

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/27.02.2021.FM.101.02
RAQAMLI ILMIY KENGASH ASOSIDA TUZILGAN
BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

ADIZOVA AZIZA JO'RAQULOVNA

**QOVUSHQOQ-ELASTIKLIK NAZARIYASI ASOSIDA IPLARNING
MEXANIKAVIY PARAMETRLARINI ANIQLASH**

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (Doctor of Philosophy) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Contents of the dissertation abstract of Doctor of Philosophy (PhD) on
Technical Sciences**

Adizova Aziza Jo‘raqulovna

Qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplarning mexanikaviy parametrlarini
aniqlash..... 3

Адизова Азиза Журакуловна

Определение механических параметров нитей на основе теории
вязкоупругости..... 21

Adizova Aziza Jurakulovna

Determination of mechanical parameters of filaments based on the theory of
viscoelasticity..... 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/27.02.2021.FM.101.02
RAQAMLI ILMIY KENGASH ASOSIDA TUZILGAN
BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

ADIZOVA AZIZA JO'RAQULOVNA

**QOVUSHQOQ-ELASTIKLIK NAZARIYASI ASOSIDA IPLARNING
MEXANIKAVIY PARAMETRLARINI ANIQLASH**

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (Doctor of Philosophy) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.3.PhD/T1644 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Buxoro muhandislik-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) institut veb-saytida (www.bmti.uz) va "ZiyoNet" Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Mavlanov Tulkin

texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponenlar:

Mardonov Botir Mardonovich

fizika-matematika fanlari doktori, professor

Ismayilov Kubaymurat

texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Toshkent kimyo-texnologiya instituti

Dissertatsiya himoyasi Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 raqamli Ilmiy kengash asosida tashkil qilingan bir martalik Ilmiy kengashning 2025-yil 23-may soat 15⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100118, Buxoro shahar, Qayum Murtazoyev ko'chasi 15-uy. Tel.: (+99865) 223-78-84; faks: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Buxoro muhandislik-texnologiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 361 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100118, Buxoro shahar, Qayum Murtazoyev ko'chasi 15-uy. Tel.: (+99865) 223-78-84;).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil 8-may kuni tarqatildi.

(2025-yil 10 apreldagi № 1 raqamli reyestr bayonnomasi).



M.X. Teshayev

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik Ilmiy kengash raisi, fizika-matematika fanlari doktori, (DSc)

Z.I. Boltayev

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik Ilmiy kengash ilmiy kotibi, fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor

B.S. Raxmonov

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik Ilmiy kengash qoshidagi bir martalik Ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori (DSc)

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda ishlab chiqarishning turli sohalarida har xil tolalardan, jumladan, tabiiy, sintetik, polimer tolalaridan tashkil topgan kompleks ip keng qo'llanilishi muhim o'rin egallamoqda. Dunyo miqyosida xususiyatlari oldindan berilgan iplarni tayyorlash, qayta ishlash va ularni ishlab chiqarishga qo'llash muhim ahamiyat kasb etib, buning uchun kompleks iplarning fizik va mexanik xususiyatlarini to'liq o'rganishni taqozo etadi. Shu jihatdan, butun texnologik jarayon mobaynida iplarga turli ko'rinishdagi kuchlar ta'siridan iplarning shikastlanishlarini aniqlashda ularning reologik xususiyatlarini hisobga olish, olinadigan mahsulotlarning sifat ko'rsatkichlarini hamda ishlatish muddatlarini uzaytirish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda to'qimachilik mahsulotlarini ishlab chiqarishni tashkil etish, uning iste'moli hamda eksporti, sifatini oshirishga asoslangan innovatsion yo'nalishlar bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, bugungi "... kunda tabiiy tolalardan ishlab chiqariladigan mahsulotlarga nisbatan ishlab chiqarish samaradorligi ikki marta yuqori bo'lgan sun'iy tolalarni hamda sun'iy tolalardan to'qimachilik mahsulotlarini ishlab chiqarishni tashkil etish, shuningdek, trikotaj-tikuvchilik sanoatini innovatsion rivojlantirishda "aqlli" to'qimachilik matolarini yaratish, elektron to'qimachilik matosi, faol mato, shuningdek, antimikrob mato yaratishga asoslangan innovatsion yo'nalishlar bo'yicha ilmiy tadqiqotlar..."¹ olib borishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda so'nggi yillarda to'qimachilik sanoati O'zbekiston milliy iqtisodiyotining eng jadal rivojlanayotgan tarmog'iga, xorijiy investitsiyalarni jalb qilish va mahsulotlarni eksport qilish bo'yicha yetakchiga aylanishi mamlakat iqtisodiyotida yengil sanoatning roli sezilarli darajada oshib, muayyan natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktyabrdagi PF-6097-son "Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi Farmonida, jumladan, "... ilmiy va ilmiy-texnikaviy rivojlanishni prognozlash: ilmiy va texnologik rivojlanishni prognozlashning tizimli jarayoni mahalliy va jahon miqyosidagi ilmiy hajmdor mahsulotlar ishlab chiqaruvchilari tomonidan talab qilinadigan ilmiy tadqiqotlar to'g'risidagi ma'lumotlarni shakllantirish..."² va 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmonidagi "Innovatsion loyihalarni amalga oshirish uchun barcha yo'nalishlarda keng imkoniyatlarni yaratish, tadqiqotlarni va innovatsion tashabbuslarni qo'llab-quvvatlashning zamonaviy mexanizmlarini joriy qilish"³ bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, to'qimachilik sohasida samarali ilmiy natijalarga erishishda qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplar uchun matematik modellar yaratish hamda bu modellarga kiruvchi mexanikaviy parametrlarni aniqlash usullarini takomillashtirish muhim ahamiyat

¹ <https://zenodo.org/records/5675967>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 29-oktyabrdagi PF-6097-son "Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi Farmoni

³ O'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 (52-maqсад)

kasb etmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 25-dekabrda PQ-4077-son “Ishlab chiqarish quvvatlarini modernizatsiya qilish, sanoat tarmoqlarini texnik va texnologik jihatdan qayta jihozlash jarayonini jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarori, 2020-yil 5-maydagi PF-5989-son “To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini qo‘llab-quvvatlashga doir kechiktirib bo‘lmaydigan chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi Farmoni, 2022-yil 21-yanvardagi PF-53-son “To‘qimachilik va tikuv-trikotaj korxonalarida chuqur qayta ishlash va yuqori qo‘shilgan qiymatli tayyor mahsulotlar ishlab chiqarishni hamda ularning eksportini rag‘batlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmoni, 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmonida berilgan “To‘qimachilik sanoati mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini 2 baravarga ko‘paytirish”⁴, 2024-yil 1-maydagi PF-71-sonli “To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini rivojlantirishni yangi bosqichga olib chiqish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmoni, shuningdek, ushbu faoliyatga oid boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga bog‘liqligi. Dissertatsiya O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalar taraqqiyotining IV. “Matematika, mexanika va informatika” ustuvor yo‘nalishlariga mos ravishda bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi.

Ideal ip mexanikasining ilk tadqiqotchilari sifatida odatda XVIII-XIX asr olimlari Y.Bernulli, L.Eyler, Sh.Kulon, J.Lagranj, Sen-Venan, G.Kirxgof, A.Klebsh kabi olimlar ko‘rsatilib, ular ingichka sterjenlar va biki iplar mexanikasi masalalarini qayishqoqlik nazariyasining umumiy tenglamalari asosida tadqiq qilganlar. XIX asr oxiri va XX asr boshida A.Lyav, Y.L.Nikolay, G.Kamel kabi olimlar ingichka sterjenlar statikasi va kichik tebranishlari masalalarini tadqiq qilishgan.

Chiziqli qayishqoq iplar va ingichka sterjenlar kinematikasi va dinamikasi masalalari XX asr o‘rtalarida Y.P.Popov, G.Y.Djanelidze, A.L.Stasenko, V.A.Svetliskiy, X.Lorents kabi olimlar tadqiqotlarining mavzulari bo‘ldi. Egilishda qayishqoq ipning mutlaq biki silindr bilan ta’sirlashuvi masalalari XX asr o‘rtalarida V.S.Jivov, I.I.Migushov, A.P.Minakov, V.P.Poluxin, I.S.Zak, V.M.Nikiforov va G.Kamel asarlarida tadqiq qilingan. To‘qimachilik jarayonlarida iplarning kuchli egilishi Y.D.Efremov, V.S.Jivov kabi olimlarning tadqiqotlarida XX asr oxirlarida tadqiq qilingan. Shu vaqtda N.I.Kudryashova, B.A.Kudryashov va boshqa olimlar to‘qimachilik iplari qayishqoqlik xususiyatlari nochiqli ekanligini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadilar va bu masala I.I.Migushov asarlarida o‘zining eng to‘liq yechimini topdi.

Buralish va egilishda qayishqoq ip mexanikasining turli nazariy va amaliy masalalari S.G.Zaretskas, V.M.Kagan, D.F.Artur va A.F.Veller, X.Doysen, A.N.Dinnik tadqiqotlarida hal qilingan.

⁴ O‘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 (22-maqсад)

Xullas, asrimizning boshiga kelib ip mexanikasining statik, kinematik va dinamik masalalari ancha yaxshi o'rganilgan bo'lib, A.P.Minakov, V.G.Shedrov, V.A.Svetliskiy, I.I.Migushov, Y.V.Yakubovskiy, S.Jivov va Y.I.Koritisskiy, R.Meredit va Dj.V.S.Jerl kabi olimlarning asarlarida o'zining umumlashgan ifodasini topgan bo'lsa, bunda o'zbek olimlari X.A.Raxmatullin va M.T.O'rozboyevlarning, shuningdek, TTYSI professorlari G.N.Boldinskiy, M.Ergashovlarning ip dinamikasi bo'yicha bajargan tadqiqotlari bilan qo'shgan hissalarini beqiyosdir va biz bu bilan haqli ravishda faxrlanishimiz mumkin.

Professor T.Mavlanov rahbarligida keyingi o'n yillikda bajarilgan ip mexanikasiga oid bir turkum tadqiqotlar bu sohaning rivojiga salmoqli hissa bo'ldi. Bu asarlarda ip va mato mexanikasining hozirgi zamon texnologiyasi uchun eng dolzarb qator masalalari o'z yechimini topdi. Shuningdek, K.S.Sultanov, S.I.Ismailova, G.B.Abdiyevlarning chop etgan maqolalari iplar mexanikasining rivojida o'z o'rnini topgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Mazkur tadqiqot Buxoro muhandislik-texnologiya institutining "Vobkent Tola Klaster" MChJ korxonasi bilan 11.02.2021 yildan 31.12.2022 yilgacha mo'ljallangan 5-21 sonli xo'jalik shartnomasi asosida "Ip yigiruv korxonalarida ipning uzilishini kamaytirish va sifat ko'rsatkichlarini baholash" mavzusi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi. Murakkab texnologik jarayonda ishlayotgan iplarning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini modellashtirish va shu modellarga mos keluvchi matematik modellar yaratish, ularga kiruvchi parametrlarning ratsional qiymatlarini aniqlash, iplarning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarini bashoratlash hamda xossalari oldindan berilgan yangi materiallar yaratish.

Tadqiqotning vazifalari:

har xil tarkibli iplarga yuklanishning ta'sirini aniqlash va uning oquvchanligini tekshirish;

yuklash rejimini iplarning qovushqoq-elastiklik xususiyatiga hamda uning texnologik jarayonga ta'sirini aniqlash;

qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplar uchun matematik modellar yaratish va bu modellarga kiruvchi parametrlarni aniqlash usullarini takomillashtirish;

tajribalar natijasida qurilgan oquvchanlik va relaksatsiya egri chiziqlarini approssimatsiyalash usullarini takomillashtirish hamda iplarning qovushqoq-elastiklik xossalari bashoratlash;

iplarning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarini aniqlovchi ta'sir funksiyalarini qurish va ularga kiruvchi parametrlarni aniqlash uslubiyatini takomillashtirish;

qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplar dinamikasini o'rganish;

iplar mexanikasining amaliy masalalarini yechish.

Tadqiqotning obyektini sifatida paxta va aralash tolali turli fizik-mexanik xususiyatlarga ega bo'lgan iplar olingan.

Tadqiqotning predmeti iplarning reologik xususiyatlarini hisobga olib, ularning nochiziqli deformatsiyalanishini baholash, matematik modellarini

takomillashtirish hamda hisoblash usullarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot usullari. Eksperimental relaksatsiya va oquvchanlik egri chiziqlaridan foydalanib, matematik modelga kiruvchi to'rt parametrli yadro koeffitsiyentlarini M.A.Koltunov usuli yordamida aniqlash, iplar dinamikasini aniqlovchi jarayonlarni modellashtirish, differensial va integro-differensial tenglamalarni "muzlatish" usullari yordamida yechish.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

kuchlanish-deformatsiya-vaqt analoglari prinsiplarini rivojlantirish natijasida hamda oquvchanlik egri chiziqlarini o'xshashlik gipotezasiga ko'ra ipning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holati matematik modellashtirilgan;

ilk bora iplar uchun qurilgan matematik modelga ta'sir funksiyasining yadrosi sifatida kiritilgan umumiy xarakterga ega bo'lgan tajribalar asosida osonlik bilan aniqlanadigan to'rt parametrli yadrodan foydalanish mumkinligi aniqlangan;

iplarning mexanik xususiyatlarini to'rt parametrli yadro orqali ifodalashdagi natijalar uch parametrli Koltunov-Rjanitsin yadrosi orqali olingan natijalardan aniqlik darajasi 12% gacha yuqori bo'lishi topilgan;

qovushqoq-elastiklik xususiyatlariga ega bo'lgan iplarining bo'ylama, ko'ndalang va buralma tebranma harakatlarining integro-differensial tenglamalari olingan va bu tenglamalarni yechish metodikasi takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

iplarning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarini ifodalash uchun Bolsman-Volterning qovushqoq-elastiklik nazariyasidan va bu nazariyani nochiziqlik xususiyatlarini hisobga olgan holda A.A.Ilyushin tomonidan rivojlantirilgan nazariyadan foydalanish imkoniyatlariga asoslangan;

iplarni qovushqoq-elastiklik, nochiziqlik, nostabillik xususiyatlarini hisobga olishni bashorat qilish va baholashni hisoblash matematik modeli ishlab chiqilgan;

turli dinamik kuchlar ta'siridagi iplarning tebranishlarini ifodalovchi integro-differensial tenglamalar sistemasini yechish usullari taklif etilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Ishlab chiqilgan modellar, hisoblash usullari sonli va analitik yechimga ega bo'lgan ma'lum modelli masalalarning yechimlari bilan taqqoslangan. Har bir ko'rilgan masalada talab etilgan aniqlik darajasigacha natijalar solishtirilib, ishlab chiqilgan usullar yechimi aniq bo'lgan modelli masalalar natijalariga yuqori aniqlikda mos kelishi tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining nazariy va amaliy ahamiyati. Olingan tadqiqot natijalarining nazariy ahamiyati iplarning qovushqoq-elastiklik, nostabillik va nochiziqlik xususiyatlarining nazariy asosi va matematik modellar iplar mexanikasini rivojlantirish bilan izohlanadi.

