

**TOSHKENT TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.08.01 RAQAMLI ILMY KENGASH**

**MEXANIKA VA INSHOOTLAR SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI
INSTITUTI**

HAZRATOVA TO‘LG‘ANOY YASHIN QIZI

**TAJRIBALAR VA NAZARIY USULLAR ORQALI PAXTA
IPLARINING NOCHIZIQ MEXANIK XUSUSIYATLARINI ANIQLASH**

**05.06.01-To‘qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari
materialshunosligi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi
avtoreferatining mundarijasi**
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**
**Contents of the dissertation abstract of Doctor of Philosophy (PhD)
in technical sciences**

Hazratova To‘lg‘anoʻy Yashin qizi

Tajribalar va nazariy usullar orqali paxta iplarining noxiziq mexanik
xususiyatlarini aniqlash 3

Ҳазратова Тўлғаной Яшин қизи

Экспериментальное и теоретическое определение нелинейных
механических характеристик хлопчатобумажных пряж 23

Khazratova Tulganoy Yashin qizi

Experimental and theoretical determination of nonlinear mechanical
properties of cotton yarns. 45

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 49

**TOSHKENT TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.08.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MEXANIKA VA INSHOOTLAR SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI
INSTITUTI**

HAZRATOVA TO‘LG‘ANOY YASHIN QIZI

**TAJRIBALAR VA NAZARIY USULLAR ORQALI PAXTA
IPLARINING NOCHIZIQ MEXANIK XUSUSIYATLARINI ANIQLASH**

**05.06.01-To‘qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari
materialshunosligi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.1.PhD/T2695 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (reyuzme)) Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti huzuridagi Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.titli.uz) va «ZiyoNet» axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Ismoilova Sabida Isroilovna

texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Jumaniyazov Qadam Jumaniyazovich

texnika fanlari doktori, professor

Valiyeva Zulfiya Faxriddinovna

texnika fanlari falsafa doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Namangan davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/30.12.2019.T.08.01 raqamli Ilmiy Kengashning 2025 yil «15» dekabr soat 11⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100100, Toshkent sh., Shohjahon-5,.Tel.: (+99871) 253-06-06, faks: (+99871) 253-36-17, e-mail: titlp_info@edu.uz) Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti ma'muriy binosi, 2-qavat, 222-xona.

Dissertatsiya bilan Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat institutining axborot-resurs markazida tanishish mumkin. (253-raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100100, Toshkent sh., Shohjahon-5,.Tel.: (+99871) 253-06-06, (+99871) 253-08-08.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «2» dekabr kuni tarqatildi.

(2025 yil «2» dekabrda № 253 raqamli reestr bayonnomasi).

X.H. Kamilova

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash raisi,

t.f.d., professor

A.Z. Mamatov

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash raisi kotibi,

t.f.d., professor

F.U.Nigmatova

Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy darajalar

beruvchi Ilmiy seminar raisi o'rinbosari,

t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda paxta tolasi to‘qimachilik sanoatining asosiy mahsulotlaridan hisoblanib, tolalardan ip olishda energiya-resurs tejamkor texnologiya va texnika vositalarini qo‘llash yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida to‘qimachilik bozori hajmi 2024 yilda 1,840 trillion dollarni tashkil etdi. 2025 yilda bu ko‘rsatkich 1,976 trillion dollarga, 2033 yilga kelib taxminan 3,767 trillion dollarga yetishi kutilmoqda, bu esa 2025-2033 yillar prognoz davrida yillik 7,43 % o‘sishni qayd etadi. To‘qimachilik sanoatini rivojlantirish, nafaqat korxonalarni zamonaviy texnologiyalar bilan ta‘minlash, balki ishlatilayotgan asbob-uskunalaridan oqilona foydalanish, ishlab chiqarilayotgan mahsulotlarning ko‘rimlilikini oshirish va ularni jahon bozorida raqobatbardoshligini ta‘minlash bilan bog‘liq. Shu jihatdan korxonalarda xom-ashyodan samarali foydalanish, mahsulotning mustahkamlik xossalarini saqlagan holda yuqori sifatli mahsulot ishlab chiqarish masalalarini hal etish muhim ahamiyat kasb etadi.¹

Jahonda to‘qimachilik tolalari va iplarning deformatsiyalanish xususiyatlarini aniqlash, ularning mustahkamlik va uzilish jarayonlarini matematik modellashtirishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda iplarning fizik-mexanik xususiyatlarini baholashda eksperimental ma‘lumotlarni matematik modellar bilan integratsiya qilish bo‘yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, yigirilgan ip ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish va texnologik jarayonlarga ijobiy ta‘sir ko‘rsatadigan me‘yoriy parametrlarni aniqlash masalasiga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda bugungi kunda paxta tolalaridan yuqori sifatli iplar va tayyor mahsulotlarni ishlab chiqarishda, ilmiy asoslangan yangi texnologiyalarni yaratish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. 2023-2026 yillarda O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasida, jumladan «.. to‘qimachilik sanoati mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini 2 baravarga ko‘paytirish...»² bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarini amalga oshirishda, jumladan, to‘qimachilik iplarining mexanik xossalarini aniqlash, to‘qimachilik mahsulotlarining mustahkamligini hisoblash usullarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi», 2023 yil 10 yanvardagi PF-2-son «Paxta-to‘qimachilik klasterlari faoliyatini qo‘llab-quvvatlash, to‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini tubdan isloh qilish hamda sohaning eksport salohiyatini yanada oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida» gi, 2025 yil 16 yanvardagi PF-6-son «To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatida qayta ishlash zanjirini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida»gi Farmonlari

¹ <https://uzts.uz/>

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025 yil 16 yanvardagi PF-6-son «To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatida qayta ishlash zanjirini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida»gi Farmoni

hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-xuquqiy xujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining II. «Energetika, energiya va resurs-tejamkorlik» ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. To'qimachilik iplarining mustahkamlik muammosini tadqiq etish bilan horijda ko'plab olimlar shug'ullanishgan va tajribalar natijalari asosida to'qimachilik iplarining mustahkamligini nazariy yo'llar bilan aniqlash usullarini rivojlantirish bo'yicha tadqiqotlar L.Eyler, V.E.Veber, A.P.Minakov, H.A.Raxmatulin, M.T.O'razboev, I.I.Migushov, V.P.Sherbakov, A.N.Solovyov va boshqalar tomonidan o'tkazilgan.

Respublikamizda paxta iplarining dinamik kuchlar ta'sirida tebranishlari parametrlarini aniqlash, paxta ipining noxiziq deformatsiyalanish qonuniyatini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar B.M.Mardonov, M.Ergashov, Q.G'.G'ofurov, K.S.Sultanov, S.I.Ismoilova va boshqalar tomonidan bajarilgan.

