в трубах и пористой среде посвящены работы Уразакова К.Р., Тимашева Э.О., Топольникова А.С., Totanova, A.S., Wang S., Takacs G., Langbauer C., Б.Х.Хужаёрова, Ж.А.Акилова, М.С.ДЖаббарова, В.Ф. Бурнашева, Ж.М.Махмудова и др. Вопросам добычи аномальных нефтей по месторождениям Узбекистана посвящены работы Б.Х.Хужаёрова, А.Х.Агзамова, Э.К.Ирматова, Ж.А.Акилова и других.

Однако, до настоящего времени не в полной мере проведены гидродинамические исследования движения нефтей в эксплуатационной скважине с учетом их релаксационных свойств.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Самаркандского государственного университета имени Мирза Улугбека С-2018 «Проблемы механики жидкости и деформируемых твердых тел» (2018-2023 гг).

Целью исследования является аналитическое исследование нестационарного движения вязкой и вязкоупругой жидкости в кольцевом пространстве между колонной штанг и цилиндром глубинного насоса и определение полного гидродинамического давления на плунжер при его движении вверх.

Задачи исследования:

составление математической модели неустановившегося движения нефти при эксплуатации месторождений с вязкими и вязкоупругими нефтями с использованием плунжерного штангового глубинного насоса;

исследование влияния времени релаксации на давление на плунжер при нестационарном движении вязких и вязкоупругих нефтей в эксплуатационной скважине;

численное исследование совместного влияния времени релаксации и времени запаздывания вязкоупругой нефти на гидродинамическое давление на плунжер;

исследование процесса перехода неустановившегося движения вязкоупругой жидкости в стационарное, определение коэффициента гидравлического сопротивления.

Объект исследования. Объектом исследования является эксплуатационная скважина, добывающая ньютоновские и неньютоновские нефти.

Методы исследования. При решении поставленных задач использованы гидродинамические методы исследования, методы математической физики и вычислительного эксперимента.

Предмет исследования. Гидродинамический анализ процессов нестационарного движения вязкой и вязкоупругой нефти при эксплуатации скважины плунжерным глубинным насосом.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

получены решения задач о нестационарных течениях ньютоновских и релаксирующих жидкостей в плоских трубах и определено полное давление нефти на плунжер при движении ее в области между цилиндром и колонной штанг глубинного насоса;

получены решения задач нестационарного движения вязкой и вязкоупругой жидкости в кольцевом пространстве между колонной штанг и цилиндром глубинного насоса с учетом релаксации, запаздывания и других характеристик течения;

получены новые формулы для полного давления нефти на плунжер при эксплуатации скважин, добывающих неньютоновские нефти;

предложена методика определения продолжительности переходного процесса и коэффициента гидравлического сопротивления при нестационарном движении вязкоупругой жидкости в цилиндрической трубе.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

составлены математические модели гидродинамических процессов движения неравновесных жидкостей в эксплуатационной скважине между колонной штанг и цилиндром глубинного насоса;

определено полное давление нефти на плунжер при его движении в цилиндре глубинного насоса, заполненной высоковязкой нефтью, с учетом релаксации и запаздывания;

дана методика определения влияния релаксационных свойств неньютоновских жидкостей на переход нестационарного течения на режим стационарного течения;

дана методика определения коэффициента гидравлического сопротивления при нестационарном ламинарном движении вязкоупругой жидкости в цилиндрической трубе.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается использованием основополагающих положений механики сплошных сред, классической гидродинамики и реологии неньютоновских жидкостей, уравнений математической физики, а также применением современных численных методов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. В целом, задачи и результаты предлагаемой работы являются развитием нового научно-технического направления – моделирования процессов эксплуатации скважин на основе механико-математических исследований течения неньютоновских жидкостей с релаксационными свойствами. Результаты теоретических исследований позволяют по новому интерпретировать течения высоковязких неньютоновских нефтей в эксплуатационной скважине. Полученные результаты исследований могут быть использованы в проектировании и анализе технологических процессов эксплуатации глубинно-насосных скважин.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов научных исследований нестационарного движения неньютоновских нефтей в эксплуатационной скважине штанговыми глубинными насосами осуществлено внедрение. Рекомендации по эксплуатации скважин, добывающих высоковязкие нефти, позволили увеличить скорость движения плунжера с целью повышения коэффициента подачи насоса. Полученные результаты исследования могут быть использованы для управления и контроля работы эксплуатационных скважин, продуцирующих неньютоновские нефти. Результаты работы были использованы в управлении АО «Коканд нефтьгазпармалаш». За счет увеличения скорости движения плунжера коэффициент подачи достигнуто с 0,26 до 0,33 (Справка АО «Коканд нефтьгазпармалаш» 15 октября 2023 года, Министерства энергетики Республики Узбекистан 23 августа 2024 г. Информация № 04-05-6708).

Апробации результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждены на 5 международных и 4 республиканских научно-технических конференциях.

Публикации результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 21 научных работ, из них 9 входит в перечень научных изданий, предложенных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации результатов диссертационных работ, в том числе, 5 опубликовано в зарубежных и 4 в Республиканских научных журналах, а также получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации состоит из 97 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, приведен обзор научных исследований по теме диссертации и степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, выявлен объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о внедрении результатов исследования, о опубликованных работах и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной «Обзор и оценка работ по исследованию движения неньютоновских жидкостей в трубах и применение полученных результатов в добыче нефти», приводится обзор и анализ исследований по проблемам моделирования гидродинамического давления при нестационарном движении жидкости в скважине.

В параграфе 1.1 «Современное состояние научных исследований по применению неньютоновских жидкостей в нефтедобыче» даны сведения о реологических моделях ньютоновских и неньютоновских жидкостей, рассматривается реология неньютоновских нефтей. Из проведенного обзора работ следует, что к настоящему времени отсутствуют методы количественной оценки полного давления на плунжер при глубинно-насосной эксплуатации скважин, добывающих высоковязкие тяжелые нефти, не разработаны также достаточно точные гидродинамические модели движения вязкоупругой жидкости в зазоре между цилиндром и колонной штанг глубинного насоса, на основе которых появляется возможность регулирования технологических параметров глубинного насоса.

В параграфе 1.2 приводятся основные уравнения движения жидкости в трубах и кольцевом пространстве скважины. В наиболее общем виде математическая модель нестационарного движения неньютоновских жидкостей сложна, что использование ее, несмотря на большие возможности современных компьютеров, при решении прикладных задач затруднено. Принимая во внимание свойства конкретных сред, и учитывая особенности изучаемого нестационарного процесса, можно упростить модель, не нарушая в определенных пределах адекватность результатов расчета экспериментальным данным. Одно из обычно принимаемых допущений состоит в том, что вязкость среды постоянна, а среда считается несжимаемой. Большинство течений, встречающиеся в практике бурения и эксплуатации нефтяных и газовых скважин можно рассматривать как одномерные в том смысле, что в соответствующей системе декартовой или цилиндрической координат, существует только одна составляющая скорости. Такое предположение оправдано во многих случаях и дает необходимую точность в расчетах. Мы будем рассматривать, в основном, течения в круглых трубах, кольцевых, концентрических каналах или между параллельными пластинами.

Уравнение движения жидкости для одномерных осевых течений в декартовых координатах при отсутствии массовых сил можно представить в виде

$$\rho \frac{\partial v(y,t)}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau(y,t)}{\partial y}, \quad (1)$$

а для осесимметричных течений в цилиндрических координатах:

$$\rho \frac{\partial v(r,t)}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r\tau)}{\partial r}, \quad (2)$$

где t – время; x и y – декартовы координаты; r – радиальная координата; v – скорость жидкости; ρ – плотность жидкости; τ – касательное напряжение сдвига; p – давление.