Ishning amaliy ahamiyati esa iplarning qovushqoq-elastiklik, nostabillik va nochiziqlik xususiyatlarining ta'sirini hisobga olgan holda, ularga dinamik kuchlar ta'sir etganda sistemaning mustahkamligini, sifatli mahsulot ishlab chiqarishni ta'minlovchi optimal parametrlarni aniqlash bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplarning mexanikaviy parametrlarini aniqlash bo'yicha ishlab chiqilgan ilmiy natijalar asosida:

ipda hosil bo'ladigan deformatsiyani vaqt birligi ichidagi o'zgarish qonuniyati,

yuklanishlarning har xil tezliklarda amalga oshirilishida ip va to‘qimaning qovushqoqlik-elastiklik xususiyatlarini aks ettiruvchi mexanik parametrlarini tezkorlik bilan aniqlash usullari “O‘zto‘qimachilik sanoat” uyushmasi tarkibiga kiruvchi Buxoro viloyatidagi “Mergan Teks” MChJ va “Kamalak Shabnam Teks” MChJ (Buxoro viloyatidagi “Mergan Teks” MChJ korxonasi 27.10.2023-yildagi ma’lumotnomasi va “Kamalak Shabnam Teks” MChJ korxonasi 24.11.2023-yildagi ma’lumotnomasi) korxonalarida paxta va sintetik tolalardan tashkil topgan ip ishlab chiqarishda joriy etilgan. Natijada, qovushqoqlik xususiyatini hisobga olib, iplardagi ko‘chish hamda kuchlanishlarning 10-12 % kamayishiga va ular harakatining stabillashiga, shuningdek, iplarning mustahkamligi va gazlamalarning yuza sirti tekisligi hamda ishqalanishga chidamlilik ko‘rsakichlarining 5-8 % oshishiga erishilgan;

materialning anizotrop va nostabillik xususiyatlarini aniqlashda qovushqoqlik-elastiklik nazariyasi asosida ilmiy ishda tavsiya etilgan integral modellaridan, ishlab chiqarish jarayonida tashqi va ichki kuchlar ta’siridagi ipning tebranma harakatini xarakterlovchi barcha parametrlarini, jumladan, tebranma harakat amplitudasi, chastotasi va kuchni aniqlashda ilmiy ishda keltirilgan formulalardan “O‘zto‘qimachilik sanoat” uyushmasi tarkibiga kiruvchi Buxoro viloyatidagi “Al-Hakim Plyus” MChJ (“Al-Hakim Plyus” MChJ korxonasi, 26.12.2023-yildagi ma’lumotnomasi) korxonasi tabiiy va polimer tolalardan tashkil topgan iplarning fizik-mexanik ko‘rsatkichlarini oshirishda foydalanildi. Natijada, ip va to‘qimaning tebranma harakati uning qovushqoqlik xususiyatini hisobga olishlik to‘qimada hosil bo‘ladigan tebranma harakat amplitudasining kamayishi hisobiga tebranma harakat stabillashadi hamda ipda hosil bo‘ladigan taranglik kuchi 12-16 % ga kamayish imkonini bergan.

Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilganligi to‘g‘risida O‘zbekiston Respublikasi “O‘zto‘qimachilik sanoat” uyushmasi tomonidan 03.07.2024-yildagi № 03/25-1631 ma’lumotnomasi olingan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinishi. Tadqiqot mavzusi bo‘yicha jami 26 ta ilmiy ish chop etilgan. Shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 9 ta maqola, jumladan, 3 tasi Respublika va 6 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 100 betni tashkil etadi.

Muallif dissertatsiya ishida keltirilgan nazariy va tajribaviy tadqiqotlarni o‘tkazishda o‘zining qimmatli maslahat va yordamlari uchun t.f.f.d.(PhD), dots. G.B.Abdiyevaga chuqur minnatdorchiligini bildiradi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya tadqiqotining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqot maqsadi va vazifalari hamda obyekt va predmetlari, O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyasi taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari

bayon qilingan. Olingan tavsiflangan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplarning mexanikaviy parametrlarini aniqlashga bag'ishlangan adabiyotlar tahlili”** deb nomlangan **birinchi bobida** qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplarning mexanikaviy parametrlarini aniqlashga bag'ishlangan adabiyotlarning qisqacha tahlili keltirilgan.

Adabiyotlar tahlili asosida xulosalar qilingan: ip tarangliklarining ratsional parametrlarini aniqlash va iplarning qovushqoqlik xususiyatini hisobga olib jarayonlarni modellashtirish metodikasini takomillashtirish yetarli emas; iplarning kuchlanish va deformatsiya holati vaqtga uzviy bog'liqdir. Bu bog'liqlik ko'p faktorli bo'lib, asosan, nochiziqlilik xususiyatiga ega bo'ladi. Iplar deformatsiyalanganligi va qovushqoq-elastiklik xususiyatiga ega bo'lganligi tufayli, ular uchun nochiziqli qovushqoq-elastiklik nazariyasini qo'llash taklif etilgan.

Shunday qilib, murakkab strukturaga ega bo'lgan iplar ishlab chiqarish jarayonida tashqi kuchlarning ta'sirida strukturaviy ichki o'zgarishlarni hisobga olishda qovushqoq-elastiklik nazariyasidan foydalanishni taqozo etganligi sababli, ushbu nazariyadan foydalanish uchun jarayonni ifodalaydigan matematik modellar qurish va qurilgan bu modellarga kiruvchi parametrlarni aniqlash usullarini ishlab chiqish muhim masala ekanligi ko'rsatilgan.

“Iplarning mexanikaviy-matematik modellari va ularga kiruvchi parametrlarni aniqlash metodikasi” deb nomlangan **ikkinchi bobida** texnologik jarayonda ishtirok etayotgan iplarning kuchlanish-deformatsiya holatlarini matematik modellashtirish hamda matematik modellarga kiruvchi parametrlarni aniqlash usullari keltirilgan.

“Eng sodda modellar” deb nomlangan birinchi paragrafda har qanday jism yoki fizikaviy obyektning deformatsiyalanish jarayoni murakkab bo'lib, ularni analitik ko'rinishda ifodalash bir qator muammolarni, jumladan, qaralayotgan obyektning fizik va mexanikaviy xarakteristikalarini to'liq aniqlash, oldindan qo'yilgan talablarga javob bera oladigan yangi konstruksiyalarni loyihalash hamda qaralayotgan obyektlarning ba'zi xususiyatlarini tajriba orqali aniqlash mumkin bo'lmagan xarakteristikalarini modellashtirish orqali aniqlash uchun bir nechta modellar (Maksvell modeli, Foygt modeli, Kelvin modeli, to'rt elementli model va Uchta komponentli Kelvin-Foygtning umumlashgan modeli) haqidagi ma'lumotlar keltirilgan.

“Iplar uchun yadro parametrlarni aniqlashning usullari” deb nomlangan ikkinchi paragrafda tavsiya etilgan modellarni va bu modellarga kiruvchi yadrolarning avfzalliklari, ularga kiruvchi parametrlarni aniqlash usullari keltirilgan. Ishda qabul qilingan Bolsman yadrosi materialning o'tmishini hisobga oladi. Kelvin, Foygt, Maksvell modellari ham Bolsman-Volterning modellarining xususiy holi sifatida kelib chiqadi. Shunga asosan, umumiy holda iplar uchun, chiziqli holda, Bolsman-Volterning integral munosabatlaridan foydalanildi. Bunda, yadro tajribalar orqali yoki tanlash orqali amalga oshiriladi. Masalan, uch parametrli yadro uchun S.D.Nikolayev tomonidan yadro parametrlarini va elastiklik modulini aniqlashning

taqribiy formulalari taklif etilgan. Bunga asosan, oquvchanlik egri chizig'i qurilgandan so'ng egri chiziqning to'rtta nuqtasi tanlanadi va kichik kvadratlar usulini qo'llab, yadro parametrlarini aniqlashning taqribiy formulalari taklif etilgan. Bu formulalar quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\alpha(\alpha+1)(\sigma_1 - \sigma_2)}{\sigma_1(\alpha+1)(t_2^\alpha - t_1^\alpha) + (\sigma_1 - \sigma_2)t_1^\alpha}; \\
 \beta &= \frac{\sigma_4 - \sigma_1 + EA\varepsilon\left(\frac{t_4^\alpha - t_1^\alpha}{\alpha}\right)}{EA\varepsilon\left(\frac{t_4^{\alpha+1} - t_1^{\alpha+1}}{\alpha+1}\right)}; \\
 t_1^\alpha(\sigma_2 - \sigma_1) - t_2^\alpha(\sigma_1 - \sigma_3) + t_3^\alpha(\sigma_1 - \sigma_2) &= 0; \\
 E &= \frac{\sigma_1\alpha(\alpha+1)}{\varepsilon[(\alpha+1)\alpha - At_1^\alpha]}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Olib borilgan tahlillar, tajriba va sonli tajribalar shuni ko'rsatib turibdiki, Nikolayev taklif etgan yuqoridagi formulalar aniqlik nuqtayi nazardan qo'yilgan talablarni qanoatlantirmaydi. Shuning uchun ham, yuqori aniqlikda natijalar olish uchun, murakkablik darajasiga qaramasdan, uch parametrlilik yadro va unga kiruvchi parametrlarni aniqlash usulini ishlab chiqqan Koltunov metodidan foydalanishni taklif etamiz.

1-jadvalda paxtali ip, poliester va aralash tolali iplar uchun yadro parametrlari hamda elastiklik modullarining ikki xil usul: S.D.Nikolayev va M.A.Koltunov metodlari bilan aniqlangan qiymatlari keltirilgan.

M.A.Koltunovning logarifmik moslik usulidan V.I.Sherbakov va T.Mavlanovlar keng foydalanganlar hamda turli iplar uchun yadro parametrlarini aniqlaganlar.

1- jadval

**Turli iplar uchun yadro parametrlari va elastiklik modulining
S.D.Nikolayev va M.A.Koltunov metodlari bilan aniqlangan qiymatlari**

Iplarning turlari	A		α		β	α		E, MPa	
	H	K	H	K	H	K	H	K	
Paxta	0,106	0,123	0,0366	0,045	0,276	0,125	1420,49	1 494,92	
Poliester	0,070	0,086	0,0326	0,038	0,451	0,223	8 365,46	8 166,48	
Aralash tolali ip	0,099	0,067	0,0383	0,052	0,467	0,254	4 019,74	3 714,66	

Elastiklik moduli o'zgarmas kattalik bo'lgan ba'zi hollarda quyidagi to'rt parametrlilik yadrodan foydalanish mumkin bo'ladi:

$$\Gamma(t - \tau) = \frac{Ae^{-\beta(t-\tau)}}{T^q(t-\tau)^p},$$

Bunda A – qovushqoqlik yadrosining amplitudasi; T – boshlang'ich taranglik; p va q – qovushqoqlik yadrosining parametrlari.

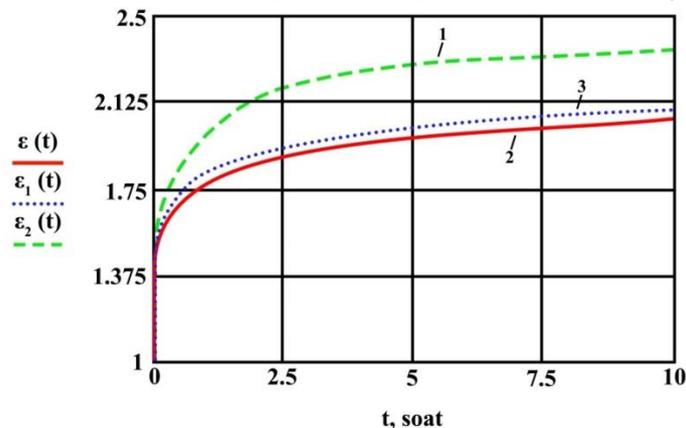
Bu ifodadagi T , A , q va p kattaliklar ipning xususiyatlarini tavsiflovchi parametrlar hisoblanib, ular tajriba orqali aniqlanadi. Agar ip o'zgarmas kuch ta'siri ostida bo'lsa, ipning kuchlanish va deformatsiyasi orasidagi bog'liqlikni quyidagi

ko‘rinishda ifodalash mumkin:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} \left[1 + \frac{A}{T^q} \int_0^t \frac{e^{-\beta(t-\tau)}}{(t-\tau)^p} d\tau \right]$$

Ma'lumki, ipni kompozit material deb qarab, uning xususiyatlarini o‘rganishda qovushqoq-elastiklik nazariyasiga asoslanish kerak. Bunda tenglamaga kiruvchi parametrlar M.A.Koltunov metodidan foydalangan holda tajribalar natijasida olinib, Ne30 ip uchun parametrlarning quyidagi qiymatlari qabul qilingan:

$$A=0,096; T=10 \text{ sN}; p=0,64; q=0,36; \alpha=1,25; \beta=0,005$$



1-rasm. Uch parametrlil (1) va to‘rt parametrlil (2) yadrolar orqali aniqlangan natijalar hamda tajriba (3) natijalari uchun deformatsiya o‘zgarish grafiklari

Deformatsiyaning vaqt birligi ichidagi o‘zgarish grafigi 1-rasmda keltirilgan. Olingan natijalar shuni ko‘rsatib turibdiki, iplarning mexanik xususiyatlarini to‘rt parametrlil yadro orqali ifodalash uch parametrlil yadroga nisbatan tajribalar natijasida olingan natijalarga nisbatan yaqin bo‘ladi. Bunday yaqinlik 2-3 % ni tashkil etadi. Uch parametrlil yadro bilan to‘rt parametrlil yadroni tajribadan farqlilik foizi mos ravishda 15 % va 3% ni tashkil etadi. Iplarning tarkibiy qismlari o‘zgartirilishi natijasida, zarur talablarga javob beradigan, shu jumladan, ip sifatiga ijobiy ta’sir ko‘rsatuvchi turli omillarni ishlab chiqish imkoniyati vujudga keladi.

“Modellarga kiruvchi ta’sir funksiyani tanlash va ularning parametrlarini aniqlash” deb nomlangan uchinchi paragrafda yuqoridagi formulalarga kiruvchi ta’sir funksiyani tanlash va ularning parametrlarini aniqlash usullari keltirilgan. O‘tkazilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, ushbu funksiyalar quyidagi shartlarni qanoatlantirishi lozim:

1. $t=0$ bo‘lganda, $\Gamma(t)$ funksiyaning qiymatlari juda katta bo‘lishi lozim.
2. $[0, t]$ oraliqda $\Gamma(t)$ funksiya bo‘yicha olingan integrallar yaqinlashishi lozim.
3. $[0, t]$ oraliqda $\Gamma(t)$ funksiya bo‘yicha olingan integral 1 dan kichik bo‘lishi lozim.

Ishda yuqoridagi shartlarni qanoatlantiruvchi funksiya sifatida Rjanitsin-Koltunov tomonidan taklif qilingan

$$\Gamma(t) = A \exp(-\beta t) / t^{1-\alpha}$$

uch parametrlil yadro o‘rniga takomillashtirilgan to‘rt parametrlil yadro funksiyasi qabul qilingan.

1-rasmda turli yadrolar tajribaviy yadro bilan taqqoslangan. Shu sababli, keyingi tadqiqotlarimizda obyektning xossalarini to‘liq o‘rganish maqsadida takomillashtirilgan to‘rt parametrli Rjanitsin-Koltunov yadrosini qo‘llashni ma’qul ko‘rdik. Ishda Ne30 ipi uchun olingan natijalar misolida Koltunov yadrosini qo‘llashning Nikolayev yadrosiga nisbatan afzalligi sinov masalasi sifatida ko‘rsatib berilgan. Taqqoslash natijalaridan ko‘rinib turibdiki, to‘rt parametrli yadroni qo‘llash natijalari tajribaviy egri chiziqlar bilan deyarli ustma-ust tushadi.