Mazkur tadqiqotlar natijasida faqat muammolarning bir qismini qamrab olgan bo'lib, hozirgi kunda to'qimachilik sanoatining texnologik jarayonlarida iplarning uzilish muammosi o'z yechimini to'liq topmagan. Paxta iplarining mustahkamlik muammolarini yechish, ularning mustahkamlik nazariyasini takomillashtirish, iplarning turlari va texnologik jarayondagi tezliklarini, baza uzunliklarini inobatga olgan holda paxta ipining mustahkamligini aniqlash va baholash usullarini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar yetarlicha o'tkazilmagan.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti «Mexanika va inshootlarning seysmik mustahkamligi» instituti ilmiy-tadqiqot dasturlarining №F3-2020092310 «To'qimachilik dastgohlaridagi zamonaviy progressiv uzilish nazariyasini yaratish» mavzusidagi fundamental loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi paxta iplarining cho'zilish jarayonidagi dastlabki taranglik, cho'zish bazasi va harakatlanish tezliklarini inobatga olgan holda, ularning mustahkamligini aniqlash va baholash usullarini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

turli xil texnologik usullarda olingan paxta iplarining mustahkamliklarini har xil harakatlanish tezliklarida aniqlash;

paxta iplarining texnologik jarayonlarda dastlabki taranglik kuchi, deformatsiyalanish tezligi va ipni cho'zish uzunligini inobatga olgan holda tajribalar o'tkazish va mustahkamligini aniqlashni takomillashtirilgan usullarini ishlab chiqish;

olingan tajriba natijalarini tahlil qilish va shu asosida ipning ishlab chiqarish usullari, deformatsiyalanish tezliklari va ipni cho'zish bazasiga bog'liq holda paxta iplarining dinamik xususiyatlari va mustahkamlik parametrlarini aniqlash;

paxta iplarining uzilishgacha cho'zilish jarayonida ularning noxiziq deformatsiyalanishi va uzilishini ishlab chiqilgan matematik modeli asosida uning

deformatsiyalanishi va dastlabki taranglikni hisobga olgan holda mustahkamligini aniqlash.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida karda va qayta tarash sistemasida, halqali yigirish usulida olingan turli chiziqiy zichlikdagi paxta iplari hamda to'qimachilik ishlab chiqarish texnologik jarayonlarida ipning harakatlanish tezligi olingan.

Tadqiqotning predmeti sifatida turli harakat tezliklari va turli cho'zish baza uzunliklarida, dastlabki taranglik kuchini hisobga olgan hamda olmagan holda karda va qayta tarash sistemasida, halqali yigirish usulida olingan paxta iplarining mustahkamlik parametrlari olingan.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida paxta iplarining mexanik xususiyatlarini «Tenso-Master» uzish mashinasida tajribalar orqali aniqlash hamda ipning deformatsiya parametrlarini nohiziq deformatsiyalanish qonuniyati asosida aniqlash va differensial tenglamalarni sonli yechishning chekli ayirmalar usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

paxta iplarini uzilishgacha cho'zishdagi deformatsiyalanish va uzilishini tahlil qilish natijasida, Eyring modeliga asoslangan ip cho'zilishining fizik nohiziq xususiyatlarini aniqlovchi matematik model ishlab chiqilgan;

harakat tezligi, qisqichlar orasidagi masofa uzunligi va dastlabki taranglik kuchiga bog'liq ravishda iplarning deformatsiya modullari o'zgarishida kuzatilgan "botiqlik" hodisasi ro'y berishi va bu hodisaning deformatsiya tezligiga bog'liqligi aniqlangan;

iplarning nohiziq deformatsiyalanish va uzilish jarayonlarining, ipning mexanik hamda geometrik xarakteristikalariga bog'liq ravishda ishlab chiqilgan matematik modelning nohiziq parametr qiymatlari aniqlangan;

ip cho'zilganda unda yuzaga keladigan nohiziq to'lqin jarayonlari va rezonans hodisalarini tahlil qilish asosida ipning uzunligi bo'ylab kuchlanishlarning notekis taqsimlanishi natijasida yuzaga keladigan o'zgaruvchan chastotali tebranishlar va ipning uzilish bog'lanishlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

karda va qayta tarash sistemasida, halqali yigirish usulida olingan paxta iplarini turli xil tezliklarga bog'liq holda mustahkamliklarining o'zgarishi aniqlangan;

paxta iplarining yangi deformatsiya xususiyatlari qiymatlari aniqlangan;

turli xil chiziqiy zichlikdagi paxta iplarining texnologik jarayonlarda harakat tezliklari, baza uzunligi, dastlabki taranglik kuchini inobatga olgan holda kritik tezliklari aniqlangan, bunda deformatsiyalanish tezligi kritik tezlik qiymatidan oshsa mustahkamlik intensiv ravishda kamayishi ko'rsatilgan;

ipning deformatsiya moduli va harakat tezligiga bog'liq bo'lgan to'lqin jarayonining parametrlari aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi sinovdan o'tgan matematik usullarga asoslanganligi, olingan nazariy natijalar amalga oshirilgan eksperimental va amalda o'tkazilgan tadqiqotlar natijalari bilan solishtirilganligi hamda boshqa olimlar tomonidan olingan ma'lumotlar bilan taqqoslab tekshirilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati paxta iplarining dinamik kuchlar ta'sirida cho'zilishida ularning noxiziq mustahkamlik nazariyasi takomillashtirilganligi va ushbu nazariyadan barcha paxta iplari mustahkamliklarini baholashda qo'llanilishi mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati turli xil texnologik usullarda olingan paxta iplarining texnologik jarayonlaridagi harakatlanish tezliklarini inobatga olgan holda uzilishini kamaytirishga olib keluvchi deformatsion usul yaratilishi hamda ushbu usul qo'llanilishi natijasida to'qimachilik dastgohlarining to'xtab qolishini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy etilishi. To'qimachilik sanoati texnologik jarayonlarida ipning deformatsiyalanish tezligi va dastlabki taranglik kuchini hisobga olib paxta iplarining mustahkamlik nazariyasini rivojlantirish bo'yicha olingan natijalar asosida:

paxta ipining mustahkamligini aniqlash va baholashning takomillashtirilgan usuli «O'zto'qimachilik sanoati» uyushmasi tasarrufidagi «FERGANA GLOBAL TEXTILE» va «FAZO GROUP» MCHJ korxonalarida joriy etilgan. («O'zto'qimachilik sanoati» uyushmasining 2025 yil 26 may №03/25-1116-son ma'lumotnomasi). Natijada, paxta ipida uzilishlar soni kamayishi hisobiga iqtisodiy samaradorlik 21% ga oshirish imkoni yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobasiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 22 ta ilmiy ishlar chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta maqola, jumladan 1 tasi xorijiy jurnalda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, 3 ta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 111 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, maqsadi va vazifalari, shuningdek, tadqiqot ob'yekti va predmeti shakllantirilgan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarni rivojlantirishning muhim yo'nalishlariga mosligi keltirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalar bayon etilgan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati yoritilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga qo'llagan muassasalar, e'lon qilingan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumot berilgan.