Приведенные уравнения движения вместе с уравнениями неразрывности образуют незамкнутую систему. Недостающие уравнения устанавливаются на основе физических гипотез, выражающих экспериментально обнаруженные свойства сплошных сред. Для вязких жидкостей такой фундаментальной гипотезой служит закон вязкого трения Ньютона

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial r}, \quad (3)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости.

Нефти некоторых месторождений, содержащее большое количество смолистых веществ, имеют неравновесный характер течения и обладают релаксационными свойствами. Для таких сред Максвеллом предложено реологическое уравнение состояния в виде

$$\tau + \lambda \frac{\partial \tau}{\partial t} = \mu \frac{\partial v}{\partial r}, \quad (4)$$

где λ – время релаксации. Олдройдом предложено более общее уравнение:

$$\tau + \lambda_1 \frac{\partial \tau}{\partial t} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial r} + \lambda_2 \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial t} \right), \quad (5)$$

где λ_1 – время релаксации, λ_2 – время запаздывания.

Уравнения движения (1), (2) и уравнения состояния (3)-(5) образуют полную систему.

Во второй главе диссертации «**Нестационарное движение вязкой и вязкоупругой нефти в плоской трубе**» рассматривается нестационарное движение жидкости (нефти) в подъемной трубе при эксплуатации нефтяных скважин глубинными насосами. Задача состоит в определении гидродинамического давления нефти на плунжер при ходе его вверх.

Полное давление нефти на плунжер определяется по формуле:

$$p(t) = \Delta p(t) + (L - h)\rho g + p_0, \quad (6)$$

где $p(t)$ – полное давление при нестационарном ламинарном движении жидкости в подъемной трубе кольцевого сечения; $\Delta p(t)$ – гидродинамическое давление; p_0 – давление на устье скважины; L – высота поднимаемого столба

жидкости; h – глубина погружения глубинного насоса; g – ускорение свободного падения.

В практике эксплуатации нефтяных скважин глубинными насосами в большинстве случаев выполняется соотношение $\alpha = r_2 / R > 0.2$, где R – радиус подъемной трубы; r_2 – радиус штанг. Для такого случая радиальный зазор между трубой и колонной насосных штанг рассматривают как плоскую трубу.

В параграфе 2.1 рассмотрена плоская задача определения давления нефти на плунжер. В соответствии с (1) и (3)

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + q(t), \quad (0 < y < l), \quad (7)$$

где v – скорость движения жидкости в подъемной трубе; ρ, μ – плотность и динамическая вязкость; $l = R - r_2$; $q(t) = -\partial p / \partial z$ – перепад давления на единицу длины трубы. Считается, что $q(t) \approx \Delta p / L$.

Начальное и граничные условия для (7) принимаются в виде.:

$$v(y, 0) = 0, \quad (0 \leq y \leq l); \quad v(0, t) = v_p(t), \quad v(l, t) = 0, \quad (t > 0), \quad (8)$$

где $v_p(t)$ – скорость плунжера. Часто, для периода одного полного цикла T движения плунжера используется формула

$$v_p(t) = \frac{24v_m}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n^3} \sin \frac{2\pi n t}{T}, \quad (9)$$

где v_m – средняя скорость движения точки подвески колонны штанг.

Для определения гидродинамического давления используем баланс расхода жидкости

$$Q = \pi(r_1^2 - r_2^2)v_p(t) = 2\pi \int_{r_2}^R r v(r, t) dr,$$

который с помощью замены переменной $y = r - r_2$ принимает вид

$$\pi(r_1^2 - r_2^2)v_p(t) = 2\pi \int_0^l (y + r_2)v(y, t) dy, \quad (10)$$

где r_1 – радиус плунжера; Q – расход жидкости.

(6)-(10) выражают математическую модель рассматриваемого процесса.

Введем безразмерные величины:

$$t' = \frac{U}{l}t, \quad x = \frac{y}{l}, \quad r_1' = \frac{r_1}{l}, \quad r_2' = \frac{r_2}{l}, \quad T' = \frac{U}{l}T, \quad v'(t') = \frac{v(t)}{U}, \quad v_p'(t') = \frac{v_p(t)}{U}, \quad a_p'(t') = \frac{l}{U^2}a_p(t),$$

где U – некоторая характерная скорость.

В безразмерных переменных (6)-(10) можно записать в виде

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v'}{\partial x^2} + q'(t'), \quad (0 < x < 1)$$

$$v'(x, 0) = 0, \quad (0 \leq x \leq 1); \quad v'(0, t') = v_p'(t'), \quad v'(1, t') = 0, \quad (t' > 0);$$

$$\frac{r_1'^2 - r_2'^2}{2} v_p'(t') = \int_0^1 (x + r_2') v'(x, t') dx,$$

где $Re = \frac{U\rho l}{\mu}$, $q'(t') = \frac{q(t)l}{\rho U^2}$.

Решая задачу интегральным преобразованием Лапласа, для перепада давления получена следующая формула

$$\bar{q}(t') = \frac{4}{Re(1 + 2r_2')} \left\{ f_0 v_p'(t') + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\int_0^{t'} e^{-\bar{a}_k^2 (t'-\xi)} a_p'(\xi) d\xi + \frac{w_k \varphi_k}{\psi_k} \int_0^{t'} e^{-\bar{w}_k^2 (t'-\xi)} a_p'(\xi) d\xi \right] \right\}, \quad (11)$$

где $a_k = 2\pi k$; ($k = 1, 2, \dots$) – положительные корни уравнения $\sin(x/2) = 0$; $w_k = 2z_k$ ($k = 1, 2, \dots$); z_k – положительные корни уравнения $tgz = z$; $\bar{a}_k = a_k / \sqrt{Re}$, $\bar{w}_k = w_k / \sqrt{Re}$. В соответствии с (6) полное давление:

$$p(t) = \frac{\rho U^2 L}{l} q'(t') + (L - h)\rho g + p_0. \quad (12)$$

С помощью полученных формул исследовано влияние изменения вязкости и плотности нефти на гидродинамическое давление на плунжер.

В параграфе 2.2 рассматривается влияние времени релаксации на гидродинамическое давление жидкости в плоской трубе.

Для решения задачи в безразмерных величинах используется уравнение

$$\left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'}\right) \frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 v'}{\partial x^2} + \left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'}\right) \bar{q}(t'),$$

с условиями

$$v'(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial v'(x, 0)}{\partial t'} = 0, \quad (0 \leq x \leq 1); \quad v'(0, t') = v_p'(t'), \quad v'(1, t') = 0. \quad (13)$$

$$\frac{r_1'^2 - r_2'^2}{2} v_p'(t') = \int_0^1 (x + r_2') v'(x, t') dx,$$

где $\lambda' = \lambda U / l$. Используя преобразование Лапласа для перепада давления получена следующая формула:

$$q'(t') = \frac{4}{Re(1 + 2r_2')} \cdot \left\{ f_0 v_p'(t') - f_0 \int_0^{t'} a_p'(\xi) e^{-2a(t'-\xi)} d\xi + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{t'} \left(\frac{\sin a\beta_k \xi}{\beta_k} + \frac{\varphi_k w_k \sin ag_k \xi}{\psi_k g_k} \right) a_p'(t'-\xi) e^{-a\xi} d\xi \right\}, \quad (14)$$

где $a = 1/(2\lambda')$, $\beta_k = \sqrt{1 - 4\lambda' \bar{a}_k^2}$, $g_k = \sqrt{1 - 4\lambda' \bar{w}_k^2}$.