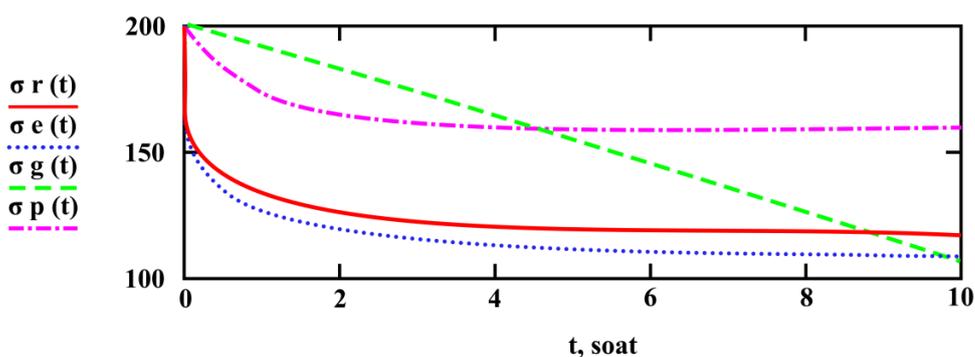
Tajribalar turli kuchlanishlarda ham o‘tkazilgan. Ushbu tajribalar natijalaridan foydalanib, kuchlanishning vaqt birligi davomidagi o‘zgarish grafiklarini tuzamiz (2-rasm). Tajriba natijalari shuni ko‘rsatadiki, bu egri chiziqlar tarqoqligi 5 % dan kam bo‘lgan ma’lum bir dastani hosil qiladi. Demak, $0 \leq \sigma \leq 0,2\sigma_B$ kuchlanishlar oralig‘ida ($\sigma_B = 764,96$ MPa – ip uzilgandagi kuchlanish) ip chiziqli xarakterga ega va bu ip uchun chiziqli modeldan foydalanish mumkin. Masala $\Gamma_{\alpha, \beta}(t)$ to‘liq bo‘lmagan funksiyaning A, α, β qiymatlarini aniqlashga olib kelinadi.

$$F(x, t) = E \left(1 - A \int_0^t I^{-\beta} s^{\alpha-1} ds \right) = E \left(1 - \Gamma_{\alpha, \beta}(t) \right) \quad (2)$$

Ushbu formulani minimizatsiyalash yo‘li bilan iplarning mexanik parametrlarini yetarli darajadagi aniqlikda aniqlash mumkin. Yuqoridagi masalani ushbu usul yordamida yechish natijasida parametrlarning quyidagi qiymatlari topildi:

$$A=0,02716; T= 10 \text{ sN}; q=0,36; p=0,64; \alpha=0,0754; \beta=0,0043.$$

Masalaning bunday usulda yechilishi yetarli qulaylik va aniqlikka ega.



2-rasm. Vaqt birligida kuchlanishning o‘zgarish grafiklari

$\sigma_r(t)$ – Rjanitsin-Koltunov yadrosining egri chizig‘i; $\sigma_e(t)$ – eksperimental egri chizig‘i;
 $\sigma_g(t)$ – Rabotnov yadrosining egri chizig‘i; $\sigma_p(t)$ – darajali funksiyaning egri chizig‘i.

“Iplarning nostabillik xususiyatini hisobga oluvchi matematik modellari va ularga kiruvchi parametrlarini aniqlash” deb nomlangan to‘rtinchi paragrafda qovushqoq-elastiklik nazariyasi tenglamalarining nostabillik xususiyatlarini hisobga oluvchi modellar tavsiya etish va ularga kiruvchi parametrlarni aniqlash masalasi ko‘rilgan. Kuchlanish va deformatsiya orasidagi bog‘lanishni

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) - E \int_0^t W(t, \tau)\varepsilon(\tau)d\tau \quad (3)$$

ko‘rinishda qabul qilamiz. Bu yerda W – vaqtning funksiyasidan iborat temperatura, namlik va h.k. ifodalovchi parametr.

Agar W deformatsiyalanish jarayonida o‘zgarmasdan qolsa, yadro vaqtlar ayirmasining funksiyasidan iborat bo‘ladi, lekin (3) dan farqli ravishda W parametrga bog‘liq bo‘ladi:

$$\sigma(t) = E(w\varepsilon(t)) - E \int_0^t W(w, t - \tau)\varepsilon(\tau)d\tau \quad (4)$$

(4) ifodaga kiruvchi yadroning ko‘rinishini quyidagicha tanlaymiz:

$$W(w, t - \tau) = A_0(w)\exp(-\beta_0(w)(t - \tau))/((t - \tau)^{1-\alpha}) \quad (5)$$

har xil namliklarda tajribalar o‘tkazib, $E(w), A_0(w), \beta_0(w), \alpha(w)$ funksiyalarni aniqlash mumkin. Buning uchun

$$J(t, w) = J_0(w) + \sum J_\infty(w)[1 - \exp(-ta_T/\tau_n)] \quad (6)$$

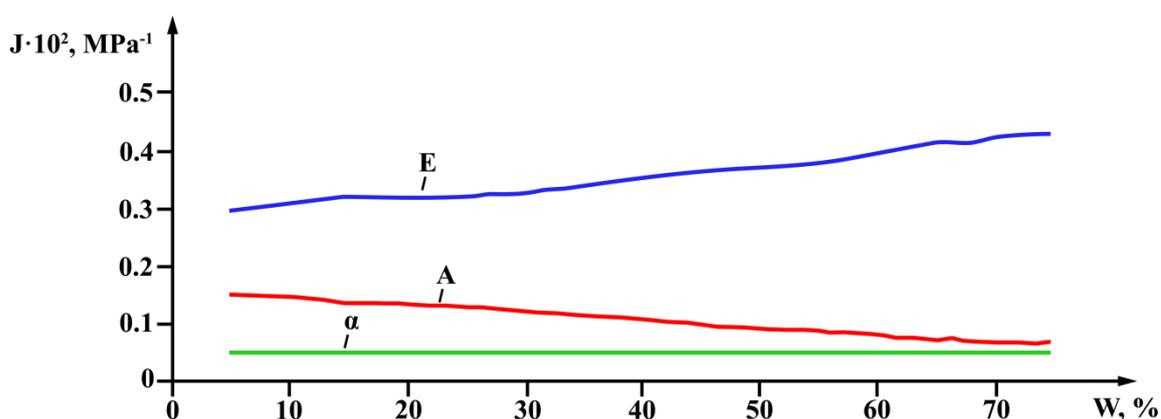
funksional bilan aniqlanuvchi ifodani kiritamiz.

Bunda

$$J(t) = \varepsilon(e)/\sigma_0$$

Bu funksionalni qurish, undagi parametrlarni aniqlash usuli *namlik-vaqt analogiyasi* deyiladi. Bu usul orqali tezkor tajribalarni o‘tkazish mumkin.

E, A, α parametrlarning w namlikka bog‘liqligini ifodalovchi egri chiziqlar bo‘lib, ularning tahlili quyidagi grafiklarda keltirilgan (3-rasm):



3-rasm. Qovushqoq-elasticlik parametrlarining namlikka bog‘liqligini ifodalovchi grafiklar

Bu grafiklardan ko‘rinib turibdiki, namlikning o‘zgarishi bilan elasticlik moduli E ma’lum qiymatgacha o‘sadi, parametr A kamayadi, α esa deyarli o‘zgarmaydi.

“Iplarning nochiziqilik xususiyatini hisobga olgan holda modellashtirish” deb nomlangan beshinchi paragrafda katta deformatsiyalarda ipning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holati nochiziqi bog‘lanishlar orqali ifodalangan. Olingan tajribaviy natijalarga tayangan holda va Bolsman-Volter ishlariga asosan kuchlanish-deformatsiya orasidagi bog‘lanishni

$$\varepsilon_{ij}(t) = \int_0^t K_{1ijkl}(t - \tau)\sigma_{kl}(\tau)d\tau + \int_0^t \int_0^t K_{2ijkl}(t - \tau, t - s)\sigma_{kl}(\tau)\sigma_{kl}(s)d\tau ds + \dots$$

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^t R_{1ijkl}(t - \tau)\varepsilon_{kl}(\tau)d\tau + \int_0^t \int_0^t R_{2ijkl}(t - \tau, t - s)\varepsilon_{kl}(\tau)\varepsilon_{kl}(s)d\tau ds + \dots$$

ko‘rinishda ifodalash mumkin. Bu ifodalarga kiruvchi K va R yadrolar mos ravishda *oquvchanlik va relaksatsiya yadrolari* deyiladi va ular tajribalar orqali aniqlanadi. Xususiyl holda Ilyushinning uchinchi darajali nochiziqilik nazariyasiga asosan yuqoridagi munosabatlardan quyidagi formulani yozish mumkin:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K_1(t-s)\sigma(s)ds + b \int_0^t K_2(t-s)\sigma^3(s)ds \right] \quad (7)$$

Bu ifodaga kiruvchi barcha parametrlar tajriba orqali aniqlanadi.

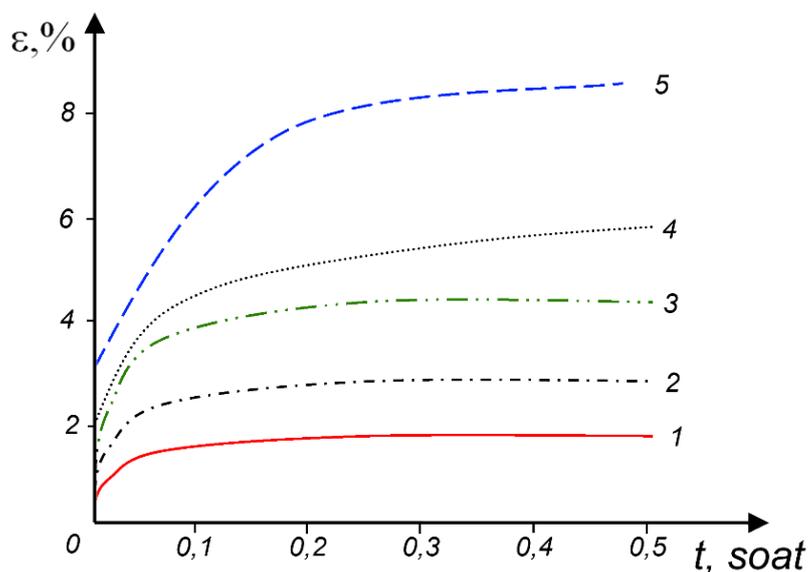
Dissertatsiyaning **“Iplarning mexanikaviy xarakteristikalarini aniqlashning tajribaviy usullari”** deb nomlangan **uchinchi bobida** iplarning mexanik xarakteristikalarini aniqlashning tajribaviy usullari keltirilgan. Tajriba uchun obyekt sifatida “Mergan Teks” mas’uliyati cheklangan jamiyatida Ne30, Ne 40 – paxta va aralash tolali iplar tanlandi. Ulardan namunalar olinib, iplarning mexanik parametrlari Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti CENTEXUZ sertifikatсион laboratoriyasining STATIMAT, TW-3 uskunalarda aniqlandi. Iplarning uzilish kuchi va uzilishdagi cho‘zilishi aniqlangandan keyin navbatdagi tajribalar ipga uzilish kuchidan kam bo‘lgan ($P < 0.6N$) yuklanishlar ostida o‘tkazilgan. Bunda, iplarning cho‘zilishdagi tezliklari har xil qilib olingan.

Tajriba natijasida:

a) Ne 30/1 va Ne 40/1 bo‘lgan iplarning deformatsiyalanishidagi o‘xshashlik va farqlilik xususiyatlari aniqlandi;

b) iplar mustahkamligining miqdoriy ko‘rsatkichlarini taqqoslash orqali ularning umumiylik qonuniyatlari ishlab chiqildi.

Iplarga uzuvchi kuchning 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 qismlariga teng bo‘lgan yuklar qo‘yilib, oquvchanlikka tajribalar o‘tkazildi va tajriba natijalari 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. Oquvchanlik egri chiziqlari:

1 – 0,1σ_B; 2- 0,2σ_B; 3- 0,3σ_B; 4 – 0,4σ_B; 5 – 0,5σ_B

4-rasmdagi tajriba egri chiziqlardan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Yuklanish tezligi qancha katta bo‘lsa, deformatsiya egri chizig‘i shunchalik yuqorida joylashgan bo‘ladi.

2. Bir xil kuchlanish ta’siridagi ipning oquvchanlik egri chiziqlari vaqtning har xil oraliqlarida har xil bo‘lib, biri ikkinchisiga parallel joylashadi va namuna uzilguncha bunday holatni saqlaydi.

3. Iplarning orqaga qaytmaydigan to‘liq deformatsiyasi yuklanish vaqtining o‘zgarishi bilan kamayib boradi.

4. Oquvchanlik egri chiziqlariga teskari bo'lgan egri chiziqlar yuksizlantirgandan keyin ham o'zaro parallelligicha qoladi.

5. Kichik tezlanishli yuklanishlar ta'sirida kuchlanishning bir xil qiymatlarida iplarning mustahkamligi kamayadi, namuna deformatsiyaning chegaraviy qiymatiga erishmasdan uzilishi mumkin.

Agar yuklanish tezligi juda kichik bo'lsa, namuna kuchlanish berilgan qiymatiga erishmasdanoq, yuklanish jarayonida ip uzilishi mumkin.

Volterning integral formulalaridan polimerlar uchun o'tkazilgan tajribalarni tahlil qilishda foydalanamiz.

Agar namuna o'zgaruvchi tezlik bilan yuklansa, A.A.Ilyushin, .E.Pobedrya ishlab chiqqan usulga asosan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$L(t) = [1 - \sigma(t)/E\varepsilon(t)] = \int_0^t Q(x)dx \quad (8)$$

bunda,

$$Q(x) = \int_0^x R(a)da$$

Bunda x – yangi o'zgaruvchi; $0 \leq x \leq t$. $\sigma(t)/E\varepsilon(t)$ nisbat ipning kuchlanish relaksatsiyasini ifodalaydi.

(8) formulani vaqt bo'yicha differensiallab,

$$L^1(t) = 1 - \frac{\sigma(t)}{E\varepsilon(t)} - \frac{\sigma(t)}{Ev\varepsilon} = \int_0^t R(x)dx \quad (9)$$

formulani hosil qilamiz. Shunday qilib, (8) tenglamaning chap tomonida tajriba orqali aniqlanadigan $L(t)$, o'ng tomonida esa yadroni o'z ichiga olgan ta'sir funksiyasi (9) ga kiradigan ifodaga keltiriladi. Agar yadroning ko'rinishi berilgan bo'lsa,

$$\Phi = \sqrt{\frac{1}{N} \int_{i=0}^N \left(\frac{L_i^{1N} - L_i^{1T}}{L_i^{1T}} \right)^2} \cdot 100\% \quad (10)$$

funksional qurib, uni minimizatsiya qilib, tajribaviy qiymatlarning eng yaxshi approksimatsiyasini qurib, yadroning ratsional parametrlari aniqlanadi. Bu formulalardan foydalanib, iplarning mexanik xususiyatlarini aniqlovchi va ta'sir funksiyasiga kiruvchi parametrlari aniqlandi. Kuzatilayotgan Ne 40 paxta ip uchun yuqorida keltirilgan usulni qo'llab, yadro parametrlari uchun quyidagi qiymatlarni hosil qilamiz:

$$T = 10 \text{ sN}; p = 0,64; q = 0,36; A = 0,02065$$

Dissertatsiyaning **“Qovushqoq-elastiklik nazariyasi asosida iplar dinamikasini tadqiq etish”** deb nomlangan to'rtinchi bobida iplarga ta'sir etayotgan kuchlarning klassifikatsiyasi keltirilgan bo'lib, iplarning dinamikasi tadqiq etilgan. Iplar dinamikasini analitik tadqiq etish uchun to'quv dastgohining har bir zonasida harakatlanayotgan ipning dastgoh elementlari bilan o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda, harakatning differensial tenglamalarini qurish, urinish nuqtalaridagi o'zaro ta'sirlarni hisobga olgan holda ularni yechish talab etiladi.