Dissertatsiyaning «**Ishlab chiqilgan matematik model asosida sonli usullar yordamida paxta ipining noxiziq deformatsiyalanish va uzilish jarayoning kompleks tadqiqi**» deb nomlangan birinchi bobida dissertatsiya bo'yicha adabiyotlar sharhi keltirilgan, shuningdek, masalaning qo'yilishi, uning yechish usullari va paxta ipining uzilguncha cho'zilishining deformatsiya holatini hisoblash algoritmi bayon

etilgan. Bu hisob-kitoblar ipning mustahkamligi bo'yicha eksperimental va nazariy tadqiqotlar majmuasi asosida "Tenso Master" qurilmasida amalga oshirilgan. Ushbu ishda deformatsiyalanish tezligi, bazaviy uzunlik va ipning dastlabki tarangligini $F(\varepsilon)$ funksiyaga ta'sirini eksperimental aniqlash bajarildi.

Iplarni uzilishgacha cho'zish bo'yicha o'tkazilgan tajribalar natijalari asosida uch xil turdagi iplar uchun turli cho'zilish tezliklarida ushbu turdagi iplarning deformatsiyalanish tezligiga bog'liq holda deformatsion xarakteristikalari aniqlandi. Paxta iplarining deformatsion xususiyatlarini ma'lum bo'lgan fizik nohiziq elastik-qovushqoq-plastik model asosida aniqlaymiz:

$$\frac{d\sigma}{E_D(\varepsilon)dt} + \mu(\varepsilon)\frac{\sigma}{E_S(\varepsilon)} = \frac{d\varepsilon}{dt} + \mu(\varepsilon)\varepsilon \quad (1)$$

bu yerda: σ – bo'ylama tortuvchi kuchlanish; ε – ipni cho'zilishidagi bo'ylama deformatsiya; t – vaqt; $E_D(\varepsilon)$ – ip deformatsiyasining $\varepsilon_g = d\varepsilon/dt \rightarrow \infty$ deformatsiyalanish tezligidagi o'zgaruvchan dinamik moduli (nohiziq funksiya); $E_S(\varepsilon)$ – ip deformatsiyasining statikga (kvazistatik) yaqin bo'lgan $\varepsilon_g = d\varepsilon/dt \rightarrow 0$ deformatsiyalanish tezligidagi o'zgaruvchan statik moduli; $\mu(\varepsilon)$ – yopishqoqlik koeffitsienti $\eta(\varepsilon)$ ga bog'liq bo'lgan ipning o'zgaruvchan hajmiy qayishqoqlik parametri (ichki ishqalanish).

$$\mu(\varepsilon) = \frac{E_D(\varepsilon)E_S(\varepsilon)}{(E_D(\varepsilon) - E_S(\varepsilon))\eta(\varepsilon)} \quad (2)$$

Nohiziq qovushqoq-elastik-plastik ipda bo'ylama cho'zuvchi kuchning tarqalishi masalasi ko'rib chiqilgan, uning cho'zilishdagi xatti-harakati (1) tenglama bilan tavsiflanadi.

Cho'zuvchi yuk ta'sirida ip uchun Langrange koordinatalarida ip o'qi bo'ylab bir o'lchovli ip zarrasining harakati tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega:

$$\rho_0 \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

bu yerda \mathcal{G} - ip qismlarining tezligi, x - ipning o'q bo'ylab fazoviy koordinatasi, ρ_0 - ipning boshlang'ich zichligi.

Tenglamalarni yechish uchun xarakteristika metodi qo'llanilib, xarakteristik munosabatlar olingandan so'ng unga chekli ayirmalar usuli qo'llanildi va sonli usullar bilan yechildi. Shartlarni inobatga olgan holda, ipda paydo bo'ladigan to'lqin frontlari kuchsiz ekanligini va shu bois ularning tarqalishi natijasida ip tuzilishi jiddiy o'zgarishlarga uchramasligini taxmin qilish mumkin. Bunday holatda, tenglamalarning xarakteristikalari chiziqli bo'lib qolaveradi, xarakteristik munosabatlar esa nohiziq bo'ladi.

Ilgari ishlab chiqilgan paxta iplarining uzilishgacha cho‘zilishida deformatsiyalanishi va uzilishining nohiziq nazariyasi asosida sonli usullar yordamida nazariy tadqiq qilish uchun matematik model ishlab chiqildi.

Ishlab chiqilgan algoritm asosida FORTRAN-2005 algoritmik tilidan foydalanib masalani EHMda yechish dasturi tuzildi va O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligida 2024-yilda DGU 41720 raqam bilan ro‘yxatdan o‘tkazildi.

Dissertatsiyaning «**Texnologik jarayonlarda ipning harakat tezligi, deformatsiyalanishning bazaviy uzunligi va dastlabki taranglikni ipning mustahkamlik va deformatsiyalanish xarakteristikalariga ta’sirini eksperimental tadqiq qilish**» deb nomlangan ikkinchi bobida karda va qayta tarash sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta iplarining turli harakat tezliklarida mustahkamligini aniqlash bo‘yicha o‘tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Ipning uzilishidan oldingi mexanik xususiyatlariga deformatsiya tezligi va bazaviy cho‘zilish uzunligining ta’siri o‘rganildi. Olingan diagrammalar asosida deformatsion xususiyatlarning (jumladan deformatsiya moduli) tezlikka, deformatsiyaga va dastlabki taranglikka bog‘liqligi aniqlandi. Yuklash rejimiga qarab kritik uzilish kuchining 15-20% oralig‘ida o‘zgarishi kuzatildi. Shuningdek, statik va dinamik deformatsiya modullarining qiymatlari hisoblandi. Bu esa ipning nohiziq deformatsiyalanishi va uzilishini raqamli modellashtirish uchun parametrlarni aniqlash imkonini berdi.