Подставляя (14) в (12) определяется полное давление нефти на плунжер.

С помощью полученных формул проведены численные эксперименты, используя следующие исходные данные: $p_0 = 10^5$ Па, $L = 1000$ м, $h = 100$ м, $v_0 = 0,60$ м/с, $T = 20$ с, $R = 0,030$ м, $r_1 = 0,02988$ м, $r_2 = 0,010$ м.

На рис. 1 приведены графики влияния времени релаксации нефти на гидродинамическое давление на плунжер при его подъеме, $\lambda = 0$ соответствует для вязкой жидкости

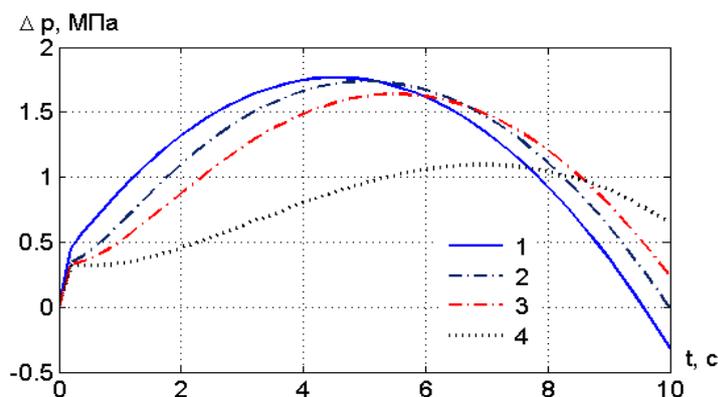


Рис. 1. Влияние времени релаксации нефти на гидродинамическое давление на плунжер при его подъеме.

1 – $\lambda = 0$; 2 – $\lambda = 0,5$ с; 3 – $\lambda = 1$ с; 4 – $\lambda = 4$ с. $\rho = 920$ кг/м³; $\mu = 0,10$ Па·с

Графики показывают, что в начале и остановке подъема плунжера гидродинамическое давление имеет скачок. Относительно ньютоновской жидкости, релаксационные свойства нефти приводят при ускорении к уменьшению, а при замедлении - к увеличению. При этом максимум смещается вправо по оси времени.

Расчеты для значений параметров $\lambda = 0, 3, 8$ с; а. $\rho = 750$ кг/м³, $\mu = 0,047$ Па·с; б. $\rho = 930$ кг/м³; $\mu = 0,2$ Па·с. показывают, что в начале хода (при разгоне) плунжера вверх давление повышается. Это обусловлено влиянием инерционных сил, возникающих в системе штанга-труба-жидкость в процессе работы насоса. Вязкоупругие свойства нефти в процессе разгоне приводят к отставанию значений полного давления относительно вязкой жидкости, а при замедлении подъема и в момент торможения спуска – наоборот, к опережению. Усиление релаксационных свойств приводят к возрастанию разницы между профилями давления.

В параграфе 2.3 рассматривается влияние релаксации напряжения и запаздывания скорости сдвига на гидродинамическое давление жидкости в плоской трубе. Процесс описывается уравнениями (5), (7), которых можно привести к

$$\rho \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \left(1 + \lambda_2 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) q(t), \quad (0 < y < l), \quad (15)$$

Уравнение (15) решается при условии (10), начальных и граничных условиях

$$v(y, 0) = 0, \quad \frac{\partial v(y, 0)}{\partial t} = 0, \quad (0 \leq y \leq l); \quad v(0, t) = v_p(t), \quad v(1, t) = 0. \quad (16)$$

Для безразмерного перепада давления получена формула

$$q'(t') = \frac{4}{\text{Re} \cdot (1 + 2r_2')} \left\{ f_0 \int_0^{t'} a'_p(\xi) (1 - e^{-2a(t'-\xi)} + 2a\lambda_2' e^{-2a(t'-\xi)}) d\xi + \right. \\ \left. + 2a \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{t'} a'_p(\xi) \left[F(\alpha_k, \beta_k, t'-\xi) + \frac{w_k \phi_k}{\psi_k} F(\alpha_{1k}, \beta_{1k}, t'-\xi) \right] d\xi \right\}, \quad (17)$$

где

$$a = \frac{1}{2\lambda_1'}, \alpha_k = 1 + \lambda_2' \bar{a}_k^2, \beta_k = \sqrt{\alpha_k^2 - 4\lambda_1' \bar{a}_k^2}; \alpha_{1k} = 1 + \lambda_2' \bar{w}_k^2, \beta_{1k} = \sqrt{\alpha_{1k}^2 - 4\lambda_1' \bar{w}_k^2}, \\ \lambda_1' = \frac{U}{l} \lambda_1, \lambda_2' = \frac{U}{l} \lambda_2, F(A, B, t') = \left[\lambda_2' chaBt' + (1 - \lambda_2' aA) shaBt' / (aB) \right] e^{-aAt'}.$$

На рис. 2 приведены графики влияния релаксационных свойств нефти на полное давление на плунжер при $\mu = 0.10 \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\rho = 900 \text{ кг} / \text{м}^3$. Графики показывают, что вязкоупругие свойства нефти в процессе разгона плунжера приводят к отставанию значений полного давления относительно вязкой жидкости, а при замедлении подъема и в момент торможения – наоборот, к опережению. С увеличением параметров релаксации разница значений давления вязкой и вязкоупругой жидкости возрастает.

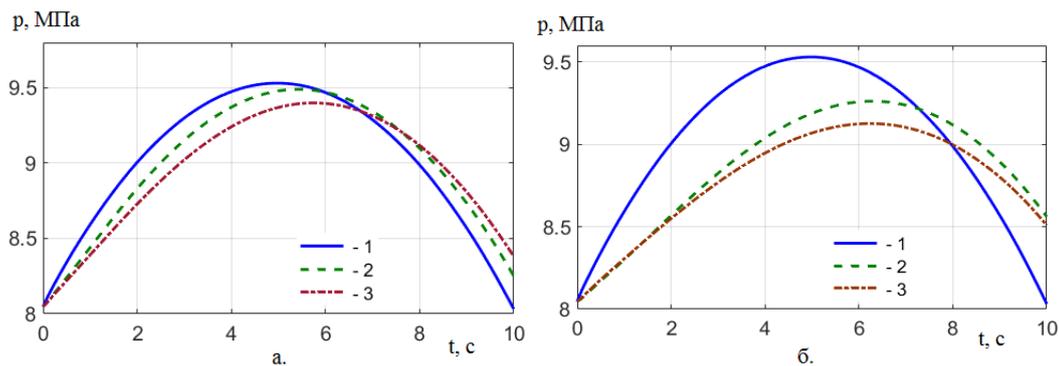


Рис. 2. Влияние релаксационных свойств нефти на полное давление на плунжер при его подъеме. $\mu = 0.10 \text{ Па} \cdot \text{с}$, $\rho = 900 \text{ кг} / \text{м}^3$.

- а. 1 – $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$; 2 – $\lambda_1 = 1 \text{ с}$, $\lambda_2 = 0.5 \text{ с}$; 3 – $\lambda_1 = 2 \text{ с}$, $\lambda_2 = 1 \text{ с}$;
б. 1 – $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$; 2 – $\lambda_1 = 3 \text{ с}$, $\lambda_2 = 1 \text{ с}$; 3 – $\lambda_1 = 5 \text{ с}$, $\lambda_2 = 2 \text{ с}$.