Dastlab misol tariqasi sifatida to'quv dastgohining asosi bo'lgan bosh val bilan birgalikda harakatlanayotgan ipning qovushqoq-elastiklik xususiyatini hisobga olgan holdagi tebranma harakatini o'rganib chiqamiz. Harakat tenglamasi sifatida I.I.Migushov tomonidan chiqarilgan harakat tenglamasida elastiklik modulini

operatorlar orqali almashtirib, quyidagi integro-differensial tenglamani hosil qilamiz:

$$a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + a^2 \int_0^t \Gamma_1(t-\tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} d\tau + e \int_0^t \Gamma_3(t-\tau) \frac{\partial^2 u^3}{\partial x^2} d\tau + f(t); \quad (t_1 < t < t_2) \quad (11)$$

bunda t_1 – kuch ta'sir etish vaqti; t_2 – kuch ta'siri to'xtagan vaqt.

(11) ko'rinishdagi integro-differensial tenglama quyidagi chegaraviy va boshlang'ich shartlarni qanoatlantirishi kerak:

$$u_i /_{x=0} = q_1(t); u_i /_{x=L} = q_2(t); \quad i = 1, 2, 3 \quad (12)$$

$$u_1 /_{t=0} = 0; \quad \frac{\partial u_1}{\partial t} /_{t=0} = 0; \quad u_2 /_{t=t_1} = u_1 /_{t=t_1}; \quad \frac{\partial u_2}{\partial t} /_{t=t_1} = \frac{\partial u_1}{\partial t} /_{t=t_1};$$

$$u_3 /_{t=t_2} = u_2 /_{t=t_2}; \quad \frac{\partial u_3}{\partial t} /_{t=t_2} = \frac{\partial u_2}{\partial t} /_{t=t_2} \quad (13)$$

(11) tenglamaga Bubnov-Galerkin metodini qo'llab qo'yilgan masala

$$\ddot{T}(t) + 2b\dot{T}(t) + \lambda^2 T(t) + \gamma T^3(t) = \lambda^2 \int_0^t \Gamma(t-s)T(s)ds + \gamma \int_0^t \Gamma_1(t-3)T^3(s)ds + f(t) \quad (14)$$

$$T(t=0) = T_0;$$

$$\dot{T}(t=0) = \dot{T}_0$$

ko'rinishdagi integro-differensial tenglamalar sistemasiga keltiriladi.

Shuni ta'kidlab o'tish joizki, iplarning bo'ylama, ko'ndalang va buralma tebranma harakatlari ham (14) integro-differensial tenglamalar sistemasiga keltiriladi. (14) ko'rinishdagi integro-differensial tenglamalar o'rtalashtirish, Laplasning integral o'zgartirishlar, L.E.Malsev darajali qator usullari bilan yechiladi. Bu ishda L.E.Malsev usuli noxiziqli tenglamalar uchun umumlashtirilgan. (14) integro-differensial tenglamalarni o'ziga yaqin bo'lgan differensial tenglamalar bilan almashtiramiz.

$$\ddot{\bar{T}}(t) + a_1 \dot{\bar{T}}(t) + a_2 \bar{T}(t) + a_3 \bar{T}^3(t) = \bar{f}(t)$$

$$\bar{T}(t=0) = \bar{T}_0; \quad (15)$$

$$\dot{\bar{T}}(t=0) = \dot{\bar{T}}_0$$

bunda

$$a_1 = 2b + \lambda\omega_s + \gamma\omega_{s1}$$

$$a_2 = \lambda^2(1 - \omega_c) \quad (16)$$

$$a_3 = \gamma(1 - \omega_{c1})$$

$$\omega_{\bar{n}} = \int_0^t \tilde{A}(s)\cos(\lambda s)ds; \quad \omega_{\bar{n}1} = \int_0^t \tilde{A}_1(s)\cos(\lambda s)ds; \quad \omega_s = \int_0^t \tilde{A}(s)\sin(\lambda s)ds;$$

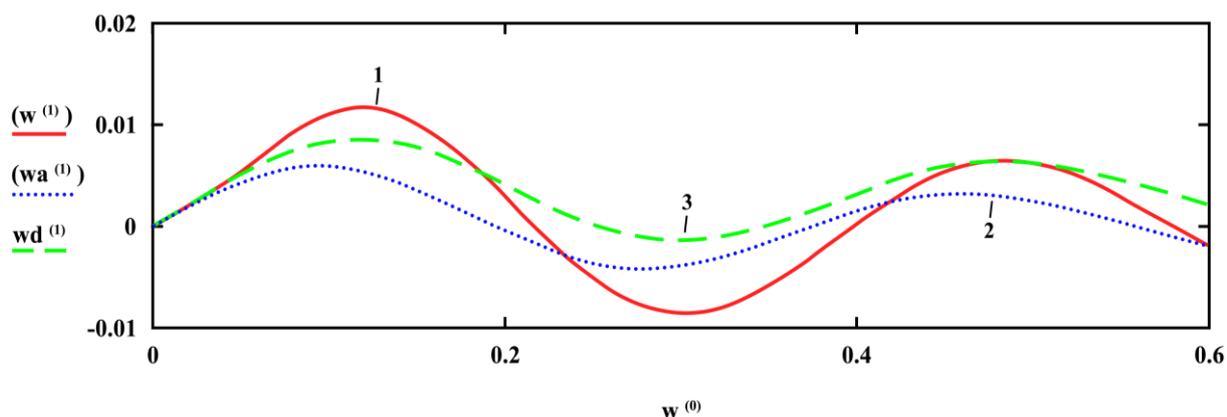
$$\omega_{s1} = \int_0^t \tilde{A}_1(s)\sin(\lambda s)ds \quad (17)$$

(15) tenglamaning yechimini S.S.Yuxin, S.A.Siplina tomonidan ishlab chiqilgan sonli usul bilan aniqlaymiz. Umumiy holda (11-13) tenglamalarning koeffitsiyentlari o'zgaruvchan va vaqtning funksiyasidan iborat bo'ladi.

Bu yerda tashqi kuchning uchta ko'rinishiga asosan tenglamani yechamiz:

1. $f(t) = f_0 \sin \omega t$ – kuch funksiyasi garmonik ko'rinishda.
2. $f(t)$ – kuch uchburchakli impuls ko'rinishida.
3. $f(t)$ – kuch to'rtburchakli impuls ko'rinishida.

Ip nuqtalarining ko‘chishlarini ifodalovchi grafiklar 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. Ip nuqtalari ko‘chishlarini ifodalovchi grafiklar:

1 – elastik ip, 2 – qovushqoq-elastik ip, 3 – nochizizli qovushqoq-elastik ip

5-rasmda keltirilgan grafiklardan ko‘rinib turibdiki, ip nuqtalarining ko‘chishlari tebranma harakat ko‘rinishida bo‘lar ekan. Grafikda mos ravishda iplarning 1-elastik, 2-qovushqoq-elastik va 3-nochizizli qovushqoq-elastik iplarning ko‘chish qonuniyatlari keltirilgan. Ip nuqtalarining ko‘chishlari ma’lum bo‘lganidan so‘ng ipning kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holatini baholash mumkin.

Grafikdagi $w^{(1)}$ – ucburchakli impuls ta’siridagi ko‘chish; $wa^{(1)}$ – to‘rtburchakli impuls ostidagi ko‘chish; $wd^{(1)}$ – garmonik kuch ta’siridagi ko‘chish; $w^{(2)}$, $wa^{(2)}$, $wd^{(2)}$ – yuqoridagilarga mos keluvchi ko‘chish tezliklarini ifodalaydi. w ma’lum bo‘lgandan keyin u ni aniqlaymiz va undan keyin deformatsiya $\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$ formuladan topiladi.

Ishda taklif etilgan usul ixtiyoriy vaqt t va koordinata x larning qiymatlari uchun qaralayotgan mexanik sistemaning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini to‘liq aniqlaydi.

Umumiy holda esa harakatlanayotgan ipning deformatsiyalanish jarayonini ifodalovchi integro-differensial tenglama

$$\ddot{T}(t) + \omega^2 [T(t) - \int_0^t \Gamma_1(t-\tau)T(\tau)d\tau] + \rho\omega^2 [T^3(t) - \int_0^t \Gamma_3(t-\tau)T^3(\tau)d\tau] = f(t) \quad (18)$$

ko‘rinishga keltirilgan. Ushbu tenglamani sonli usul bilan yechish natijasida ipning ko‘chish va deformatsiyalanishlari aniqlangan. Ulardan ko‘rinib turibdiki, iplarning qovushqoq-elastiklik xususiyatini hisobga olish ip nuqtalaridagi ko‘chish va deformatsiyani 5-6 % ga kamaytiradi.

Olib borilgan izlanishlar natijasida harakatlanayotgan iplarning deformatsiyalanish qonuni aniqlandi. Taklif etilgan uslub orqali harakatdagi ipning ixtiyoriy vaqtdagi hamda ixtiyoriy nuqtasining ko‘chishi va deformatsiyasini aniqlash mumkin. Deformatsiya aniqlangandan so‘ng ipdagi kuchlanishni topish mumkin bo‘ladi. Qaralgan masala chiziqli bo‘lib, olingan natijalar sonli usul bilan yechilgan nochizizlilik masalalari bilan solishtirilganda oraliqdagi farq 10-12 % ni tashkil etishi aniqlandi.

To‘qima ishlab chiqarish jarayonida tashqi va ichki kuchlar ta’siridagi ip murakkab harakatda bo‘ladi. Jumladan, u bo‘ylama, ko‘ndalang va buralma tebranma

harakatlarda bo‘ladi. Bunday tebranma harakatlar muhim bo‘lganligi uchun, iplarning qovushqoq-elastik va nochiziqlik xususiyatlarini hisobga olgan holda qarab chiqamiz.

Ma’lumki, umumiy holda bo‘ylama tebranma harakat, ko‘ndalang tebranma harakat va buralma tebranma harakatlar qaralib, ularning harakat differensial tenglamalari

$$E\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} d\tau\right] + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + F(x,t) = 0 \quad (19)$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

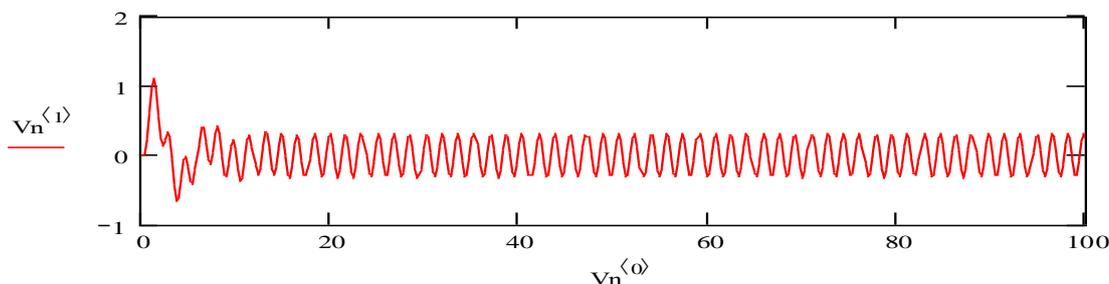
(19) tenglamaning yechimini erkin tebranma harakatning umumiy yechimi va majburiy tebranma harakatning xususiy yechimlari yig‘indisi ko‘rinishida ifodalaymiz.

Umumiy holda (19) tenglamaning yechimi ularga mos boshlang‘ich va chegaraviy shartlarga asosan sonli usulda aniqlangan.

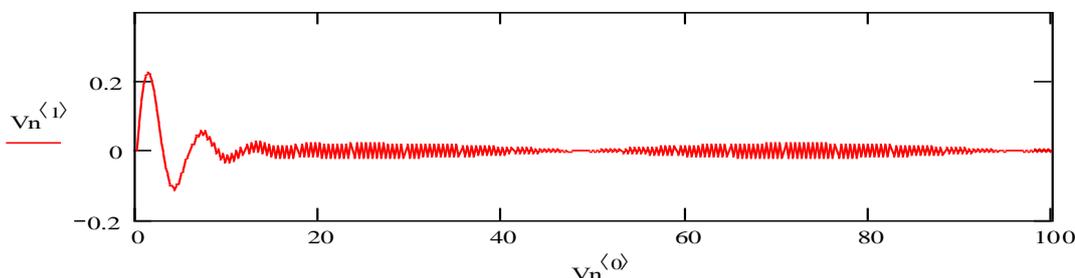
$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} N_n(t) \sin \frac{n\pi}{l} x$$

Tenglamalar sonli usul bilan “Mathcad” dasturi yordamida yechiladi. Natijalar 6-rasmda keltirilgan.

a)



b)



6-rasm. Qovushqoqlik xususiyatini hisobga olgan holdagi buralma tebranma harakatiga tashqi kuch chastotasining ta’sirini ifodalovchi grafiklar:

a) $p = 3,7$; b) $p = 12,5$;

Shuni ta’kidlash joizki, taklif etilgan usul bilan nafaqat to‘qimachilik elementlarini, balki mashinasozlik konstruksiya elementlarini ham mustahkamlikka hisoblash imkoniyatini beradi. Bunda, ta’sir etayotgan kuch ixtiyoriy, jumladan, ossillogramma ko‘rinishida ham berilishi mumkin.

Yuqoridagi grafiklarda tebranishlarning vaqt davomida o‘zgarishini ko‘rsatuvchi egri chiziqlar tasvirlangan. Ulardan ko‘rinib turibdiki, ipning

qovushqoqlik xususiyatini hisobga olish undagi ko'chishlarning kamayishiga olib keladi. Shuningdek, qovushqoqlik xususiyatini hisobga olish ip harakatining stabillashiga olib keladi. Bundan tashqari, qovushqoqlik xususiyatini hisobga olishlik iplar dinamikasini nazariy jihatdan tadqiq etish, jumladan, jismni xarakterlovchi mexanikaviy xarakteristikalarining ratsional qiymatlarini aniqlash imkoniyatini beradi.

UMUMIY XULOSALAR

1. Iplarning qovushqoq-elastiklik xususiyatlarga ega ekanligi nazariy va eksperimental usullar yordamida isbotlandi.
2. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar asosida iplarning mexanik modeli sifatida Bolsman-Volter integral munosabatlarini qo'llash imkoniyati asoslandi.
3. Iplar uchun matematik modelga kiritilgan ta'sir funksiyasining yadrosi sifatida kuchsiz singulyarlik xususiyatiga ega bo'lgan to'rt parametrlilik yadrodan foydalanish mumkinligi aniqlandi. Bu yadro umumiy xarakterga ega bo'lib, tajribalar asosida osonlik bilan aniqlanadi.
4. Tajribalar natijalari asosida relaksatsiya egri chiziqlaridan yadroga kiruvchi parametrlarni va mexanik parametrlarni aniqlash uslublari keltirildi.
5. Iplarning anizotrop va nostabillik xususiyatlarini aniqlashda qovushqoq-elastiklik nazariyasidan foydalanish mumkinligi ko'rsatildi hamda taklif etilgan modelga kiruvchi parametrlarni aniqlash uslublari ishlab chiqildi.
6. Iplarning istalgan vaqtdagi kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holatini aniqlovchi oquvchanlik va relaksatsiya tenglamalari qurildi.
7. Iplarning geometrik va mexanik xossalarini hisobga oluvchi va to'qimaning strukturasi ta'sir etuvchi omillarni hisobga oluvchi matematik modellar ishlab chiqildi. To'qimani hosil qiluvchi iplar tarangligini turli holatlarda va parametrlarning turli qiymatlaridagi aniqlash formulasi tavsiya etildi.
8. Ip tarangligi, asosan, ipning elastiklik moduli va deformatsiyalanish xossalariga bog'liqligi ko'rsatildi.
9. Olingan natijalar ip tarangligini aniqlashda qovushqoq-elastiklik nazariyasining nochiziqlilik xususiyatini hisobga olish zarurligini ko'rsatdi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ СОСТАВЛЕННЫЙ НА ОСНОВЕ
НАУЧНОГО СОВЕТА PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АДИЗОВА АЗИЗА ЖУРАКУЛОВНА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НИТЕЙ НА
ОСНОВЕ ТЕОРИИ ВЯЗКОУПРУГОСТИ**

01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по техническим наукам

Бухара–2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована за номером В2022.3.PhD/Т1644 в Высшей Аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно -технологическом институте.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекском, русском, английском (резюме)) размещен на сайте института (www.bmti.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz) размещается.