Karda va qayta tarash sistemasida halqali yigirish usulida olingan $T=20$ va $T=30$ teksli iplar O‘zRes FA M.T.O‘rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida joylashgan «Tenso Master» uzish mashinasida dastlabki taranglik bilan va dastlabki tarangliksiz uzilguncha cho‘zilib tajribalar o‘tkazildi. Iplarning mustahkamligini aniqlashda harakat tezliklarini $\mathcal{G} = 100 \div 5000$ mm/min oraliqda o‘zgartirib, bazaviy uzunlikni $L_0 = 100 \div 800$ mm gacha o‘zgartirib tajribalar o‘tkazildi, bunda ipning cho‘zilishdagi deformatsiyalanish tezligi (4) formulaga ko‘ra $\varepsilon_{\mathcal{G}} = 0,002 \text{ s}^{-1}$ dan $\varepsilon_{\mathcal{G}} = 0,833 \text{ s}^{-1}$ gacha o‘zgarishi kuzatildi (1-jadval).

$$\varepsilon_{\mathcal{G}} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\mathcal{G}}{L_0} \quad (4)$$

Bu yerda: \mathcal{G} – ipning harakatlanish (cho‘zilish) tezligi, L_0 – bazaviy uzunlik.

Tajribalarda yigirilgan paxta ipining to‘rt xil turi ishlatildi:

- $T=20$ teksli karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta ipi, dastlabki taranglik kuchisiz;
- $T=20$ teksli karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta ipi, $F=0,5$ cN;
- $T=30$ teksli karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta ipi, $F=0,5$ cN;
- $T=20$ teksli qayta tarash sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta ipi, $F=0,5$ cN;
- $T=30$ teksli qayta tarash sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta ipi, $F=0,5$ cN;

Bazaviy uzunlik, L_0 , mm	Tajribalarda ipning cho'zilish tezligi, mm/min										
	100	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
100	0,0166	0,083	0,166	0,25	0,333	0,416	0,45	0,583	0,666	0,75	0,833
200	0,008	0,041	0,083	0,125	0,166	0,208	0,25	0,291	0,333	0,375	0,416
300	0,005	0,027	0,055	0,083	0,111	0,138	0,166	0,194	0,222	0,25	0,277
400	0,004	0,02	0,041	0,062	0,083	0,104	0,125	0,145	0,166	0,187	0,208
500	0,003	0,0166	0,033	0,05	0,066	0,083	0,01	0,116	0,133	0,15	0,166
600	0,0027	0,013	0,027	0,041	0,055	0,069	0,083	0,097	0,111	0,125	0,139
700	0,0023	0,012	0,023	0,035	0,047	0,059	0,071	0,083	0,095	0,107	0,104
800	0,002	0,01	0,02	0,031	0,041	0,052	0,062	0,073	0,083	0,093	0,1

Ipning har bir turi uchun uzilishgacha cho'zilish bo'yicha tajribalar 1-jadvalda keltirilgan shartlarga muvofiq o'tkazildi. Natijada o'tkazilgan sinovlarning umumiy soni 20 mingdan oshdi va ularga ishlov berildi. Bu esa katta hajmdagi eksperimental ma'lumotlarni to'plash imkonini berdi. Qayta ishlangan ma'lumotlar asosida paxta ipining cho'zilish tezligi, bazaviy deformatsiyalanish uzunligi va dastlabki taranglik kuchi kabi omillarning ta'sirini hisobga oluvchi noxiziq xarakteristikalari aniqlandi. Ushbu xususiyatlar ipning turli cho'zilish sharoitlarida mustahkamlik xossalarining o'zgarish qonuniyatlarini aniqlash imkonini beradi.

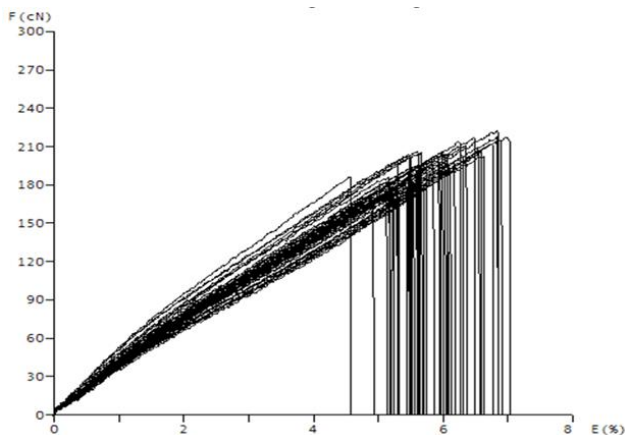
Dastlabki tarangliksiz $T=20$ teks bo'lgan karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan ipni uzilguncha cho'zish bo'yicha o'tkazilgan tajribalar natijalarini ko'rib chiqamiz. Tajribalar 1-jadvalga muvofiq ipning quyi uchining turli harakat tezliklarida va turli bazaviy uzunliklarida amalga oshirildi. Harakat tezligi va bazaviy uzunlikning ayrim qiymatlarida deformatsiyalanish tezligi bir xil bo'ladi. Bunday holatlar tajribalarning takrorlanishi hisobiga ro'y beradi.

Tajriba natijalari uzish mashinasi tomonidan avtomatik ravishda $F(\varepsilon)$ grafiklar shaklida taqdim qilinadi, bu yerda F – tortuvchi kuch, ε – nisbiy deformatsiya.

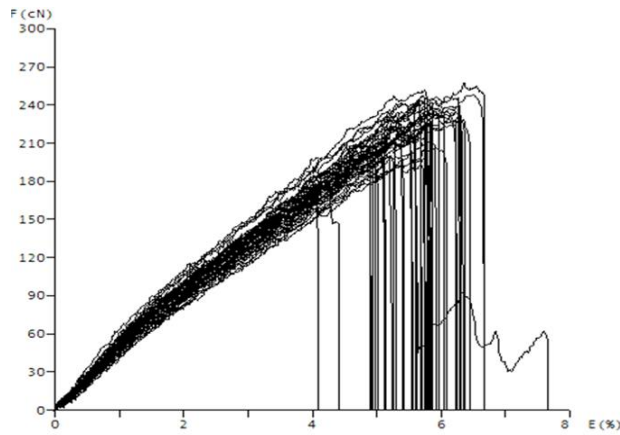
Uzish mashinasida ipni uzilishgacha cho'zish bo'yicha tajribalar takroriyliigi 50 marta. «Tenso-Master» uzish mashinasining dasturiy ta'minoti o'zida eksperimental ma'lumotlarni statistik qayta ishlashni amalga oshiradi va statistik qayta ishlashning kutilayotgan qiymati, o'rtacha og'ish, dispersiya va boshqa natijalarini avtomatik ravishda chop etadi. Bu ma'lumotlarga ko'ra tajriba xatolari 5% dan oshmaydi, ya'ni eksperimental ma'lumotlarning ishonchliligi 95% ni tashkil etadi, shuning uchun bu yerda statistik ishlov berishning batafsil ma'lumotlari berilmaydi.