Это заметно проявляется при разгоне(подъеме) и в момент торможения плунжера. С ростом разности $\lambda_1 - \lambda_2$ влияние вязкоупругих свойств проявляется более выражено.

Допущение о замене кольцевого зазора между подъемной трубой и колонной штанг на плоскую трубу не всегда оправдано и ограничивает применение полученных формул в практических расчетах.

В третьей главе, названной «Гидродинамическое давление жидкости на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин глубинными насосами», задача определения давления нефти на плунжер рассматривается без упомянутого допущения.

В параграфе 3.1 решена задача об определении гидродинамического давления вязкой жидкости на плунжер при ламинарном нестационарном

движении в кольцевом пространстве между подъемной трубой и колонной штанг. Задача выражается уравнением

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + q(t), \quad (r_2 < r < R), \quad (18)$$

с начальными и граничными условиями

$$v(r, 0) = 0, \quad (r_2 \leq r \leq R); \quad v(r_2, t) = v_p(t), \quad v(R, t) = 0, \quad (t > 0), \quad (19)$$

и условием баланса расхода жидкости

$$\pi(r_1^2 - r_2^2)v_p(t) = 2\pi \int_{r_2}^R rv(r, t)dr, \quad (20)$$

где $q(t) = -\partial p / \partial z \approx \Delta p / L$. Решение задачи, полученное с помощью преобразования Лапласа и метода разделения переменных Фурье, имеет вид

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2}{1 - \alpha^2} a_p'(t') + \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} v_p'(t') - \frac{2}{\text{Re}} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{\psi_{1n}} \cdot \int_0^{t'} a_p'(\xi) e^{-s_n(t'-\xi)} d\xi, \quad (21)$$

где $t' = \frac{U}{R}t$, $r' = \frac{r}{R}$, $v_p'(t') = \frac{v_p(t)}{U}$, $q'(t') = \frac{R}{\rho U^2 L} q(t)$, $\text{Re} = \rho R U / \mu$,

$$\alpha_* = \sqrt{\alpha_1^2 - \alpha^2}, \quad \alpha = \frac{r_2}{R}, \quad \alpha_1 = \frac{r_1}{R},$$

$$d_1(x) = J_0(\alpha x) - J_0(x); \quad d_2(x) = Y_0(\alpha x) - Y_0(x); \quad d_3(x) = \alpha J_1(\alpha x) - J_1(x);$$

$$d_4(x) = \alpha Y_1(\alpha x) - Y_1(x); \quad d_5(x) = \alpha^2 J_0(\alpha x) - J_0(x); \quad d_6(x) = \alpha^2 Y_0(\alpha x) - Y_0(x);$$

$$d_7(x) = J_0(x)Y_1(\alpha x) - J_1(\alpha x)Y_0(x); \quad d_8(x) = J_1(x)Y_0(\alpha x) - J_0(\alpha x)Y_1(x).$$

$$D_\alpha(x) = J_0(\alpha x)Y_0(x) - J_0(x)Y_0(\alpha x);$$

$$\varphi(x) = \frac{1 - \alpha^2}{4} x D_\alpha(x) + Y_0(x)d_3(x) - J_0(x)d_4(x); \quad \psi(x) = \frac{1 - \alpha^2}{2} x D_\alpha(x) - d_2(x)d_3(x) + d_1(x)d_4(x);$$

$$\psi_{1n} = (1 - \alpha^2)D_\alpha(\beta_n) + \frac{1 - \alpha^2}{2} \beta_n [\alpha d_7(\beta_n) + d_8(\beta_n)] + d_1(\beta_n)d_6(\beta_n) - d_2(\beta_n)d_5(\beta_n),$$

$\varphi_n = \varphi(\beta_n)$, β_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) - положительные корни уравнения

$$\frac{1 - \alpha^2}{2} \beta D_\alpha(\beta) - d_2(\beta)d_3(\beta) + d_1(\beta)d_4(\beta) = 0;$$

$J_0(x)$, $Y_0(x)$, $J_1(x)$, $Y_1(x)$ - функции Бесселя первого и второго рода нулевого и первого порядков. Полное давления определяется подставляя (21) в формулу

$$p(t) = \frac{\mu U L}{R^2} q'(t') + (L - h)\rho g + p_0. \quad (22)$$

Произведены численные расчеты по формуле (22), проведено сравнение значений полного давления нефти, рассчитанные по формуле (22) с решением (12) полученной в параграфе 2.1, где кольцевая область между подъемной трубой и штангой рассматривалась как плоская труба. Графики давлений для $\alpha = 0,40$ показаны на рис. 3. Видно, что значения полного давления, вычисленные по формуле для плоской трубы дают, в основном, заниженные

значения. При относительно малых значениях параметра $\alpha = r_2 / R$ значения давления на плунжер, рассчитанные по формулам для круглой и плоской трубы существенно отличаются. Для тяжелой нефти, при относительно больших значениях параметра α , вычисленные значения давления по обеим формулам мало отличаются.

В параграфе 3.2 рассмотрено моделирование влияния времени релаксации на гидродинамическое давление на плунжер. Математическая модель процесса состоит из уравнений (2), (4), (20) и условий

$$v(r, 0) = 0, \frac{\partial v(r, 0)}{\partial t} = 0, \quad (r_2 \leq r \leq R); \quad v(r_2, t) = v_p(t), \quad v(R, t) = 0, \quad (t > 0).$$

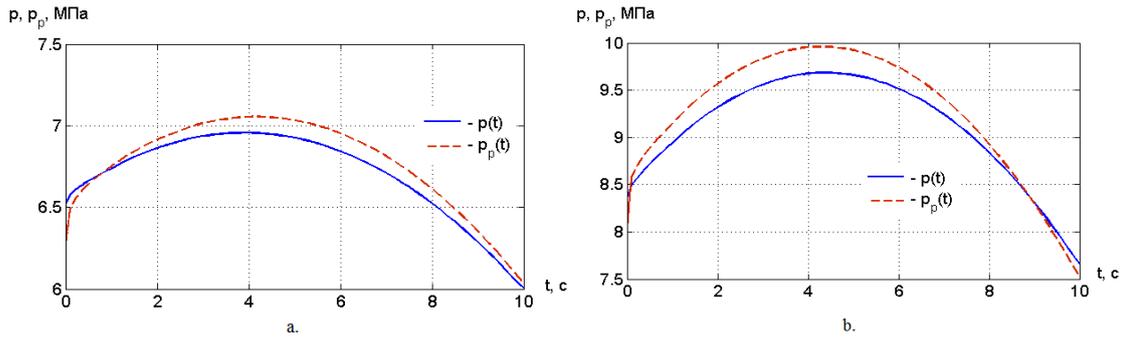


Рис. 3. Графики зависимости полного давления от времени, построенные по формулам для кольцевой ($p(t)$) и плоской ($p_p(t)$) трубы. $\alpha = 0.40$.

$$a. \mu = 0,04 \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad \rho = 700 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$b. \mu = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad \rho = 900 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Из (4) для касательного напряжения при $\lambda > 0$ и нулевом начальном условии $\tau(r, 0) = 0$, получим

$$\tau(r, t) = \frac{\mu}{\lambda} \int_0^t \frac{\partial v(r, \xi)}{\partial r} e^{-\frac{t-\xi}{\lambda}} d\xi.$$