Научный руководитель:

Мавланов Тулкин

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мардонов Ботир Мардонович

доктор физико-математических наук, профессор

Исмаилов Кубаймурат

доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ташкентский химико-технологический институт

Защита диссертации состоится 23 мая 2025 г. в 15⁰⁰ часов на заседании разового Научного совета составленный на основе Научного совета PhD.03/27.02.2021.FM.101.02 при Бухарском инженерно-технологическом институте. (Адрес: 100118, г.Бухара, ул.Каюма Муртазаева 15. Тел.: (+99865) 223-78-84; факс: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (зарегистрирована за № 361). (Адрес: 100118, г.Бухара, ул.Каюма Муртазаева 15. Тел.: (+99865) 223-78-84).

Автореферат диссертации разослан 8 мая 2025 года.

(протокол рассылки № 1 от 10 апреля 2025 г.)



[Handwritten signatures in blue ink]

М.Х.Тешаев

Председатель разового Научного совета по присуждению ученых степеней, доктор физико-математических наук (DSc)

З.И. Болтаев

Ученый секретарь разового Научного совета по присуждению ученых степеней, доктор физико-математических наук (DSc), профессор

Б.С. Рахмонов

Председатель разового Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, (DSc)

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в различных отраслях промышленности широкое использование комплексных нитей из различных волокон, включая натуральные, синтетические и полимерные, приобретает всё большее значение. В мировом масштабе подготовка, переработка и применение пряжи с заданными свойствами приобретают все большее значение, что требует тщательного изучения физико-механических свойств комплексных нитей. В связи с этим важно учитывать реологические свойства нитей при определении их повреждаемости от различных видов сил на протяжении всего технологического процесса, а также для продления качественных показателей и сроков применения получаемых изделий.

В мире ведутся научно-исследовательские работы по инновационным направлениям, основанным на организации производства текстильной продукции, ее потреблении и экспорте, повышении качества. В связи с этим особое внимание уделяется “...организации производства искусственных волокон с производственной эффективностью в два раза выше, чем продукция, производимая из натуральных волокон, а также текстильных изделий из искусственных волокон, а также созданию “умных” текстильных тканей в инновационном развитии трикотажно-швейной промышленности, научным исследованиям по инновационным направлениям, основанным на создании электронных текстильных тканей, активных тканей, а также антимикробных тканей...”⁵

В нашей республике за последние годы текстильная промышленность стала самой динамично развивающейся отраслью народного хозяйства Узбекистана, лидером по привлечению иностранных инвестиций и экспорту продукции, роль легкой промышленности в экономике страны значительно возросла, и достигаются определенные результаты. В Указе Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года №УП-6097 “Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года”, в том числе “...прогнозирование научного и научно-технического развития: систематический процесс прогнозирования научно-технического развития, формирования информации о научных исследованиях, необходимой отечественным и мировым производителям масштабной научной продукции...”⁶ и в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 “О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы”⁷ по “созданию широких возможностей во всех сферах для реализации инновационных проектов, внедрению современных механизмов поддержки научных исследований и инновационных инициатив” поставлены важные задачи. При реализации этих задач, в том числе для достижения эффективных научных результатов в текстильной промышленности, важным является создание математических моделей нитей на основе теории вязкоупругости и совершенствование методов определения механических параметров, входящих в эти модели.

Постановление Президента Республики Узбекистан от 25 декабря 2018 года №ПП-4077 “О мерах по ускорению процесса модернизации производственных

⁵ <https://zenodo.org/records/5675967>

⁶ Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года №УП-6097 “Об утверждении Концепции развития науки до 2030 года”.

⁷ Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 “О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы”.

мощностей, технического и технологического перевооружения отраслей промышленности”, Указ Президента Республики Узбекистан, от 05 мая 2020 года №УП-5989 “О неотложных мерах по поддержке текстильной и швейно-трикотажной промышленности”, Указ Президента Республики Узбекистан, от 21 января 2022 года №УП-53 “О мерах по стимулированию глубокой переработки, производства и экспорта готовой продукции с высокой добавленной стоимостью текстильными и швейно-трикотажными предприятиями”, Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 “О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы”: “Увеличить объем производства продукции текстильной промышленности в 2 раза”⁸, Указ Президента Республики Узбекистан от 1 мая 2024 года №УП-71 “О мерах по выведению на новый этап развития текстильной и швейно-трикотажной промышленности” и в выполнении вопросов, предусмотренных нормативно-правовыми документами, принятыми в этой области, а также обязанностей, установленных иными нормативно-правовыми документами, связанными с этой деятельностью в определенной степени служат результаты исследования данной диссертации.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий Республики IV. “Математика, механика и информатика”.

Степень изученности проблемы.

Первыми исследователями механики идеальной пряжи обычно называют учёных XVIII-XIX вв., таких как Я.Бернулли, Л.Эйлер, Ш.Кулон, Ж.Лагранж, Сен-Венан, Г.Кирхгоф, А.Клебш, которые изучали механику тонких стержней и упругих нитей на основе общих уравнений теории упругости. В конце XIX – начале XX вв. статику и малые колебания тонких стержней изучали такие учёные, как А. Ляв, Э.Л.Николай, Г.Камель.

Вопросами кинематики и динамики линейных упругих волокон и тонких стержней в середине XX века занимались такие ученые, как Е.П.Попов, Г.Ю.Джанелидзе, А.Л.Стасенко, В.А.Светлицкий, Х.Лоренц. Вопросы взаимодействия упругих нитей с абсолютно жестким цилиндром при изгибе изучались в середине XX века В.С.Живовым, И.И.Мигушовым, А.П.Минаковым, В.П.Полухиным, И.С.Заком, В.М.Никифоровым, Г. Камелем. Сильное изгибание нитей в ткацких процессах изучалось в конце XX века такими учеными, как Е.Д.Ефремов и В.С.Живов. В то же время Н.И.Кудряшова, Б.А.Кудряшов и другие ученые показали, что необходимо учитывать незначительную эластичность текстильных нитей, и наиболее полное решение этот вопрос нашел в трудах И.И.Мигушова. Различные теоретические и практические вопросы механики упругих нитей при кручении и изгибе рассматривались в трудах С.Г.Зарецкаса, В.М.Кагана, Д.Ф. Артура и А.Ф. Веллера, Х.Дойссена, А.Н.Динника.

Итак, к началу нашего века статические, кинематические и динамические вопросы механики нитей были хорошо изучены, свое обобщенное выражение она нашла в трудах таких ученых, как А.П. Минаков и В.Г. Щедров, В.А. Светлицкий, И.И. Мигушов, Ю.В. Якубовский, С. Живов и Я.И. Коритисский, Р. Мередит и Дж.В.С. Джерле, в этом плане вклад узбекских ученых Х.А. Рахматуллина и М.Т.

⁸ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 “О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы”.

Уразбаева, а также профессоров ТТИЛП Г.Н. Болдинского и М. Эргашова в исследования динамики нитей неоценим, и мы по праву можем гордиться этим.

Различные исследования по механике нитей, проведенные за последнее десятилетие под руководством профессора Т. Мавланова, внесли значительный вклад в развитие этого направления. В этих работах для современных технологий рассматривается ряд наиболее актуальных вопросов механики нити и тканей. Также опубликованные статьи К.С.Султанова, С.И.Исмаиловой, Г.Б.Абдиевой в развитии механики нити нашли свое место.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках хозяйственного договора № 5-21 между Бухарским инженерно-технологическим институтом и ООО “Vobkent Tola Cluster” на период с 11.02.2021 по 31.12.2022 в рамках темы “Снижение обрывности нити и оценка показателей качества на прядильных фабриках”.

Цель исследования заключается в моделировании напряженно-деформированного состояния нитей, работающих в сложном технологическом процессе, и создании соответствующих этим моделям математических моделей, определении рациональных значений входящих в них параметров, прогнозировании вязкоупругих свойств нитей, создании новых материалов с заданными свойствами.

Задачи исследования:

определить влияние нагрузки на нити разного состава и проверить ее текучесть;

определить влияние режима нагружения на вязкоупругих свойств нитей и его влияние на технологический процесс;

создание математических моделей нитей на основе теории вязкоупругости и совершенствование методов определения параметров, входящих в эти модели;

совершенствование методов аппроксимации экспериментально построенных кривых текучести и релаксации и прогнозирования вязкоупругих свойств нитей;

построить функции влияния, определяющие вязкоупругие свойства нитей, и усовершенствование методики определения входящих в них параметров;

изучение динамики нитей на основе теории вязкоупругости;

решение практических задач механики нитей.

Объектом исследования являются нити из хлопчатобумажных и смесовых волокон с различными физико-механическими свойствами.

Предметом исследования является оценка нелинейной деформации нитей с учетом их реологических свойств, совершенствование математических моделей и разработка методов расчета.

Методы исследования. С применением экспериментальных кривых релаксации и текучести, определение четырехпараметрических коэффициентов ядра, входящих в математическую модель, с использованием метода М.А. Колтунова, моделирование процессов, определяющих динамику нитей, и решения дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений с использованием метода “замораживания”.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

в результате разработки принципов аналогов напряжение-деформация-врем

и гипотезы о подобии кривых текучести проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния нити;

на основе общих экспериментов, которые были включены в качестве ядра функции влияния в математическую модель, построенную для потоков, впервые было обнаружено, что можно использовать легко определяемое четырехпараметрическое ядро;

установлено, что результаты выражения механических свойств пряж с использованием четырехпараметрического ядра до 12% точнее результатов, полученных с использованием трехпараметрического ядра Колтунова-Ржаницына;

выведены интегро-дифференциальные уравнения продольных, поперечных и крутильных колебательных движений нитей с вязкоупругими свойствами и усовершенствована методика решения этих уравнений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

для описания вязкоупругих свойств нитей основано на возможности применение теории Больцмана-Вальтера и теории, разработанной А.А.Ильюшиным, с учётом нелинейных свойств этой теории;

разработана математическая модель прогнозирования и оценки учета свойств неустойчивости, нелинейности и вязкоупругости нитей;

предложены методы решения системы интегро-дифференциальных уравнений, описывающих колебания струн под действием различных динамических сил.

Достоверность результатов исследования. Разработанные модели и методы расчета сравнивались с решениями известных модельных задач, имеющих численные и точные аналитические решения. Для каждой рассмотренной задачи результаты сравнивались с требуемым уровнем точности и было подтверждено, что разработанные методы с высокой точностью соответствуют результатам модельных задач с точными решениями.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость полученных результатов исследований обусловлена теоретическим обоснованием вязкоупругих, неустойчивых и нелинейных свойств нитей и разработкой математических моделей механики нитей.

Практическая значимость исследования основана на определении оптимальных параметров, обеспечивающих устойчивость системы и получение качественной продукции при воздействии на нити динамических сил с учетом влияния вязкоупругих, неустойчивых и нелинейных свойств материала.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, разработанных по определению механических параметров нитей на основе теории вязкоупругости:

закономерность изменения деформации, возникающей в нити за единицу времени, методы оперативного определения механических параметров, отражающих вязкоупругие свойства нитей и ткани при нагружении с различными скоростями внедрено в производство при выпуске нити из хлопчатобумажных и синтетических волокон на предприятиях ООО “Mergan Teks” и ООО “Kamalak Shabnam Teks” Бухарской области, входящих в состав ассоциации “Узтекстильпром” (справка предприятия ООО “Mergan Teks” Бухарской области от 27.10.2023 г. и справка предприятия ООО “Kamalak Shabnam Teks” от 24.11.2023 г.). В результате с учетом вязкостных свойств достигнуто снижение

перемещений и напряжений в нитях на 10-12%, стабилизация их движения, а также повышение прочности нитей, чистоты поверхности и стойкости к истиранию тканей на 5-8%;

при определении анизотропных и нестабильных свойств материала использованы рекомендуемые в научной работе интегральные модели, основанные на теории вязкоупругости, и все параметры, характеризующие колебательное движение нити под воздействием внешних и внутренних сил в процессе производства, в том числе, представленные в научной работе формулы определения амплитуды, частоты и силы колебаний были использованы для повышения физико-механических характеристик нити из натуральных и полимерных волокон на предприятии ООО “Al-Nakim Plyus” Бухарской области (справка от 26.12.2023 г. предприятие ООО “Al-Nakim Plyus”), входящем в состав ассоциации “Узтекстильпром”. В результате, учет вязкостных свойств колебательного движения нити и ткани позволил стабилизировать колебательное движение за счет уменьшения амплитуды колебаний, возникающих в ткани, а также уменьшить силу натяжения, возникающую в нити, на 12-16%.

О внедрении результатов исследований по диссертационной работе получена справка № 03/25-1631 от 03.07.2024 г. от Ассоциации “Узтекстильпром” Республики Узбекистан.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены и одобрены на международных и республиканских конференциях, в частности, прошли обсуждение на 8 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследований.

По теме исследования всего опубликовано 26 научных работ. В том числе 9 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, из них 3 опубликованы в республиканских и 6 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 100 страниц.

Автор выражает глубокую благодарность к.т.н. (PhD), доценту Г.Б. Абдиевой за ценные советы и помощь в проведении теоретических и экспериментальных исследований, представленных в диссертационной работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость проводимого исследования, характеризуются цель и задачи, объект и предметы исследования, показана совместимость с приоритетными направлениями развития науки и техники Республики Узбекистан, описаны научная новизна и практические результаты исследования, научно-практическая значимость, подчеркнута научная и практическая значимость результатов эксперимента, приведены сведения о внедрении результатов, опубликованных научных работах а также структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации под названием **“Литературный обзор по определению механических параметров нитей на основе теории вязкоупругости”** представлен краткий анализ литературы, посвященной

определению механических параметров нитей на основе теории упругости.

На основе анализа литературы сделаны следующие выводы: недостаточно определения рациональных параметров натяжений нитей и совершенствования методики моделирования процессов с учетом вязкостных свойств нитей; состояние натяжения и деформации нитей неразрывно связано со временем. Эта зависимость многофакторная и основной его особенностью является нелинейность. Поскольку нити деформированы и обладают вязкоупругими свойствами, для них предлагается использовать нелинейную теорию упругости.

Таким образом, поскольку при производстве пряж со сложной структурой необходимо использовать теорию вязкоупругости для учета внутренних структурных изменений под воздействием внешних сил, показано, что для использования этой теории важно построить математические модели, отображающие процесс, и разработать методы определения параметров, входящих в эти построенные модели.

Во второй главе диссертации под названием **“Механико-математические модели нитей и методика определения их параметров”** представлены методы математического моделирования напряженно-деформированных состояний нитей, участвующих в технологическом процессе, и определения параметров, входящих в математические модели.