1-rasmda $T=20$ teksli karda sistemasi halqali yigirish usulida ishlab chiqarilgan paxta ipi uchun dastlabki tarangliksiz olingan cho'zilish diagrammasi keltirilgan, bunda $\mathcal{G}=100$ mm/min, $L_0=800$ mm, $\varepsilon_g=0,002$ s⁻¹. Ushbu variant 1-jadvalda ko'rsatilgan eng past deformatsiya tezligiga tegishli. Diagrammadagi tik chiziqlar ipning uzilish nuqtalarini ifodalaydi. Tajribalar bir xil sharoitda, bir xil ip bilan 50 marta takrorlangan. Ipning notekisligi uning uzunligi bo'yicha turlicha bo'lganligi sababli iplar har xil ε_k ko'rsatkichlarda uzilgan.

Bazaviy uzunlik qiymatining $L_0 = 800$ mm dan $L_0 = 100$ mm gacha kamayishi diagrammadagi umumiy ko‘rinishini o‘zgartirmaydi (2-rasm). Biroq, bu holda $F(\varepsilon)$ egri chiziqlarining tebranishi kuchayadi. Bu hodisa qisqichlarda ipning mikro darajada sirpanishi bilan bog‘liq.

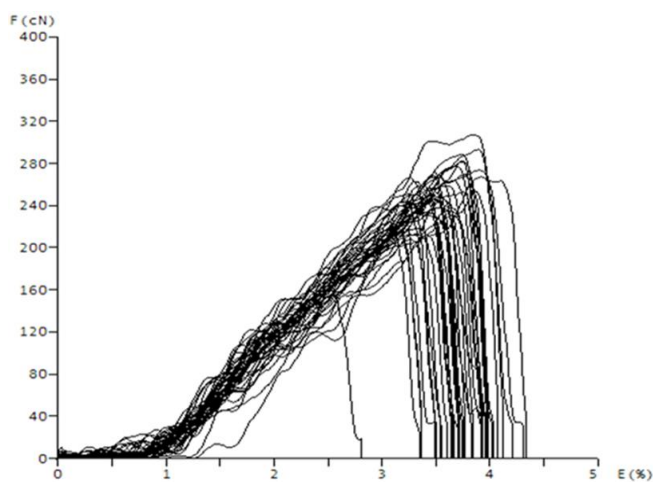


1-rasm. Karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi uchun tajribadan olingan $F(\varepsilon)$ diagrammalar $G = 100$ mm/min, $L_0 = 800$ mm, $T = 20$ teks, $\varepsilon_g = 0,002$ s⁻¹



2-rasm. Karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi uchun tajribadan olingan $F(\varepsilon)$ diagrammalar $G = 100$ mm/min, $L_0 = 100$ mm, $T = 20$ teks, $\varepsilon_g = 0,0166$ s⁻¹

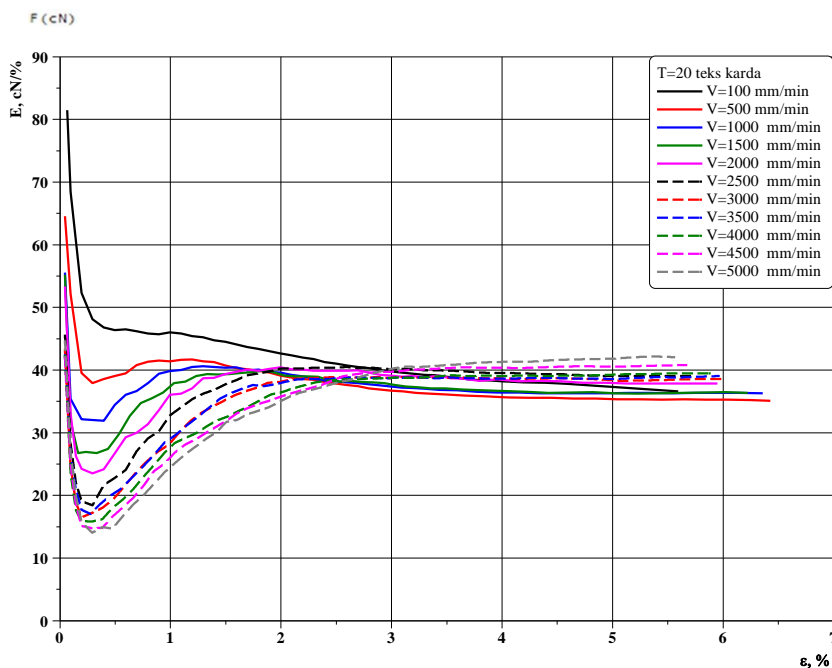
Bazaviy uzunlik 8 marta kamaytirilganda, deformatsiya tezligi 8,3 marta ortdi, bu esa ipning uzilish paytidagi maksimal uzilish kuchi F_k qiymatining 220 cN dan 250 cN gacha ko‘tarilishiga olib keladi.



3-rasm. Karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi uchun tajribadan olingan $F(\varepsilon)$ diagrammalar $G = 5000$ mm/min, $L_0 = 100$ mm, $T = 20$ teks, $\varepsilon_g = 0,833$ s⁻¹

Bunda kritik deformatsiya ε_k bir xil oraliqda o‘zgaradi. Uzilish kuchi qiymatining ortishi deformatsiya tezligining ta’siri bilan izohlanadi.

3-rasmda deformatsiya tezligi $\varepsilon_g = 0,833$ s⁻¹ ni tashkil etadi. Bu tajribalar seriyasidagi eng katta natija hisoblanadi (1-jadval). Ipning harakat tezligi 100 mm/min dan 5000 mm/min gacha oshishi, kritik kuch F_k qiymatining ortishiga olib keladi. 1, 2-rasmlar bilan solishtirganda 13,6% va 22% ga katta. Bu yerda ipning uzilish paytidagi kritik deformatsiya qiymatining kamayishi kuzatiladi. $L_0 = 100$ mm bo‘lganda, ayrim



4-rasm. Karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan paxta ipi uchun deformatsiya modullarining harakat tezliklari \mathcal{G} va L_0 bazaviy uzunliklarga bog‘liqlik diagrammasi