Наряду с ранее введенными, введем следующие безразмерные величины: $\lambda' = \lambda U / R$, $c = 1 / \lambda'$, и в безразмерных величинах имеем

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{c}{\text{Re}} \frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial}{\partial r'} \int_0^{t'} v'(r', \xi) e^{-c(t'-\xi)} d\xi \right) + q'(t'), \quad (\alpha < r' < 1). \quad (23)$$

$$\left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'} \right) \frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial v'}{\partial r'} \right) \right] + \left(1 + \lambda' \frac{\partial}{\partial t'} \right) q'(t'), \quad (\alpha < r' < 1). \quad (24)$$

$$v'(r', 0) = 0, \quad \frac{dv'(r', 0)}{dt'} = 0, \quad (\alpha \leq r' \leq 1); \quad v'(\alpha, t') = v'_p(t'), \quad v'(1, t') = 0, \quad (t' > 0). \quad (25)$$

$$\int_{\alpha}^1 r' v'(r', t') dr' = \frac{\alpha_*^2}{2} v'_p(t'), \quad (26)$$

Решение задачи (23)-(26), полученное с помощью преобразования Лапласа и метода Фурье и имеет вид

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2 v'_p(t)}{1 - \alpha^2} + \frac{4cA_\alpha}{\text{Re}} \int_0^{t'} e^{-c(t'-\xi)} v'_p(\xi) d\xi - \frac{4}{\text{Re}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{b_n \psi_{1n}} \int_0^{t'} v'_p(\xi) e^{-a(t'-\xi)} \sin ab_n(t'-\xi) d\xi. \quad (27)$$

где $a = 1/(2\lambda')$, $b_n = \sqrt{4\lambda'x_n^2 - 1}$, $x_n = \beta_n / \sqrt{\text{Re}}$.

Полное давление на плунжер найдем подставляя (27) в (22). Проведены численные эксперименты при исходных данных $L = 1000 \text{ м}$, $h = 100 \text{ м}$, $U = v_m = 0,60 \text{ м/с}$; $\lambda = 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5 \text{ с}$; $\mu = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

На рис. 4 показаны графики влияния времени релаксации на полное давление на плунжер при его движении вверх. Видно, что релаксация давления нефти может привести как к уменьшению, так и к увеличению давления на плунжер. При этом наибольшая разница значений наблюдается в точках максимума и в момент остановки подъема. Вязкоупругие свойства жидкости приводят к запаздыванию достижения максимума давления.

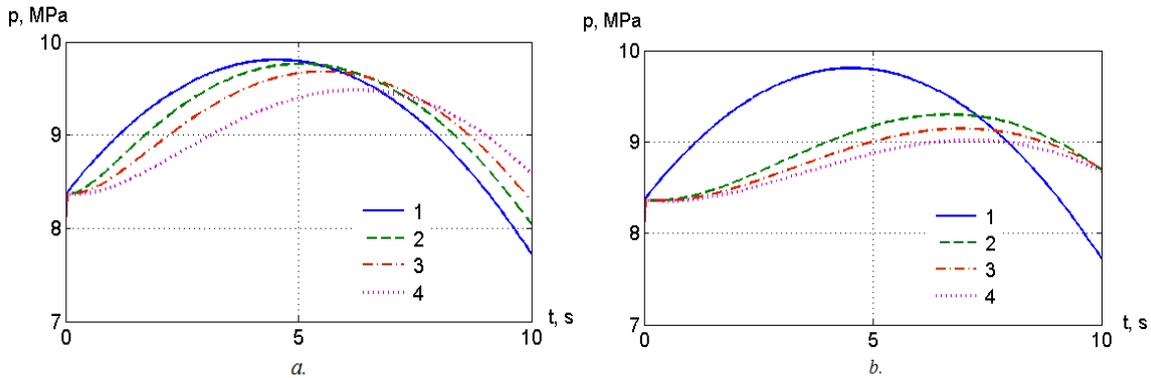


Рис. 4. Влияние времени релаксации на полное давление нефти на плунжер при $\mu = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

а. 1 – $\lambda = 0$; 2 – $\lambda = 0,5 \text{ с}$; 3 – $\lambda = 1 \text{ с}$; 4 – $\lambda = 2 \text{ с}$.

б. 1 – $\lambda = 0$; 2 – $\lambda = 3 \text{ с}$; 3 – $\lambda = 4 \text{ с}$; 4 – $\lambda = 5 \text{ с}$.

В параграфе 3.3 рассматривается влияние времени релаксации напряжения и запаздывания скорости сдвига на давление жидкости на плунжер. Описывающие процесс уравнения и дополнительные условия в безразмерных величинах можно представить в виде релаксации и запаздывания

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{c_2}{\text{Re}} \frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial v'}{\partial r'} \right) + \frac{c_1}{\text{Re}} \frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial}{\partial r'} \int_0^{t'} v'(r', \xi) e^{-\frac{t'-\xi}{\lambda_1}} d\xi \right) + q'(t'), \quad (28)$$

$$\left(1 + \lambda_1' \frac{\partial}{\partial t'} \right) \frac{\partial v'}{\partial t'} = \frac{1}{\text{Re}} \left(1 + \lambda_2' \frac{\partial}{\partial t'} \right) \left[\frac{1}{r'} \frac{\partial}{\partial r'} \left(r' \frac{\partial v'}{\partial r'} \right) \right] + \left(1 + \lambda_1' \frac{\partial}{\partial t'} \right) q'(t'), \quad (29)$$

$$v'(r', 0) = 0, \quad \frac{\partial v'(r', 0)}{\partial t'} = 0, \quad (\alpha \leq r' \leq 1); \quad v'(\alpha, t') = v'_p(t'), \quad v'(1, t') = 0, \quad (30)$$

$$\int_{\alpha}^1 r' v'(r', t') dr' = \frac{\alpha_*^2}{2} v'_p(t'), \quad (31)$$

где $\lambda'_1 = \frac{U}{R} \lambda_1$, $\lambda'_2 = \frac{U}{R} \lambda_2$, $c = \frac{1}{\lambda'_1}$, $c_2 = \frac{\lambda'_2}{\lambda'_1}$, $c_1 = c(1 - c_2)$.

Решение задачи получено в виде

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2}{1 - \alpha^2} \frac{dv'_p(t')}{dt'} + \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} \left[c_2 v'_p(t') + c_1 \int_0^{t'} v'_p(t' - \xi) e^{-c\xi} d\xi \right] - \frac{4}{\text{Re}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{C_n \psi_{1n}} \int_0^{t'} \frac{dv'_p(t' - \xi)}{d\xi} e^{-a_n \xi} (A_n c h b_n \xi + B_n b_n s h b_n \xi) d\xi, \quad (32)$$

где $a = 1/(2\lambda'_1)$, $a_n = a(1 + \lambda'_2 x_n^2)$, $b_n = \sqrt{a_n^2 - 2a x_n^2}$.

$$A_n = 1 + 2\lambda'_2 x_n^2 (2 + a\lambda'_2 x_n^2) + (\lambda'_1 + \lambda'_2)(\lambda'_2 (a_n^2 + b_n^2) - 2a_n) - 4\lambda'_2 a_n x_n^2;$$

$$B_n = 2(\lambda'_2 - \lambda'_1)(\lambda'_2 a_n - 1); C_n = 1 + 4\lambda'_1 x_n^2 + \lambda'_2 x_n^4 + 2\lambda'_1 \lambda'_2 (a_n^2 + b_n^2) - 4\lambda'_1 a_n (1 + \lambda'_2 x_n^2).$$

Полное давление определяется подстановкой (32) в формулу (22).