В первом параграфе, озаглавленном “Простейшие модели”, аналитическое представление любого тела или физического объекта со сложным процессом деформации ставит ряд проблем, среди которых полное определение физико-механических характеристик рассматриваемого объекта, проектирование новых конструкций, которые могут соответствовать заранее заданным требованиям, а также приводится информация о нескольких моделях, с помощью которых можно определить некоторые свойства изучаемых объектов путем моделирования (модель Максвелла, модель Фойгта, модель Кельвина, четырехэлементная модель и обобщенная трехкомпонентная модель Кельвина-Фойгта) характеристик, которые невозможно определить экспериментально.

Во втором параграфе, озаглавленном “Методы определения параметров ядра для нитей”, представлены рекомендуемые модели и преимущества ядер, входящих в эти модели, а также методы определения входящих в них параметров. Принятое в работе ядро Больцмана учитывает историю материала. Модели Кельвина, Фойгта и Максвелла также возникают как частные случаи моделей Больцмана-Вальтера.

Соответственно, в общем случае для нитей в линейном случае использовались интегральные соотношения Больцмана-Вальтера. При этом ядро осуществляется путем экспериментов или отбора. Например, для трехпараметрического ядра С.Д.Николаев предложил приближенные формулы для определения параметров ядра и модуля упругости.

На основании этого после построения кривой текучести выбираются четыре точки на кривой и предлагаются приближенные формулы для определения параметров ядра с использованием метода наименьших квадратов. Эти формулы имеют следующий вид:

$$A = \frac{\alpha(\alpha + 1)(\sigma_1 - \sigma_2)}{\sigma_1(\alpha + 1)(t_2^\alpha - t_1^\alpha) + (\sigma_1 - \sigma_2)t_1^\alpha};$$

$$\beta = \frac{\sigma_4 - \sigma_1 + EA\varepsilon \left(\frac{t_4^\alpha - t_1^\alpha}{\alpha} \right)}{EA\varepsilon \left(\frac{t_4^{\alpha+1} - t_1^{\alpha+1}}{\alpha + 1} \right)} \quad (1)$$

$$t_1^\alpha(\sigma_2 - \sigma_1) - t_2^\alpha(\sigma_1 - \sigma_3) + t_3^\alpha(\sigma_1 - \sigma_2) = 0$$

$$E = \frac{\sigma_1 \alpha (\alpha + 1)}{\varepsilon [(\alpha + 1)\alpha - A t_1^\alpha]}$$

Проведенные анализы, опыты и численные эксперименты показывают, что приведенные выше формулы, предложенные Николаевым, с точки зрения точности не удовлетворяют предъявляемым требованиям. Поэтому для получения высокоточных результатов мы предлагаем использовать метод Колтунова, который разработал способ определения трехпараметрического ядра и его параметров независимо от уровня сложности.

Таблица 1

Значения параметров ядра и модуля упругости для различных нитей, определенные методами С.Д. Николаева и М.А. Колтунова

Виды нитей	A	A	α	α	β	β	E, МПа	E, МПа
Нить	Н	К	Н	К	Н	К	Н	К
Хлопок	0,106	0,123	0,0366	0,045	0,276	0,125	1420,49	1 494,92
Полиэстер	0,070	0,086	0,0326	0,038	0,451	0,223	8 365,46	8 166,48
Нить из смешанных волокон	0,099	0,067	0,0383	0,052	0,467	0,254	4 019,74	3 714,66

В таблице 1 представлены значения параметров ядра и модуля упругости для нитей из хлопчатобумажного, полиэстерового и смесового волокна, определенные двумя различными методами – методами С.Д. Николаева и М.А. Колтунова.

Метод логарифмического сопоставления М.А.Колтунова широко использовался В.И.Щербаковым и Т.Мавлановым, которые определяли параметры ядра для различных нитей.

В некоторых случаях, когда модуль упругости является постоянной величиной, можно использовать следующее четырехпараметрическое ядро:

$$\Gamma(t - \tau) = \frac{Ae^{-\beta(t-\tau)}}{T^q(t-\tau)^p},$$

Здесь A – амплитуда ядра вязкости; T – начальное натяжение; p и q – параметры ядра вязкости.

В этом выражении A , T , p и q определяют параметры, характеризующие нить, и определяются экспериментально. Для материала, находящегося под действием постоянной силы, соотношение между напряжением и деформацией можно записать следующим образом:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} \left[1 + \frac{A}{T^q} \int_0^t \frac{e^{-\beta(t-\tau)}}{(t-\tau)^p} d\tau \right]$$

Как известно, рассматривая нить как композитный материал и изучая ее свойства, необходимо опираться на теорию вязкоупругости. При этом параметры, входящие в уравнение, с использованием метода М.А. Колтунова были получены в результате экспериментов для пряжи Ne30 приняты следующие

значения параметров:

$$A=0,096; T=10 \text{ сН}; p=0,64; q=0,36; \alpha=1,25; \beta=0,005$$

График изменения деформации за единицу времени представлен на рисунке 1.

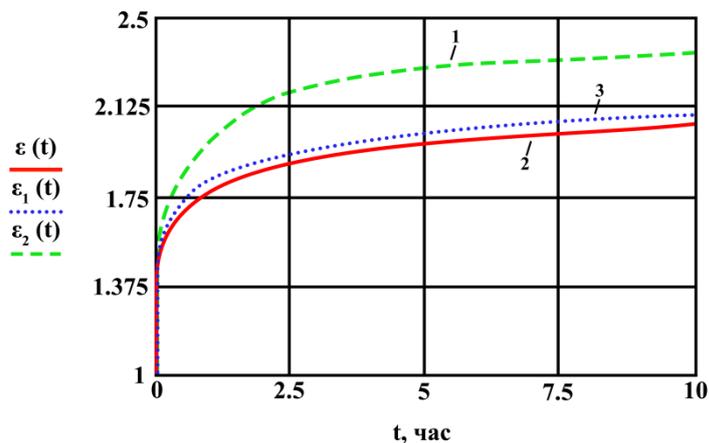


Рисунок 1. Графики изменения деформации для результатов, определенных с помощью трехпараметрического (1) и четырехпараметрического (2) ядер, а также для экспериментальных (3) результатов

Полученные результаты показывают, что выражение механических свойств нитей с использованием четырехпараметрического ядра ближе к результатам, полученным в экспериментах, чем с использованием трехпараметрического ядра. Эта близость составляет 2–3%. Процент отличия четырехпараметрического ядра от эксперимента с трехпараметрическим ядром составляет 15% и 3% соответственно.

Изменяя компоненты, входящие в состав нитей, можно разрабатывать различные факторы, способные отвечать необходимым требованиям, в том числе и положительно влияющие на качество нити.

В третьем параграфе, озаглавленном "Выбор функций воздействия, входящих в модель, и определение их параметров," представлены методы выбора функций воздействия, входящих в вышеуказанные формулы, а также способы определения их параметров. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что эти функции должны удовлетворять следующим условиям:

1. При $t = 0$ значения функции $\Gamma(t)$ должны быть очень большими.
2. На отрезке $[0, t]$ интегралы, взятые по функции $\Gamma(t)$, должны сходиться.
3. Интеграл, взятый по функции $\Gamma(t)$ на отрезке $[0, t]$, должен быть меньше 1.

В работе вместо трехпараметрического ядра, предложенного Ржаницыным-Колтуновым,

$$\Gamma(t) = A \exp(-\beta t) / t^{1-\alpha}$$

принята усовершенствованная четырехпараметрическая функция ядра, учитывающая такие свойства.

На рисунке 1 сравниваются различные ядра с экспериментальным ядром. Именно поэтому в нашей дальнейшей работе мы будем использовать усовершенствованное четырехпараметрическое ядро Ржаницына-Колтунова для

полного изучения свойств объекта. В работе на примере результатов, полученных для нити Ne30, в качестве тестовой задачи показано преимущество применения ядра Колтунова по сравнению с ядром Николаева. Как видно из результатов сравнения, применение четырехпараметрического ядра дает результаты, практически совпадающие с экспериментальными кривыми.

Эксперименты проводились при различных напряжениях. Используя результаты этих экспериментов, построим графики изменения напряжения в единицу времени (рис. 2).

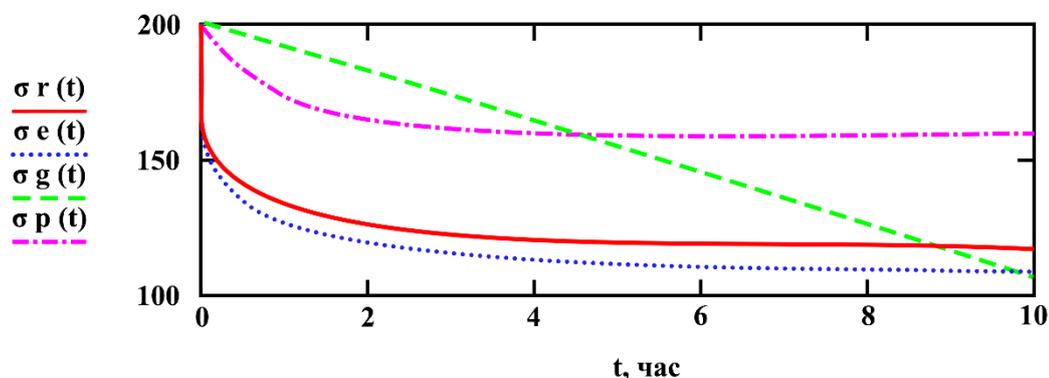


Рисунок 2. Графики изменения напряжения в единицу времени

$\sigma_r(t)$ - кривая ядра Ржаницына-Колтунова; $\sigma_e(t)$ - экспериментальная кривая; $\sigma_g(t)$ - кривая ядра Работнова; $\sigma_p(t)$ - кривая степенной функции

Результаты эксперимента показывают, что эти кривые образуют определенную связку, дисперсия которого составляет менее 5%. Следовательно, в диапазоне напряжений $0 \leq \sigma \leq 0,2\sigma_B$ ($\sigma_B = 764,96$ МПа – предел прочности нитки) нить имеет линейные свойства и для этой нити можно использовать линейную модель. Задача сводится к определению значений A , α , β неполной гамма-функции $\Gamma_{\alpha,\beta}(t)$.

$$F(x, t) = E \left(1 - A \int_0^t I^{-\beta s} s^{\alpha-1} ds \right) = E \left(1 - \Gamma_{\alpha,\beta}(t) \right) \quad (2)$$

Минимизируя эту функцию, можно с достаточной точностью определить механические параметры нитей. В результате решения вышеуказанной задачи данным методом были найдены следующие значения параметров:

$$A=0,02716; T=10 \text{ сН}; q=0,36; p=0,64; \alpha=0,0754; \beta=0,0043.$$

Решение задачи таким способом обладает достаточным удобством и точностью.

В четвертом параграфе под названием “Математические модели, учитывающие свойства неустойчивости нитей и определение их параметров” рассматривается вопрос рекомендации моделей, учитывающих особенности неустойчивости уравнений теории вязкоупругости и определить входящих в них параметры. Мы можем записать соотношение между напряжением и деформацией следующим образом:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) - E \int_0^t W(t, \tau)\varepsilon(\tau)d\tau \quad (3)$$

где W – параметр, представляющий температуру, влажность и т. д. как функцию

времени.

Если в процессе деформации W остается неизменным, то ядро является функцией разницы во времени, но в отличие от (3) оно зависит от параметра W :

$$\sigma(t) = E(w\varepsilon(t)) - E \int_0^t W(w, t - \tau)\varepsilon(\tau)d\tau \quad (4)$$

Выбираем вид ядра, входящего в выражение (4), следующим образом:

$$W(w, t - \tau) = A_0(w)\exp(-\beta_0(w)(t - \tau))/((t - \tau)^{1-\alpha}) \quad (5)$$

Проводя эксперименты при различных уровнях влажности, можно определить функции $E(w), A_0(w), \beta_0(w), \alpha(w)$. Для этого введем выражение, определяемое следующей функцией

$$J(t, w) = J_0(w) + \sum J_\infty(w)[1 - \exp(-ta_T/\tau_w)] \quad (6)$$

где

$$J(t) = \varepsilon(e)/\sigma_0$$

Метод построения этой функции и определения ее параметров называется *аналогией влажность-время*. Этот метод позволяет проводить быстрые эксперименты.

Кривые зависимости параметров E, A и α от влажности w и их анализ представлены на следующем графике (рис.3).

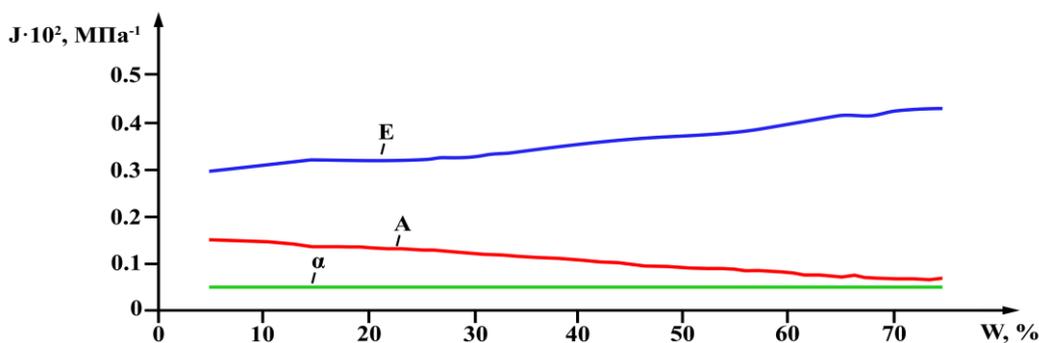


Рисунок 3. Графики зависимости вязкостно-упругостных параметров от влажности

Из этих графиков видно, что при изменении влажности модуль упругости E увеличивается до определенного значения, параметр A уменьшается, а α остается практически неизменным.

В пятом параграфе под названием “Моделирование нитей с учетом нелинейности свойств” напряженно-деформированное состояние нити при больших деформациях выражено через нелинейные зависимости. На основании полученных экспериментальных результатов и работ Больцмана-Вольтера связь между напряжением и деформацией можно выразить следующим образом:

$$\varepsilon_{ij}(t) = \int_0^t K_{1ijkl}(t - \tau)\sigma_{kl}(\tau)d\tau + \int_0^t \int_0^\tau K_{2ijkl}(t - \tau, t - s)\sigma_{kl}(\tau)\sigma_{kl}(s)d\tau ds + \dots$$

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^t R_{1ijkl}(t - \tau)\varepsilon_{kl}(\tau)d\tau + \int_0^t \int_0^\tau R_{2ijkl}(t - \tau, t - s)\varepsilon_{kl}(\tau)\varepsilon_{kl}(s)d\tau ds + \dots$$

Ядра K и R , входящие в эти выражения, называются ядрами текучести и релаксации соответственно, и они определяются экспериментально. В частности, на основе теории нелинейности третьего порядка Илюшина из приведенных выше

соотношений можно записать следующую формулу:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K_1(t-s)\sigma(s)ds + b \int_0^t K_2(t-s)\sigma^3(s)ds \right] \quad (7)$$

Все параметры, входящие в это выражение, определяются экспериментально.

В третьей главе диссертации под названием “Экспериментальные методы определения механических характеристик нитей” представлены экспериментальные методы определения механических характеристик нитей. В качестве объекта эксперимента в ООО “Mergan Teks” были выбраны хлопчатобумажные нитки №30, №40 и смесовые волокна.

Из них были отобраны образцы и определены механические показатели пряжи с помощью оборудования STATIMAT, TW-3 сертификационной лаборатории CENTEXUZ Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. После определения предела прочности и удлинения при разрыве нитей были проведены следующие эксперименты при нагрузках на нить, меньших предела прочности ($P < 0,6$ Н). В этом случае нити растягиваются с разной скоростью.