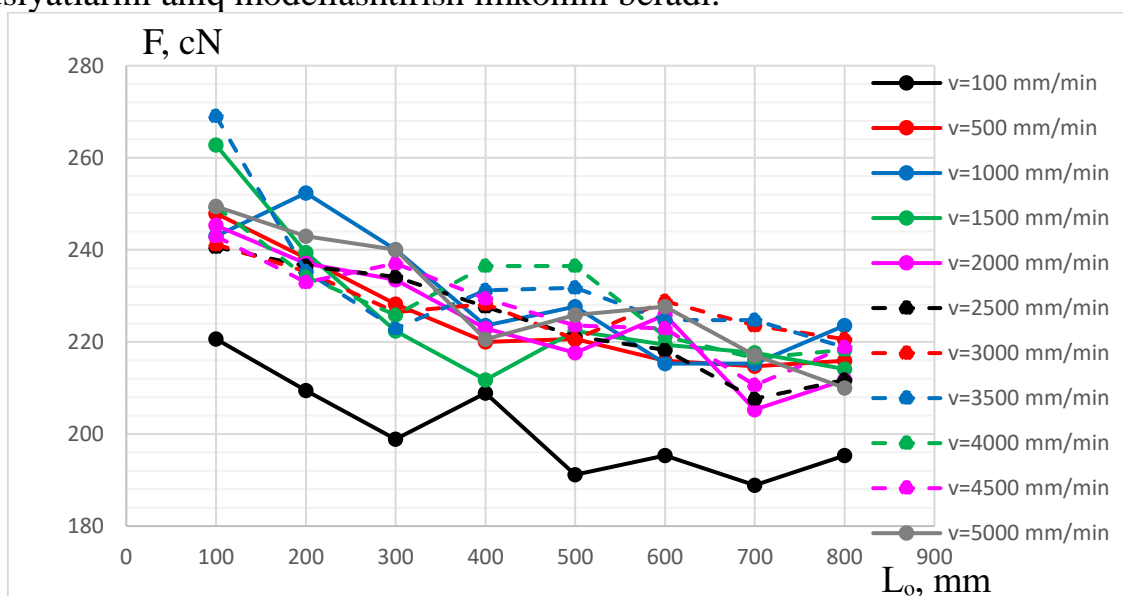
mexanik xususiyatlariga ta’sir etadi. Bularning eng muhimi deformatsiya modulidir (elastiklik moduli, qovushoq-elastiklik moduli va plastiklik moduli birgalikda). 4-rasmda $T=20$ tekis karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipining deformatsiya modullarining harakat tezligi va L_0 bazaviy uzunliklarga bog‘liqlik grafiklari keltirilgan. Ipnining deformatsiyalanish moduli dastlabki $E=E_N$ qiymatdan boshlab, ε deformatsiya ortishi bilan $\varepsilon = \varepsilon_N$ avval tez sur’atda ko‘tariladi, so‘ngra deformatsiyaning $\varepsilon = \varepsilon_e$ ma’lum bir qiymatidan boshlab asta-sekin pasayib boradi. Ipnining harakat tezligi past bo‘lganda $\mathcal{G}=100$ mm/min (qora chiziq) $E(\varepsilon)$ bog‘liqlikda «botiqlik» kuzatilmaydi. Harakat tezligi $\mathcal{G}=500$ mm/min gacha oshganda, «botiqlik» paydo bo‘ladi (qizil chiziq). Keyinchalik ipning harakat tezligi 500 mm/min dan 5000 mm/min gacha oshishi (4-rasm), «botiqlik» ning deyarli uch barobar oshishiga olib keladi. Eng katta «botiqlik» $\mathcal{G}=5000$ mm/min tezlikda kuzatiladi (kulrang shtrix chiziq). Deformatsiya qiymati $\varepsilon=0,03$ yoki 3% ga yetganda, deformatsiya modulining qiymati barqarorlashadi. 4-rasmda ko‘rsatilganidek, E modulning qiymatlari, kutilganidek, ip harakat tezligi oshishi bilan ortib boradi. Bu shundan dalolat beradiki, ip cho‘zilish tezligi oshishi bilan uning deformatsiya xususiyatlari o‘zgaradi, bu esa E deformatsiya modulining ortishida o‘z aksini topadi. Bundan tashqari 1-jadvalda ko‘rsatilgandek past harakat tezliklari uchun E modul deformatsiya qiymati minimal, yuqori tezliklar uchun ular maksimal qiymatga yetadi.

Ushbu ishning 2-bo‘limida keltirilgan keng ko‘lamli tajriba tadqiqotlari natijalari shuni ko‘rsatdiki, ip deformatsiyasi chiziqlaridagi «botiqlik» hodisasi bir nechta omillarga bog‘liq: a) deformatsiya tezligi va b) ipning dastlabki tarangligi. Bu esa

tajribalarda kritik deformatsiya qiymati pasayadi. Ehtimol, bu ip uzunligi bo‘ylab cho‘zuvchi kuchning tarqalishi va o‘rnatilishi jarayoni bilan bog‘liqdir, chunki qisqa iplarda to‘lqinli jarayon tezroq kechadi. Bu masalani ipning uzilish jarayonini matematik modellashtirish usullari yordamida nazariy jihatdan tadqiq etish orqali aniqlashtirish mumkin. Yuqorida ta’kidlanganidek, cho‘zilish jarayonida paxta tolalaridan tashkil topgan ipning murakkab tuzilishi o‘zgaradi, bu esa o‘z navbatida uning fizik-

«botiqlik» kabi hodisalar tasodifiy emas, balki ma’lum sinov sharoitlari bilan bog‘liq ekanligini tasdiqlaydi. Bu nazariy modellarni tuzishda muhim ahamiyatga ega. Bizning tajribalarimizda qo‘llanilgan "Tenso Master" uzish mashinasida ipning yuqori harakat tezligiga erishib bo‘lmaydi. Biroq, hatto 5 m/min (5000 mm/min) tezlikda ham $E(\varepsilon)$ bog‘liqliklarda «botiqlik» kuzatiladi.

Ip uzilishiga olib keladigan kritik kuch uning cho‘zilish jarayonidagi eng muhim ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Biroq, ipning harakatlanish tezligi yoki deformatsiyalanish tezligining ushbu ko‘rsatkichga ta’siri hozirga qadar yetarlicha o‘rganilmagan. Ipning, xususan paxta ipining cho‘zilish diagrammalariga deformatsiyalanish tezligining ta’sirini o‘rganishga qaratilgan tajribaviy va nazariy tadqiqotlar jahon ilmiy adabiyotida deyarli uchramaydi. Ipning uzilish jarayonini keyingi nazariy tadqiqotlari uchun deformatsiyalanish tezligining uzilish sodir bo‘ladigan kritik kuch qiymatiga ta’siri qonuniyatlarini aniqlash juda muhimdir. Bu qonuniyatlarni tushunish haqiqiy texnologik sharoitlarda ipning xatti-harakati va xususiyatlarini aniq modellashtirish imkonini beradi.