Пусть в некотором промежутке времени скорость плунжера постоянна: $v_p(t) = v_m = \text{const}$, т.е. $v'_p(t) = 1$. Из (32) получим

$$q'(t') = \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} [c_2 + c_1(1 - e^{-ct'})].$$

Отсюда следует, что в промежутке времени, где скорость плунжера постоянна, градиент гидродинамического давления постоянным будет только для вязкой жидкости, а для вязкоупругой жидкости он не будет постоянным. Если в начальный момент в плунжер сообщается скачкообразная постоянная скорость: $v_p(t) = v_m \eta(t)$, то из (32) имеем:

$$q'(t') = \frac{\alpha_*^2}{1 - \alpha^2} \delta(t') + \frac{4A_\alpha}{\text{Re}} [c_2 \eta(t') + c_1(1 - e^{-ct'})] - \frac{4}{\text{Re}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n \varphi_n}{C_n \psi_{1n}} e^{-a_n t'} (A_n c h b_n t' + B_n b_n s h b_n t').$$

Это показывает, что если в начальный момент скорость плунжера изменится скачкообразно, то градиент гидродинамического давления жидкости на него может приобретать импульсный характер. Здесь $\eta(t)$, $\delta(t)$ – единичная функция Хевисайда и дельта функция Дирака.

С помощью полученных формул проведены численные эксперименты по изучению влияния вязкоупругих свойств жидкости на гидродинамическое давление на плунжер для значений релаксационных параметров: 1 – $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$; 2 – $\lambda_1 = 1$ с, $\lambda_2 = 0,5$ с; 3 – $\lambda_1 = 2$ с, $\lambda_2 = 1$ с; 4 – $\lambda_1 = 4$ с, $\lambda_2 = 2$ с при $\mu = 0,09$ Па·с, $\rho = 920$ кг/м³.

На рис. 5 приведены графики влияния вязкоупругих свойств жидкости на гидродинамическое давление на плунжер. Как видно из рисунка, при ускорении подъема плунжера перепад давления для вязкоупругой жидкости меньше, чем для вязкой, а при замедлении подъема, наоборот, давление вязкоупругой жидкости больше, чем вязкой жидкости.

Расчеты показывают, что вязкоупругие свойства нефти могут приводить как к снижению (при ускорении), так и к увеличению (при замедлении) давления на плунжер. При этом наибольшая разница в значениях наблюдается в момент остановки подъема.

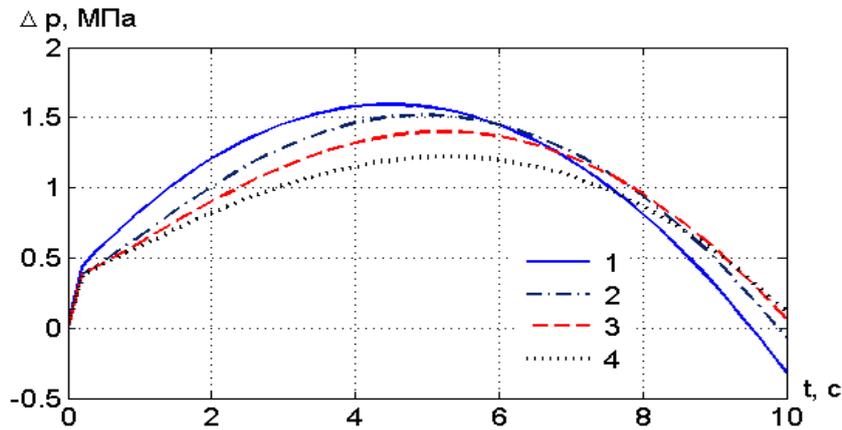


Рис. 5. Влияние вязкоупругих свойств жидкости на изменение во времени гидродинамического давления на плунжер. $\mu = 0,09 \text{ Па}\cdot\text{с}$, $\rho = 920 \text{ кг}/\text{м}^3$.
 1– $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$; 2– $\lambda_1 = 1 \text{ с}$, $\lambda_2 = 0,5 \text{ с}$; 3– $\lambda_1 = 2 \text{ с}$, $\lambda_2 = 1 \text{ с}$; 4– $\lambda_1 = 4 \text{ с}$, $\lambda_2 = 2 \text{ с}$.

Релаксационные свойства приводят к увеличению времени, в течение которого гидродинамическое давление достигает максимума, с увеличением этих свойств увеличивается разница между профилями давления, особенно при замедлении подъема.

Изучено влияние релаксации напряжения и других параметров на гидродинамическое давление на плунжер при его скоростях $v(t) = 0,40; 0,60; 0,80; 1,00 \text{ м}/\text{с}$. Расчеты показывают, что с учетом релаксации напряжения на гидродинамическое давление увеличивается, но оно остается меньшим по сравнению с давлением вязкой нефти. Такое свойство вязкоупругой жидкости может увеличить скорость поступления нефти из скважины, что увеличивает коэффициент подачи насоса.

В четвертой главе диссертации «**Гидравлические особенности течения вязкоупругих жидкостей в трубах**» рассматриваются переходные процессы при нестационарном движении жидкости в цилиндрических трубах.

В параграфе 4.1 на основе реологической модели Олдройда рассмотрено влияние релаксационных параметров жидкости на переходной режим. Решая уравнение

$$\rho \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial u}{\partial t} = - \left(1 + \lambda_1 \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(1 + \lambda_2 \frac{\partial}{\partial t} \right) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right), \quad (0 < r < R). \quad (33)$$

при условиях

$$u(r, 0) = 0, \quad \frac{\partial u(r, 0)}{\partial t} = 0; \quad u(R, t) = 0, \quad u(0, t) < +\infty; \quad - \frac{\partial p}{\partial z} = A_p \eta(t), \quad (34)$$

определяется средняя по сечению трубы скорость жидкости

$$v(t) = \frac{A_p R^2}{8\mu} \left(1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_k t}{2\lambda_1}}}{\alpha_k^4} \left(\cos \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t + \frac{\tilde{\beta}_k}{\gamma_k} \sin \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t \right) \right), \quad (35)$$

где α_k - положительные корни уравнения $J_0(x) = 0$; $\beta_k = 1 + \lambda_2' \alpha_k^2$,

$$\gamma_k = \sqrt{4\lambda_1' \alpha_k^2 - \beta_k^2}; \tilde{\beta}_k = \beta_k - \lambda_1' \alpha_k^2. \lambda_1' = \frac{\nu \lambda_1}{R^2}, \lambda_2' = \frac{\nu \lambda_2}{R^2}, \nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Здесь использованы обозначения предыдущей главы.

Изучено влияние λ_1 и λ_2 на переходный процесс, и на время выхода процесса на стационарный режим, определено что при $t \geq 10\lambda_1/\beta_k$ процесс выходит на стационарный режим.