На нити были приложены нагрузки, равные 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 части разрывной силы, проведены эксперименты по ползучести, и результаты экспериментов представлены на рисунке 4.

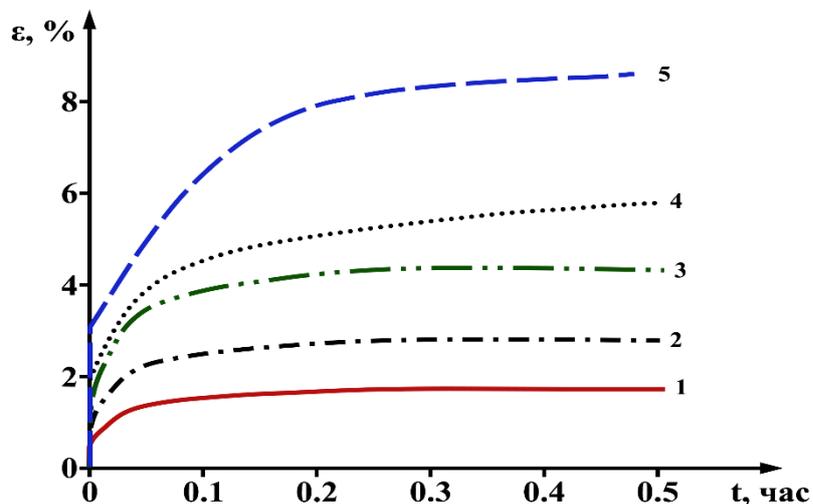


Рисунок 4. Кривые текучести:

1 – 0,1σ_в ; 2- 0,2σ_в ; 3- 0,3σ_в ; 4 – 0,4σ_в ; 5 – 0,5σ_в

Из экспериментальных кривых на рисунке 4 можно сделать следующие выводы:

1. Чем больше скорость нагружения, тем выше расположена кривая деформации.

2. Кривые ползучести нити под действием одинакового напряжения в разные промежутки времени различны, располагаются параллельно друг другу и сохраняют это положение до разрыва образца.

3. Полная необратимая деформация нити уменьшается с изменением времени нагружения.

4. Кривые, обратные кривым ползучести, остаются параллельными друг

другу даже после разгрузки.

5. Под воздействием нагрузок с малыми ускорениями, при одинаковых значениях напряжения, прочность нитей снижается, образец может разорваться, не достигнув предельного значения деформации.

В результате эксперимента:

а) определены сходство и различия в деформации нитей с Ne 30/1 и Ne 40/1;
 б) путем сравнения количественных показателей прочности нитей разработаны их общие закономерности.

Если скорость загрузки слишком мала, нить может порваться во время нагружения раньше, чем натяжение образца достигнет заданного значения.

Интегральные формулы Вольтера мы используем при анализе экспериментов, проводимых с полимерами.

Если образец нагружен с постоянной скоростью, на основе метода, разработанного А.А.Ильюшиным, А.Е.Победря, составим следующее выражение:

$$L(t) = [1 - \sigma(t)/E\varepsilon(t)] = \int_0^t Q(x)dx \quad (8)$$

при этом,

$$Q(x) = \int_0^x R(a)da$$

где x – новая переменная; $0 \leq x \leq t$. Отношение $\sigma(t)/E\varepsilon(t)$ представляет собой релаксацию (ослабление) натяжения нити.

Дифференцируя формулу (8) по времени, получаем следующую формулу:

$$L^1(t) = 1 - \frac{\sigma(t)}{E\varepsilon(t)} - \frac{\sigma(t)}{E v_\varepsilon} = \int R(x)dx \quad (9)$$

Таким образом, в левую часть уравнения (8) дано $L(t)$, определяемую экспериментальным путем, а в правой части приводится к выражению, содержащему ядро, которое входит в функцию влияния (9). Если вид ядра задан, то рациональные параметры ядра определяются путем построения следующей функции, ее минимизации, построения наилучшего приближения экспериментальных значений.

$$\Phi = \sqrt{\frac{1}{N} \int_{i=0}^N \left(\frac{L_i^{1p} - L_i^{1\theta}}{L_i^{1\theta}} \right)^2} \cdot 100\% \quad (10)$$

С помощью этих формул были определены параметры, определяющие механические свойства нитей и входящие в состав функции влияния. Для наблюдаемой хлопчатобумажной нити Ne40, используя описанный выше метод, мы формируем следующие значения для параметров ядра:

$$T = 10 \text{ сН}; p = 0,64; q = 0,36; A = 0,02065$$

В четвертой главе диссертации под названием “Исследование динамики нитей на основе теории вязкоупругости” представлена классификация сил, действующих на нити, и исследована динамика нитей. Аналитическое исследование динамики нитей требует построения дифференциальных уравнений движения с учетом взаимодействия движущейся нити с элементами станка в каждой зоне ткацкого станка и их решения с учетом взаимодействий в

контрольных точках.

Сначала в качестве примера с учетом вязкоупругих свойств изучим колебательное движение нити, движущейся вместе с главным валом, являющимся основой ткацкого станка. В качестве уравнения движения заменим модуль упругости в уравнении движения, выведенном И.И. Мигушовым с помощью операторов, и выведем следующее интегро-дифференциальное уравнение:

$$a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + a^2 \int_0^t \Gamma_1(t-\tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} d\tau + e \int_0^t \Gamma_3(t-\tau) \frac{\partial^2 u^3}{\partial x^2} d\tau + f(t); \quad (t_1 < t < t_2) \quad (11)$$

где t_1 – время действия сил; t_2 – время, когда действие силы прекратилось.

Интегро-дифференциальное уравнение вида (11) должно удовлетворять следующим граничным и начальным условиям:

$$u_i/x=0 = q_1(t); \quad u_i/x=L = q_2(t); \quad i = 1,2,3 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} u_1/t=0 = 0; \quad \frac{\partial u_1}{\partial t} /t=0 = 0; \quad u_2/t=t_1 = u_1/t=t_1; \quad \frac{\partial u_2}{\partial t} /t=t_1 = \frac{\partial u_1}{\partial t} /t=t_1; \\ u_3/t=t_2 = u_2/t=t_2; \quad \frac{\partial u_3}{\partial t} /t=t_2 = \frac{\partial u_2}{\partial t} /t=t_2 \end{aligned} \quad (13)$$

С помощью уравнения (11) методом Бубнова-Галеркина задача сводится к системе интегро-дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} & \ddot{T}(t) + 2b\dot{T}(t) \\ & + \lambda^2 T(t) + \gamma T^3(t) \\ & = \lambda^2 \int_0^t \Gamma(t-s) T(s) ds + \gamma \int_0^t \Gamma_1(t-3) T^3(s) ds + f(t) \quad (14) \\ & T(t=0) = T_0; \\ & \dot{T}(t=0) = \dot{T}_0 \end{aligned}$$

Следует отметить, что продольные, поперечные и крутильные колебательные движения нитей также можно свести к системе интегро-дифференциальных уравнений (14). Интегро-дифференциальные уравнения вида (14) решаются методами усреднения, интегральных преобразований Лапласа и степенных рядов Л.Е.Мальцева. В данном случае Метод Л.Э.Мальцева был обобщен для нелинейных уравнений. Заменим интегро-дифференциальные уравнения (14) аналогичными дифференциальными уравнениями.

$$\begin{aligned} \ddot{\bar{T}}(t) + a_1 \dot{\bar{T}}(t) + a_2 \bar{T}(t) + a_3 \bar{T}^3(t) = \bar{f}(t) \\ \bar{T}(t=0) = \bar{T}_0; \\ \dot{\bar{T}}(t=0) = \dot{\bar{T}}_0 \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} a_1 = 2b + \lambda\omega_s + \gamma\omega_{s1} \\ a_2 = \lambda^2(1 - \omega_c) \\ a_3 = \gamma(1 - \omega_{c1}) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\omega_{\bar{n}} = \int_0^t \tilde{A}(s) \cos(\lambda s) ds; \quad \omega_{\bar{n}1} = \int_0^t \tilde{A}_1(s) \cos(\lambda s) ds; \quad \omega_s = \int_0^t \tilde{A}(s) \sin(\lambda s) ds;$$

$$\omega_{s1} = \int_0^t \tilde{A}_1(s) \sin(\lambda s) ds \quad (17)$$

Решение уравнения (15) определим с помощью численного метода, разработанного С.С.Юхиным и С.А.Сиплиной. В общем случае коэффициенты уравнений (11-13) являются переменными и функцией времени.

Здесь мы решаем уравнение на основе трех видов внешней силы:

1. $f(t) = f_0 \sin \omega t$ – функция силы имеет гармонический вид.
2. $f(t)$ – сила имеет вид треугольного импульса.
3. $f(t)$ – сила в виде квадратичного импульса.

Графики, отображающие смещения точек нити, представлены на рисунке 5.

График на рисунке 5 показывает, что перемещения точек нити происходят в виде колебательных движений. На графике показаны законы перемещения соответственно 1 – эластичной, 2 – вязкоупругой и 3 – нелинейная вязкоупругой нитей. Зная смещения точек нити, можно оценить напряженно-деформированное состояние нитей.

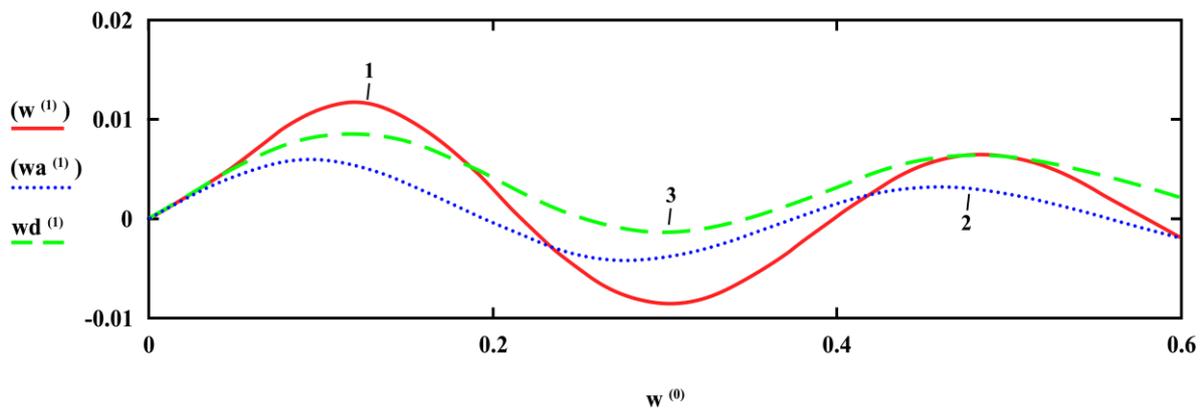


Рисунок 5. Графики, отображающие движение точек нити:

1 – эластичная нить; 2 – вязкоупругая нить; 3 – нелинейная вязкоупругая нить.

На графике выражено $w^{(1)}$ – смещение под действием треугольного импульса; $wa^{(1)}$ – перемещение под действием четырехугольного импульса; $wd^{(1)}$ – перемещение под действием гармонической силы; $w^{(2)}$, $wa^{(2)}$, $wd^{(2)}$ – скорости, соответствующие вышеприведенным. Как только w известно, определяем u , а затем деформацию находим по формуле $\varepsilon = du/dx$. Предложенный в работе метод полностью определяет напряженно-деформированное состояние рассматриваемой механической системы при произвольных значениях времени t и координаты x .

В общем виде интегро-дифференциальное уравнение, описывающее процесс деформации движущейся нити, выражается следующим образом:

$$\dot{T}(t) + \omega^2 \left[T(t) - \int_0^t \Gamma_1(t - \tau) T(\tau) d\tau \right] + \rho \omega^2 \left[T^3(t) - \int_0^t \Gamma_3(t - \tau) T^3(\tau) d\tau \right] = f(t) \quad (18)$$

В результате численного решения этого уравнения были определены перемещения и деформации нити. Из них видно, что учет вязкоупругих свойств нитей позволяет снизить смещения и деформации в точках нитей на 5–6%.

В результате исследования был определен закон деформации движущихся нитей. Предложенный метод позволяет определить смещение и деформацию

движущейся нити в любой момент времени и в любой точке. Определив деформацию, можно определить напряжение в нити. Рассматриваемая задача является линейной, и при сравнении полученных результатов с нелинейными задачами, решенными численно, было выявлено, что разница в диапазоне составляет 10-12%.

В процессе производства текстиля нить претерпевает сложные движения под воздействием внешних и внутренних сил. В частности, это происходит при продольных, поперечных и крутильных колебательных движениях. Поскольку такие колебательные движения важны, рассмотрим их с учетом вязкоупругих и нелинейных свойств нитей.

Как известно, в общем случае рассматриваются продольное колебательное движение, поперечное колебательное движение и крутильное колебательное движение, а их дифференциальные уравнения движения имеют следующий вид:

$$E \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \int_0^t \Gamma(t - \tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dZ \right] + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + F(x, t) = 0 \quad (19)$$

Решение уравнения (19) представим в виде суммы общего решения свободного колебательного движения и частных решений вынужденного колебательного движения.

В общем случае решение уравнения (19) определялось численно на основе соответствующих начальных и граничных условий.

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} N_n(t) \sin \frac{n\pi}{l} x$$

Уравнения решаются численно с помощью программы «Mathsad». Результаты представлены на рисунке 6.

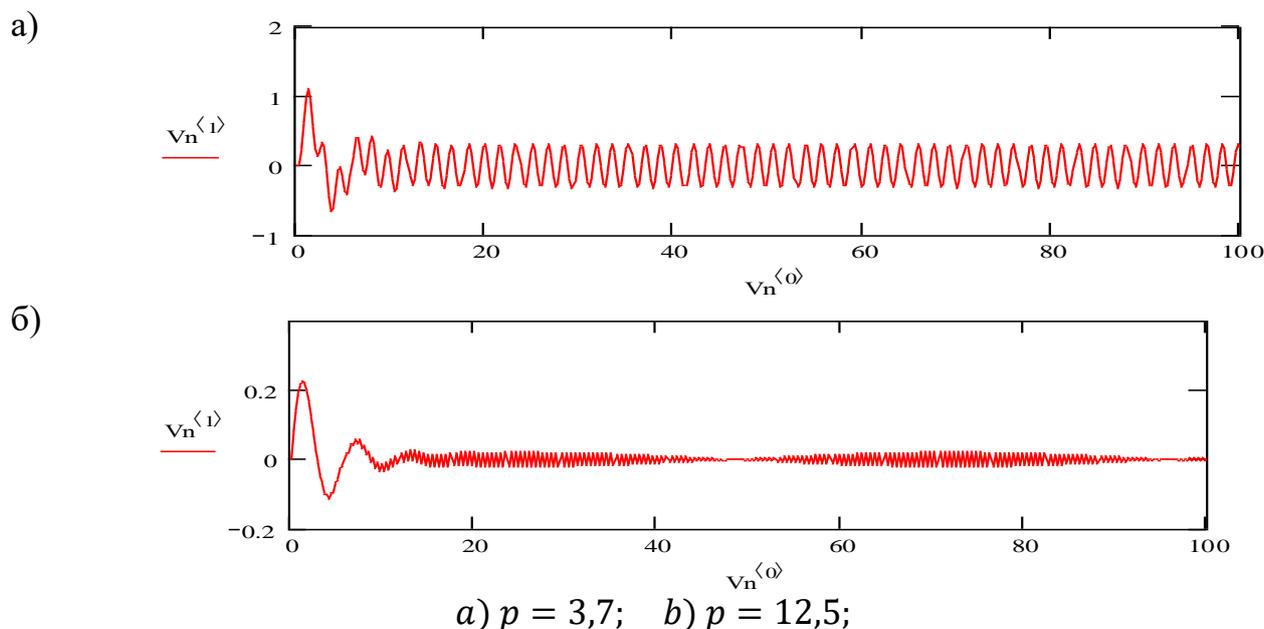


Рис. 6. Графики, показывающие влияние частоты внешней силы на крутильное колебательное движение с учетом характеристики вязкости

Необходимо отметить, что предлагаемый метод позволяет рассчитывать на прочность не только текстильных элементов, но и элементов конструкций машиностроения. В этом случае действующая сила является необязательной, его

также можно представить в виде осциллограммы.