5-rasm. $T=20$ tekсли karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi uchun kritik kuchni harakat tezliklari \mathcal{G} va L_0 bazaviy uzunliklarga bog‘liqlik diagrammasi

5-rasmda paxta ipining uzilishiga olib keladigan kuchga ip harakatlanish tezligi va bazaviy uzunlikning ta’sir qonuniyatlarini aniqlashga qaratilgan tajriba sinovlari natijalari taqdim etilgan.

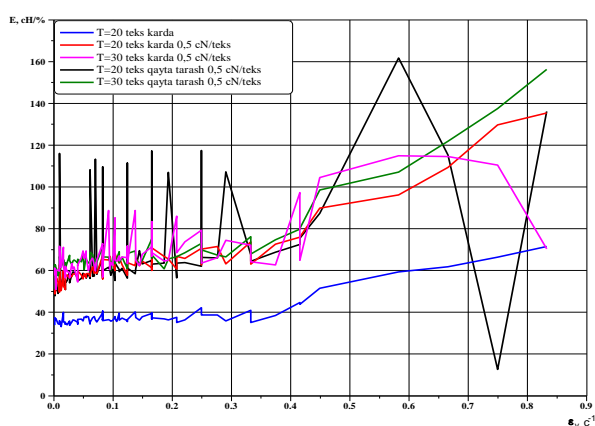
Deformatsiyaning bazaviy uzunligi L_0 ortishi bilan deformatsiyalanish tezligi pasayadi (1-jadval). Bu esa kritik kuch F_K qiymatlarining pasayishiga olib keladi. Demak, boshqa sharoitlar o‘zgarmas qolganda, deformatsiyalanish ortishi bilan ip uzilishidan oldin kamroq cho‘zuvchi kuchga duch keladi. Shu bilan birga, ipning deformatsiyalanish tezligi o‘zgarganda kritik kuch F_K qiymatlari oshadi. Bu oshish, ayniqsa ip harakati past tezlikda bo‘lganda, deformatsiyalanish tezligining oshishi ipning mustahkamligiga ko‘proq ta’sir ko‘rsatganda yaqqolroq namoyon bo‘ladi.

Paxta ipining uzilish jarayonini nazariy o‘rganish uchun ushbu ishning birinchi bo‘limida keltirilgan noxiziq deformatsiya va uzilishning matematik model

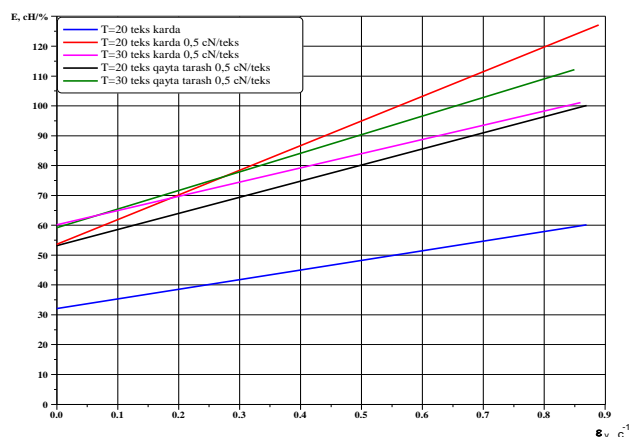
tenglamalaridan foydalanish juda muhimdir. Buning uchun ipning deformatsiya modullarining deformatsiya tezligiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi haqidagi tajriba ma’lumotlari juda muhim ahamiyatga ega. Bu ma’lumotlar ipning cho‘zilishi va uzilishi jarayonida sodir bo‘ladigan jarayonlarni aniq modellashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Deformatsiya tezligining ip uzilishiga ta’sirini o‘rganishga qaratilgan kompleks tajriba tadqiqotlari ipning turli deformatsiya tezliklaridagi xatti-harakatini belgilaydigan asosiy qonuniyatlarni aniqlash imkonini berdi. Bu natijalar keyingi nazariy tahlil va tezlikning ipning mustahkamlik xususiyatlariga va cho‘zilish sharoitida uzilishga moyilligiga ta’sirini hisobga oladigan aniqroq modellarni ishlab chiqish uchun asos bo‘ldi.

6-rasmdan ko‘rinib turibdiki, deformatsiya modullarining deformatsiya tezligiga bog‘liqligi ma’lumotlarning sezilarli darajada tarqoqligi bilan tavsiflanadi. Bu holat dastlabki tajriba diagrammalaridagi $F(\varepsilon)$ ma’lumotlarning keng tarqoqligi bilan izohlanadi. Shu sababli, 6-rasmda keltirilgan ushbu murakkab egri chiziqlarni o‘rtachasini olish zaruriyati paydo bo‘ladi. Grafiklarni o‘rtachalari natijasi 7-rasmda aks ettirilgan.



6-rasm. Turli xil paxta iplarining deformatsiya moduli va deformatsiyalanish tezligi o‘rtasidagi tajribaviy bog‘lanishlar



7-rasm. Turli xil paxta iplarining deformatsiya modullarining deformatsiyalanish tezligiga bog‘liq o‘rtacha qiymatlari

Dastlabki taranglashning ta’siri kritik kuchning o‘zgarishida ham, ipning deformatsiyalanish modulining o‘zgarishida ham namoyon bo‘lishi mumkin. Odatda, dastlabki taranglikni oshirish ipning mustahkamlik xususiyatlarini yaxshilashga olib keladi. Bu holat ip tarangligini nazorat qilish muhim bo‘lgan texnologik jarayonlarni loyihalashda e’tiborga olinishi lozim. Mazkur omil ipning cho‘zilish va uzilishdagi xatti-harakatiga ta’sir qilgani sababli, nazariy modellarni tuzishda muhim ahamiyat kasb etadi. 7-rasmdagi barcha chiziqlardan pastroqda joylashgan ko‘k chiziq dastlabki tarangliksiz, $T=20$ teks bo‘lgan karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan ipga tegishlidir. Qizil chiziq esa xuddi shu ipning dastlabki taranglik kuchi ta’siridagi ma’lumotlarini ifodalaydi. Ko‘rinib turibdiki, bu chiziqlarda deformatsiya modulining qiymatlari taxminan ikki barobar farq qiladi.