Наиболее важной характеристикой течения жидкостей при исследовании различных технологических процессов является коэффициент гидравлического сопротивления. В параграфе 4.2 предложен способ определения мгновенного коэффициента гидравлического сопротивления при нестационарном движении вязкоупругой жидкости в трубе. Из (35) при $a_p = \Delta p/L$ можно получить

$$\Delta p = \frac{8\nu L \mu}{R^2} \left(1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_k t}{2\lambda_1}}}{\alpha_k^4} \left(\cos \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t + \frac{\tilde{\beta}_k}{\gamma_k} \sin \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t \right) \right)^{-1}. \quad (36)$$

По формуле Дарси-Вейсбаха перепад давления определяется как

$$\Delta p = \lambda_* \frac{\rho v^2 L}{2d}, \quad (37)$$

где Δp – перепад давления на участке трубы длиной L ; λ_* – коэффициент гидравлического сопротивления, $d = 2R$ – диаметр трубы. Из (36) и (37) получим

$$\lambda_* = \frac{64}{\text{Re}} k_*, \quad (38)$$

где Re – число Рейнольдса;

$$k_* = \left[1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\beta_k t}{2\lambda_1}}}{\alpha_k^4} \left(\cos \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t + \frac{\tilde{\beta}_k}{\gamma_k} \sin \frac{\gamma_k}{2\lambda_1} t \right) \right]^{-1}, \quad k_* = \left(1 - 32 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_k^4} e^{-\frac{\alpha_k^2 \mu t}{\rho R^2}} \right)^{-1}.$$

для вязкоупругой и вязкой жидкости, соответственно.

В данном случае λ_* зависит от времени, и называется мгновенным коэффициентом гидравлического сопротивления. Результаты расчетов для момента времени 60с для некоторых значений числа Рейнольдса приведены в таблице 1.

Значения мгновенного коэффициента гидравлического сопротивления

	$\lambda_1 = \lambda_2 = 0$	$\lambda_1 = 5s, \lambda_2 = 3s$	$\lambda_1 = 8s, \lambda_2 = 4s$	$\lambda_1 = 15s, \lambda_2 = 8s$
k_*	$k_* = 1,0117$	$k_* = 1,0059$	$k_* = 0,9930$	$k_* = 0,9880$
Re	λ_*			
320	0,2023	0,2012	0,1986	0,1962
720	0,0899	0,0894	0,0883	0,0872
1120	0,0578	0,0575	0,0567	0,0560
1520	0,0426	0,0424	0,0418	0,0413
1920	0,0337	0,0335	0,0331	0,0327
2320	0,0277	0,0276	0,0274	0,0271

Как видно из таблицы, релаксационные свойства жидкости приводят, в основном, к уменьшению мгновенного коэффициента гидравлического сопротивления. При переходном режиме коэффициент гидравлического сопротивления почти совпадает с его значением для ньютоновской жидкости. С увеличением времени значение коэффициента k_* стремится к 1, что соответствует к общеизвестной формуле $\lambda_* = 64 / \text{Re}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов диссертационной работы на тему “Нестационарное движение вязкой и вязкоупругой жидкостей в эксплуатационной нефтяной скважине” сформулированы следующие основные выводы:

1. Решены задачи неустановившегося движения жидкости между цилиндром глубинного насоса и колонной штанг в эксплуатационной скважине.

2. Решены новые математические задачи по определению гидродинамического давления нефти на плунжер глубинного насоса, когда кольцевое пространство между подъемной трубой и колонной штанг моделируется в виде плоской и круглой труб.

3. Получены формулы для определения полного давления вязкой и вязкоупругой нефти на плунжер.

4. Определено влияние времени релаксации напряжения и запаздывания скорости сдвига на полное гидродинамическое давление на плунжер.

5. Численными экспериментами показано, что при эксплуатации скважин, добывающих вязкоупругие нефти глубинными насосами, необходимо учитывать релаксационные свойства жидкости. Эти свойства в процессе разгона плунжера могут привести к уменьшению, а при замедлении – к увеличению гидродинамического давления.

6. Установлено, что релаксационные свойства жидкости приводят к запаздыванию достижения максимума давления. С усилением этих свойств

разница в профилях давления возрастает, особенно, в момент торможения подъема плунжера.

7. Показано, что если в начальный момент скорость плунжера изменится скачкообразно, то перепад гидродинамического давления жидкости на него может приобретать импульсный характер.

8. Установлено, что в промежутке времени, где скорость плунжера постоянна, гидродинамическое давление будет постоянным только для вязкой жидкости, а для вязкоупругой жидкости оно не будет постоянным.

9. Определено, что переходной процесс при нестационарном ламинарном движении вязкоупругой жидкости в длинной цилиндрической трубе значительно отличается от вязкой. Для ньютоновской жидкости стационарный режим наступает быстрее, а для релаксирующей жидкости это время значительно. Время релаксации и время запаздывания по разному влияют на время перехода процесса на стационарный режим.

10. Предложена новая формула для мгновенного коэффициента гидравлического сопротивления.

11. Установлено влияние релаксационных свойств жидкости на мгновенный коэффициент гидравлического сопротивления при нестационарном ламинарном движении жидкости в цилиндрической трубе.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
SCIENCES DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 UNDER
SAMARKAND STATE UNIVERSITY
NAMED AFTER SHAROF RASHIDOV**

**SAMARKAND STATE ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION
UNIVERSITY NAMED AFTER MIRZO ULUGBEK**

GAYBULOV YULDOSH SHERMONOVICH

**UNSTATIONARY MOTION OF VISCOUS AND VISCOELASTIC
FLUIDS IN A PRODUCTION OIL WELL**

01.02.05 – Fluid and gas mechanics

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICS SCIENCES**

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2024.2PhD/FM1079.

The dissertation has been prepared at Samarkand state institute of architecture and construction named after mirzo ulugbek.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (www.samdu.uz) and the “Ziyonet” Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Akilov Jakhon**
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Official opponents : **Normurodov Chori Begalievich**
Doctor of physical and mathematical sciences,
Professor

Burnashev Vladimir Fitratovich
Doctor of physical and mathematical sciences, senior
researcher

Leading organization: **Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures
named after M.T.Urazbaev Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan**

Defense will take place « ____ » _____ 2025 at ____ at the meeting of Scientific Council number DSc.03/30.12.2019.FM/T.02.09 at Samarkand State University named after Sharaf Rashidov. (Address: University str. 15, Samarkand, 140104, Uzbekistan, tel.: (+99866) 239-11-40, fax: (+99866) 239-11-40, 239-12-47, e-mail: devonxona@samdu.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource center at Samarkand State University named after Sharaf Rashidov (is registered № ____) (Address: University str. 15, Samarkand, 140104, Uzbekistan, tel: (+99866) 239-11-40).

Abstract of dissertation sent out on « ____ » _____ 2025 year
(Mailing report № _____ on « ____ » _____ 2025 year)

R. I. Khalmuradov
Chairman of scientific council
on award of scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

U.A.Nishonov
Scientific secretary of scientific council
on award of scientific degrees,
Doctor of philosophy (PhD) in
physical and mathematical sciences

B.Kh.Khuzhayorov
Chairman of scientific seminar under scientific
council on award of scientific degrees,
Doctor of physical and mathematical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the work is to obtain an analytical solution for the unsteady motion of viscous and viscoelastic fluids in the annular region between the cylinder and the plunger, analyze them, and improve methods for determining the total hydrodynamic pressure on the plunger.

The object of the research is a production well producing Newtonian and non-Newtonian oils.

The scientific novelty of the study is as follows:

new solutions to the problems of unsteady straight flows of Newtonian and relaxing fluids were developed;

the effect of the relaxation time on the total pressure of the oil on the plunger when viscous and viscous-elastic oils move in the area between the cylinder and rods of the pump in the exploitation well was determined;

a method for obtaining new solutions to the problems of unsteady motion of viscous and viscous-elastic fluids in the annular area between the rods and cylinder of the well pump, taking into account relaxation and delay, was developed;

the process of transition of viscous-elastic fluids from unsteady motion to a stationary state was studied and the coefficient of hydraulic resistance of the fluid in unsteady motion was determined.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the unsteady behavior of viscous and viscous-elastic fluids in oil production wells:

the results of the theoretical study of hydrodynamic processes in the exploitation of wells producing non-Newtonian oils using rod pumps were introduced to the management of the “Kokand Neftgazparmalash” Joint-Stock Company (Reference of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated August 23, 2024 No. 04-05-6708). As a result, it was possible to increase the feed coefficient from 0.26 to 0.33 by increasing the plunger speed.