На графиках, приведенных выше показаны кривые, отображающие изменение вибраций с течением времени. Из них видно, что учет вязкости нити приводит к уменьшению ее перемещений. Также учет вязкостной характеристики приводит к стабилизации движения нити. Кроме того, учет свойства вязкости позволяет проводить теоретическое исследование динамики нитей, в том числе определять рациональные значения механических характеристик, характеризующих тело.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретическими и экспериментальными методами доказано, что нити обладают вязкоупругими свойствами.

2. На основе теоретических и экспериментальных исследований обоснована возможность применения интегральных соотношений Больцмана-Вольтерра в качестве механической модели нитей.

3. Установлено, что в качестве ядра функции влияния, включенной в математическую модель для нитей, можно использовать четырехпараметрическое ядро со свойством слабой сингулярности. Это ядро имеет общий характер и легко определяется на основе экспериментов.

4. На основе результатов экспериментов представлены методы определения параметров, входящих в ядро, и механических параметров из релаксационных кривых.

5. Доказано, что вязкоупругая теория может быть использована для определения анизотропных и неустойчивых свойств нитей, и разработаны методы определения параметров, входящих в предлагаемую модель.

6. Построены уравнения текучести и релаксации, определяющие напряженно-деформированное состояние нитей в любой момент времени.

7. Разработаны математические модели, учитывающие геометрические и механические свойства нитей, а также факторы, влияющие на структуру ткани. Предложена формула для определения натяжения нитей, образующих ткань, в различных состояниях и при различных значениях параметров.

8. Доказано, что натяжение нити зависит в основном от модуля упругости и деформационных свойств нити.

9. Полученные результаты доказали необходимость учета нелинейности вязкоупругой теории при определении натяжения нити.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE
SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/27.02.2021.FM.101.02
ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT BUKHARA
ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

BUKHARA ENGINEERING –TECHNOLOGICAL INSTITUTE

ADIZOVA AZIZA JURAKULOVNA

**DETERMINATION OF MECHANICAL PARAMETERS OF FILAMENTS BASED
ON THE THEORY OF VISCOELASTICITY**

01.02.04 - Mechanics of a deformable solid

**DISSERTATION ABSTRACT
of the Doctor of Philosophy (PhD) on Technical Sciences**

Bukhara- 2025

The theme of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences was registered under No. B2022.3.PhD/T1644 by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation was accomplished at Bukhara Engineering-Technological Institute.

The dissertation abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been placed on the website of Bukhara Engineering-Technological Institute (www.buxmti.uz) and on the Information-Educational portal "ZiyoNET" (www.ziynet.uz).

Scientific advisor:

Mavlanov Tulkin

Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Mardonov Botir Mardonovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Ismayilov Kubaymurat

Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization:

Tashkent Institute of Chemical Technology

The dissertation defense will be held on May 23, 2025 at 15⁰⁰ o'clock at the meeting of the One-time Scientific Council based on the Scientific Council Phd.03/27.02.2021.FM.101.02 at Bukhara Engineering-Technological Institute. (Address: 100118, 15. Qayum Murtazaev street, Bukhara. Phone: (+99865) 223-78-84; fax: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz).

The dissertation is available at the Information resource center of Bukhara Engineering-Technological Institute (registered under the number No. 361). (Address: 100118, 15. Qayum Murtazaev street, Bukhara. Phone: (+99865) 223-78-84).

The disseretation abstract is distributed on May 08, 2025.

(Mailing report № 1 on April 10, 2025)



[Handwritten signatures in blue ink over the seal]

M.X. Teshayev

Chairman of the One-time Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences (DSc)

Z.I. Boltayev

Scientific Secretary of the One-time Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences (DSc), Professor

B.S. Rahmonov

Chairman of the One-time Scientific Seminar under the Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences (DSc)

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The relevance and demand for the dissertation topic. In the world, the widespread use of complex yarn consisting of various fibers, including natural, synthetic, and polymer fibers, occupies an important place in various industries. On a global scale, the preparation, processing, and application of yarn with specified properties are becoming increasingly significant, necessitating a thorough study of the physical and mechanical properties of complex threads. In this context, it is crucial to consider the rheological properties of threads when determining their susceptibility to damage from various types of forces throughout the technological process, as well as to extend the quality indicators and service life of the resulting products.

The object of research is cotton and blended fiber yarns with various physical and mechanical properties.

The scientific novelty of the research is as follows:

as a result of developing principles for stress-strain-time analogues and the hypothesis of similarity in creep curves, mathematical modeling of the stress-strain state of the yarn was carried out;

based on general experiments, which were incorporated as the kernel of the influence function in the mathematical model constructed for flows, it was discovered for the first time that an easily definable four-parameter kernel could be used;

it was established that the results of expressing the mechanical properties of yarns using a four-parameter kernel are up to 12% more accurate than the results obtained using the three-parameter Koltunov-Rzhanitsyn kernel;

integro-differential equations for longitudinal, transverse, and torsional vibrations of yarns with viscoelastic properties were derived, and the methodology for solving these equations was improved.

Implementation of research results. Based on the scientific results developed for determining the mechanical parameters of yarns using the theory of viscoelasticity:

The pattern of deformation changes occurring in yarn per unit of time, and methods for rapid determination of mechanical parameters reflecting the viscoelastic properties of yarns and fabrics under loading at various speeds have been implemented in the production of cotton and synthetic fiber yarns at LLC “Mergan Teks” and LLC “Kamalak Shabnam Teks” enterprises in the Bukhara region, which are part of the “Uztekstilprom” association (certificate from LLC “Mergan Teks” enterprise of the Bukhara region dated October 27, 2023, and certificate from LLC “Kamalak Shabnam Teks” enterprise dated November 24, 2023). As a result, taking into account the viscous properties, a 10-12% reduction in displacements and stresses in the yarns, stabilization of their movement, as well as a 5-8% increase in yarn strength, surface cleanliness, and fabric abrasion resistance were achieved;

When determining the anisotropic and unstable properties of the material, the integral models recommended in the scientific work based on the theory of viscoelasticity were used, and all parameters characterizing the oscillatory motion of

yarn under the influence of external and internal forces during the production process, including the formulas for determining the amplitude, frequency, and vibration force presented in the scientific work, were used to improve the physical and mechanical characteristics of yarn made from natural and polymer fibers at the LLC “Al-Hakim Plyus” enterprise in the Bukhara region (certificate dated December 26, 2023, from LLC “Al-Hakim Plyus” enterprise, part of the “Uztekstilprom” association). As a result, taking into account the viscous properties of the oscillatory motion of yarn and fabric made it possible to stabilize the oscillatory motion by reducing the amplitude of oscillations occurring in the fabric, as well as to reduce the tension force occurring in the yarn by 12-16%.

A certificate No. 03/25-1631 dated July 3, 2024, was received from the “Uztekstilprom” Association of the Republic of Uzbekistan (the Association of Textile and Garment Industry Enterprises of Uzbekistan) regarding the implementation of research results from the dissertation work.

Publication of research results. A total of 25 scientific papers have been published on the topic of research. Including 9 articles in scientific editions recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations, including 3 published in national and 6 in foreign journals.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 100 pages.

The author expresses sincere gratitude to Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD), Associate Professor G.B.Abdieva, for valuable advice and assistance in conducting theoretical and experimental studies given in the dissertation.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-bo'lim (I-раздел; I-part)

1. G.Abdieva, A. Adizova, T.Mavlanov, D.Rakhimova. Modeling the process of deformation of viscoelastic textile materials // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal, India, 2021, Vol. 11, Issue 4, pages 322-327 <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:aca&volume=11&issue=4&article=054> ((2) Journal Impact Factor ;IF: SJIF 2021 = 7.492)

2. А.Ж.Адизова. Механические свойства текстильных материалов с различными проявлениями деформации с течением времени // Ученый XXI века. Международный научный журнал, Россия, 2021, № 9 (80), стр. 8-10. https://uch21vek.com/9_2021.html (№35 CrossRef; IF - 0.263)

3. А.Ж.Адизова. Упругие характеристики композиционных материалов при статических и динамических нагрузениях // Ученый XXI века. Международный научный журнал, Россия, 2021, № 9 (80), стр. 11-13. https://uch21vek.com/9_2021.html (№35 CrossRef; IF - 0.263)

4. A Adizova, G Abdieva, T Mavlanov. Computer modelling of dynamics of the thread in technological process // Journal of Physics: Conference Series. USA, 2022, Volume 2373. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2373/2/022060/meta> (№3 Scopus)

5. А.Ж.Адизова. Математическое моделирование динамических процессов при формировании ткани // Ученый XXI века. Международный научный журнал, Россия, 2023, №10(101), стр.29-32. <https://scipubplatform.online/index.php/uch21vek/issue/view/40> (№35 CrossRef; Impact Factor - 0.263)

6. А.Ж.Адизова. Анализ процесса деформирования нитей с учетом релаксационных свойств // Ученый XXI века. Международный научный журнал, Россия, 2023, № 10 (101), стр. 33-36. <https://scipubplatform.online/index.php/uch21vek/issue/view/40> (№35 CrossRef; Impact Factor - 0.263)

7. Adizova A. J., Mavlanov T. Determination of the law of motion of the thread under the influence of dynamic forces in the technological process // Actual problems of modern science, education and training. Electronic journal, Urganch, 2024, № 6, pages 10-14. <https://khorezmscience.uz/june.pdf> (05.00.00 №26)

8. Adizova A. J., Mavlanov T. The method of calculation and analysis of the obtained results is based on numerical modeling of the deformation processes of textile threads // Actual problems of modern science, education and training. Electronic journal, Urganch, 2024, № 7, pages 4-9. <https://khorezmscience.uz/july.pdf> (05.00.00 №26)

9. Adizova A. J., Mavlanov T. Determining optimal parameter ratios in the study of longitudinal vibrations of threads in weaving process using a model // Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and

II- bo‘lim (II-раздел; II-part)

10. Мавланов Т., Адизова А., Абдиева Г.Б. Численные методы решения интегро-дифференциальных уравнений применительно к исследованию динамики нити // Неклассические уравнения математической физики и их приложения. Узбекско-Российская научная конференция, тезисы докладов, Ташкент, 2019, стр.286-288.

11. Адизова А.Ж. Основные характеристики механических свойств текстильных волокон // Материалы международной научной конференции «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства», 3-том. Бухара, 2019, стр. 601-603.

12. Т.Мавланов, А.Ж.Адизова, Г.Б.Абдиева. Модельные методы исследования релаксационных процессов в текстильных нитях // Материалы международной научной конференции «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства», 3-том. Бухара, 2019, стр. 701-703

13. А.Ж.Адизова, Г.Б.Абдиева, Т.Мавланов. Моделирование процесса деформирования композиционных материалов // International scientific journal «Global science and innovations 2020: Central Asia», Nur-sultan, 2020, № 4 (9), стр. 93-95.

14. З.Х.Гайбуллаев, Б.А.Азизов, А.Ж.Адизова. Динамика плоских и цилиндрических механических систем взаимодействующей деформируемой средой (Монография) // Бухоро, “Бухоро нашр” МЧЖ, “DunaPoligraf” ХК босмахонаси, 2020, стр.98.

15. A Adizova, G Abdieva, T Mavlanov. Modeling the process of deformation of viscoelastic threads // AIP Conference Proceedings 2402, 070034 (2021); USA, 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0071968>

16. A.J.Adizova, N.N. Nabieva. Computer modeling in the study of transverse vibrations of the thread // «Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги — озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги III Халқаро илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами, Тошкент, 2023, 255-256- бетлар.

17. А.Ж.Адизова, Н.Н.Набиева. Вибрация нити в процессе ткачества // «Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги — озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги III Халқаро илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами, Тошкент, 2023, 258-259- бетлар.

18. Мавланов Т., Адизова А.Ж. Решение задач линейной теории термовязкоупругости // “Механика муаммоларини yechishda innovatsion yechimlari va istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani maqolalar to‘plami, Buxoro, 2024, 444-446-бетлар.

19. Мавланов Т., Адизова А.Ж. Механические свойства волокон при приложении внешних сил // “Механика муаммоларини yechishda innovatsion

yechimlari va istiqbollari” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani maqolalar to‘plami, Buxoro, 2024, 447-448-betlar.

20. Адизова А.Ж. Деформирования нити при разных уровнях нагрузки // Innovative achievements in science 2023. Collections of scientific works International scientific-online conference, Russia, 2023, Part 24, Issue 1, pages 74-78.

21. А.Ж.Адизова. Динамик юкланишда композицион материалларнинг қовушқоқ эластиклик хусусиятлари // Ученый XXI века. Международный научный журнал, Россия, № 5-1 (96), 2023, стр. 3-5. <https://scipubplatform.online/index.php/uch21vek/issue/view/33/34> (№35 CrossRef; Impact Factor - 0.263)

22. А.Ж.Адизова. Рациональный способ определения деформированного состояния движущейся нити // Ученый XXI века. Международный научный журнал, Россия, № 5-1 (96), 2023, стр. 6-8. <https://scipubplatform.online/index.php/uch21vek/issue/view/33/34> (№35 CrossRef; Impact Factor - 0.263)

23. Адизова А.Ж., Мавланов Т. Динамик кучлар таъсирида ипнинг таранглигини аниқлаш // Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti. Ilmiy-nazariy jurnal, Buxoro, 2024, № 7, 129-132 betlar. https://buxdu.uz/media/jurnallar/ilmiy_axborot/ilmiy_axborot_7_son_2024_1.pdf (01.00.00 №3)

24. Адизова А.Ж., Мавланов Т. Численно-аналитические методы решения задач динамики нитей с учётом вязкоупругих свойств // Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti. Ilmiy-nazariy jurnal, Buxoro, 2024, № 7, 133-139 betlar. https://buxdu.uz/media/jurnallar/ilmiy_axborot/ilmiy_axborot_7_son_2024_1.pdf (01.00.00 №3)

25. А.Ж.Адизова, Т.Мавланов. Iplarning qovushqoq-elastiklik va chiziqsizlik xususiyatlarini hisobga olib bo‘ylama tebranma harakatini tadqiq qilish // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma, O‘zbekiston Respublikasi Adliya Vazirligi, № DGU 46685, 04.01.2025.

26. А.Ж.Адизова, Т.Мавланов. Chizikli qovushqoq-elastiklik xossalarga ega bo‘lgan iplarning deformatsiyalarini aniqlash // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi guvohnoma, O‘zbekiston Respublikasi Adliya Vazirligi, № DGU 46686, 04.01.2025.

**Avtoreferatning o‘zbek, rus va ingliz tilidagi matnlari
“IPAKYO‘LI” nashriyotida tahrirdan o‘tqizildi.**

**Bosishga ruxsat etildi: 08.05.2025.
Qog‘oz bichimi 60x84 1/16.
Times New Roman garniturasida chop etildi.
Hajmi 3 bosma taboq. Adadi 100 nusxa. Buyurtma № 356.**

**“West Media Express” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Bosmaxona manzili: Buxoro shahri,
Qayum Murtazoyev ko‘chasi 15A uy.
Tel: +998 93 080 39 00**