Recommendations on the operation of wells producing high-viscosity oils were introduced to the management of the “Kokand Neftgazparmalash” Joint-Stock Company (Reference of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated August 23, 2024 No. 04-05-6708). As a result, it was possible to increase the speed of the well's plunger pump.

Publication of research results. A total of 21 scientific works were published on the topic of the dissertation, of which 9 articles were published in scientific publications recommended for publication by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan on the main scientific results of doctoral dissertations, including 4 in national and 5 in foreign scientific journals. Certificates for the program for 3 computer programs were obtained.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of references. The volume of the dissertation consists of 97 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю.Ш. Моделирование давления на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин, добывающих неньютоновские нефти // «ISJ Theoretical & Applied Science», 2020, 10(90), pp. 118-123. <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>
2. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю.Ш. Математическое моделирование давления на плунжер при эксплуатации скважин, добывающие вязкоупругие нефти // «German International Journal of Modern Science». № 9, 2021. Vol. 1, pp. 11-15. DOI: 10.24412/2701-8369-2021-9-1-11-15.
3. Джаббаров М.С., Гайбулов Ю.Ш. Моделирование давления на плунжер при эксплуатации скважин, добывающие неньютоновские нефти // Научный вестник СамГУ. Точные науки, 2020, № 5(123). С. 91-96. (01.00.00; №2).
4. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю.Ш. Определение полного давления на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин штанговыми глубинными насосами // «Узбекский журнал нефти и газа». - 2022. - №3. (04.00.00; №4).
5. Гайбулов Ю.Ш. Гидродинамическое давление на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин глубинными насосами // «Узбекский журнал проблемы механики», 2022, №3. С. 87-96. (01.00.00; №4).
6. Akilov J.A., Dzhabbarov M.S., Gaybulov Y.Sh. Influence of the relaxation properties of a non-Newtonian fluid on the transient process // AIP Conferenca Proceedings 2637. International Conference an Actual Problems of Applied Mechanics – APAM-2021. PP. 040001-10. Published Online 20.10.2022. <https://doi.org/10.1063/5.0119118>. (№ 3 Scopus, IF=0.189)
7. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю.Ш. Моделирование влияния давления промывочной жидкости на напряженное состояние призабойной зоны скважины. German International Journal of Modern Science. Artmedia, 2023. V. 1, № 71. -С.18-26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10459806>
8. Akilov J.A., Djabbarov M.S., G'aybulov Y.Sh. Neft quduqlarini chuqurlikdagi nasoslar bilan ishlatishdagidrodinamik bosimni matematik modellashtirish// Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti. 2024, № 7, iyul. b. 81-88. (01.00.00; №3).
9. Gaybulov Y.Sh. Hydrodynamic Pressure During the Operation of Oil Wells with Deep Pumps // AIP Conferenca Proceedings 3244. International Conference an Actual Problems of Applied Mechanics – APAM-2024. PP. 020057-10. Published Online 27.11.2024. <https://doi.org/10.1063/5.0242037> (№ 3 Scopus, IF=0.189)

II бўлим (III часть; II part)

1. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С, Гайбулов Ю.Ш. Моделирование давления на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин с глубинными насосами // Инновационные идеи и разработки на практику: проблемы и решения. Материалы Международной научно-практической конференции. – Андижон, АндГУ, 27-28.05.2020. С. 139-143.
2. Джаббаров М.С, Гайбулов Ю.Ш. Математическое моделирование давления на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин // Современные проблемы в инновационном развитии науки и производства. Материалы Междун. научно-практ. конференции. Секция 1, часть 1. - Андижан, АндМИ. 12-13.05.2020. С. 744-751.
3. Джаббаров М.С., Мардонов Б.А., Гайбулов Ю. Определение давления на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин // Рақамли иқтисодиётни шакллантиришда илм-фан ва инновацион ютуқларни амалиётга жорий этишнинг долзарб муаммолари мавзусидаги XVII республика илмий-амалий конференция материаллари, I қисм Самарқанд, СамДАҚИ-03.06.2020
4. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю. Определение давления на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин штанговыми глубинными насосами // Инновационные разработки в сфере науки, образования и производства - основа инвестиционной привлекательности нефтегазовой отрасли. Материалы Республиканской научно-технической конференции. - Ташкент, 3.11.2020. – С. 36-40.
5. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю. Математическое моделирование давления на плунжер при эксплуатации скважин, продуцирующих вязкоупругие нефти // Актуальные проблемы математики и прикладной математики в эпоху глобализации. Материалы Респуб. научн. конф. –Ташкент, ТГТУ, 1-2.06.2021. – С. 24-29.
6. Гайбулов Ю. Моделирование гидродинамическо давления нефти на плунжер при эксплуатации нефтяных скважин глубинными насосами // Современные проблемы прикладной математики и информационных технологий. Междун. научно-практ. конференции. – Бухоро, БДУ. 11-12.05.2022. С.310-311.
7. Джаббаров М.С., Гайбулов Ю. Қовушоқ-эластик нефтлар қазиб олинадиган кудуқларни эксплуатация қилишда плунжерга босимни ҳисоблаш дастури // № DGU 10367, Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги, Тошкент, 2021.
8. Джаббаров М.С., Гайбулов Ю. Ноньютон нефтлар қазиб олинадиган кудуқларни эксплуатация қилишда плунжерга босимни ҳисоблаш дастури // № DGU 14899, Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги, Тошкент, 2022.
9. Акилов Ж.А., Джаббаров М.С., Гайбулов Ю.Ш. Гидродинамическое давление при эксплуатации нефтяных скважин глубинными насосами // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Рахматулинские чтения». –Ташкент, 26-27 мая 2023 г. С. 37-38.

10. Jaxon Akilov, Mamasoli Dzhabbarov, Yuldosh Gaybulov. Hydrodynamic pressure during operation of oil wells by deep-well pumps // SILK ROAD. International Scientific Research Congress. March 6-8, 2024. Samarkand, Uzbekistan. PP. 45-46

11. Akilov J.A., Dzhabbarov M.S., Gaybulov Yu.Sh. Neft quvduqlarini shtangali nasoslar orqali ishlatishda gidrodinamik bosim // Mexanika va matematikaning amaliy muammolari. Respublika ilmiy-amaliy konferensiya. – Toshkent, TKTI. 17-18-may 2024-yil. 73-75 bb.

12. M. Djabbarov, Yu. G'aybulov. Neft va gaz quduqlarini burg'ilashda yuvuvchi suyuqlikning quduq devoriga bosimini hisoblash dasturi // № DGU 40191. 18.06.2024 y.

Aftoreferat Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining
“SamDU ilmiy tadqiqotlar axborotnomasi” jurnali tahririyatida
tahrirdan o‘tkazildi (03.04.2025-yil).

Bosishga ruxsat etildi: 03.04.2024-yil.
Bichimi 60x45 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturada
raqamli bosma usulida bosildi. Shartli bosma tabog‘i 2,75.
Adadi: 70. Buyurtma: № 4/4.

“Sardor poligraf” OK bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Samarqand viloyati, Samarqand tumani, Xishrav MFY.