Qayta tarash-halqali usulida yigirilgan ip karda-halqali ipga nisbatan deformatsiya modullarining biroz kichikroq qiymatlarini namoyon etadi (grafikdagi qora va yashil chiziq). Qayta tarash ipi mustahkamroq hisoblanishiga qaramay, uning deformatsiya moduli deformatsiyalanish tezligiga kamroq bog‘liq bo‘ladi (qora chiziq). Bu hodisa uning yuqori elastikligi bilan bog‘liq, ya’ni cho‘zuvchi kuchlar ta’sir etganda boshqa turdagi iplarga nisbatan kamroq o‘zgarish bilan dastlabki holatiga qaytadi. 7-rasmda ko‘rsatilganidek, bir xil parametrlarda qayta tarash va karda sistemasi halqali yigirish usulida olingan iplarning deformatsiya modullarining boshlang‘ich qiymatlari bir-biriga yaqin (qora va qizil chiziq). Biroq, o‘xshash boshlang‘ich qiymatlarga qaramay, cho‘zilishdagi xatti-harakatlar farqi bu ip turlarining tuzilishidagi farqlar bilan bog‘liq. Bu farqlar ularning elastiklik va cho‘zilish tezligi o‘zgarganda deformatsiyaga moyillik kabi mexanik xususiyatlariga ta’sir ko‘rsatadi. Ipnning chiziqli zichligi ortishi deformatsiya moduli qiymatlarining ortishiga olib keladi. Bu holat yashil chiziq (qayta tarash) va to‘q sariq chiziq (karda) orqali ifodalangan.

7-rasmda keltirilgan tajriba natijalari asosida dinamik deb qabul qilingan $\varepsilon_g = 0,833s^{-1}$ deformatsiyalanish tezligidagi deformatsiya moduli E_D ning, statik deb qabul qilingan $\varepsilon_v = 0,002s^{-1}$ deformatsiyalanish tezligidagi deformatsiya moduli E_S ga nisbatini aniqlaymiz. Bu qiymatlarning natijalari 7-rasmga muvofiq 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Deformatsiyalanish tezligiga bog‘liq ravishda deformatsiya modullarining tajribaviy qiymatlari

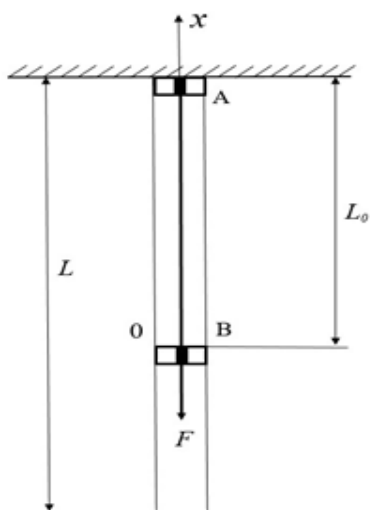
Yigirilgan ip	E_S, N	E_D, N	E_D / E_S
Karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi $T=20$ teks	32	60	1,875
Karda sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi $T=20$ teks $F_N = 0,5$ cN	53.5	127	2,374
Qayta tarash sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi $T=20$ teks $F_N = 0,5$ cN	53	100	1,887
Karda sistemasi halqali yigirish usulida yigirilgan paxta ipi $T=30$ teks $F_N = 0,5$ cN	60	101	1,683
Qayta tarash sistemasi halqali usulda yigirilgan paxta ipi $T=30$ teks $F_N = 0,5$ cN	59	112	1,898

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, tajribalarda berilgan deformatsiya tezliklarida (1-jadval) E_D/E_S , ya’ni dinamik deformatsiya modulining statik deformatsiya moduliga nisbati taxminan 1,5 dan 2,5 gacha o‘zgaradi. Bu qiymatlar to‘liq maqbul bo‘lib, paxta ipiga o‘xshash materiallar uchun xos bo‘lgan diapazonga mos keladi. Bu esa olingan natijalar shu turdagi materiallar uchun kutilishi mumkin bo‘lgan chegaralar doirasida

ekanligini tasdiqlaydi va bu o'z navbatida keyingi nazariy va amaliy xulosalarning to'g'riligini ta'minlaydi.

Dissertatsiyaning «**Ishlab chiqilgan matematik modeli asosida paxta iplarining nohiziq deformatsiyalanishi cho'zilishi va uzilish jarayonlarini sonli tadqiq etish**» deb nomlangan uchinchi bobida «Tenso Master» qurilmasida ipning mustahkamligini sinash sxemasiga asoslanib, tajriba qo'yilishiga mos keladigan nazariy masalaning hisoblash sxemasi tanlandi. Paxta iplarining mustahkamligi va uzilishining nohiziq nazariyasi uchun ishlab chiqilgan matematik modelga muvofiq to'liqin masalasi qo'yildi. Ko'rib chiqilayotgan chegaraviy masalaning chegaraviy shartlari tanlanib, asoslandi. Masalani sonli yechish uchun algoritmlar va dastur tuzildi hamda ular EHMda amalga oshirildi.

Paxta iplarining geometrik va mexanik xususiyatlariga bog'liq holda, ip uzunligi bo'ylab, vaqt davomida cho'zuvchi kuch, deformatsiya hamda tezlikning o'zgarishini aniqlash uchun bir qator sonli hisob-kitoblar o'tkazildi. Olingan ma'lumotlar ishlab chiqilgan matematik modelni qo'llagan holda ipning cho'zilishdagi deformatsiyalanishi bo'yicha ketma-ket raqamli tajribalar o'tkazish imkonini beradi. Bunday raqamli tajribalar ipning turli cho'zilish sharoitlaridagi xatti-harakatini yanada

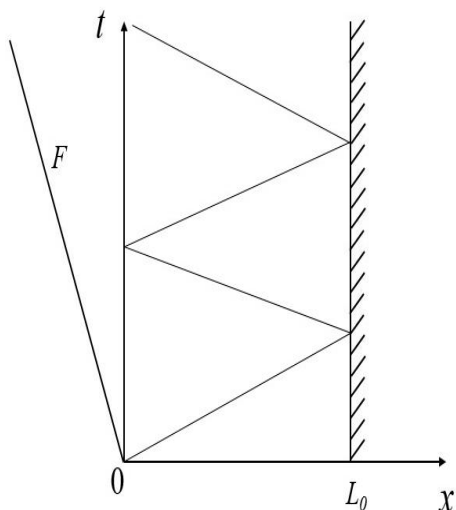


8-rasm. «Tenso Master» uskunasi paxta ipining uzilishgacha cho'zilishini hisoblash sxemasi

aniqroq o'rganishga, shuningdek, deformatsiyalanish tezligi va dastlabki taranglik kabi asosiy omillarning uning mustahkamlik xususiyatlari hamda uzilishiga ta'sirini baholashga yordam beradi.

8-rasmda «Tenso Master» qurilmasida F cho'zuvchi kuch ta'sirida ipning cho'zilish sxemasi keltirilgan. A qismi maxsus zajemlar orqali harakatsiz holga to'g'rilanadi. Ipning pastki qismi Bga cho'zish kuchi F ta'sir qiladi va uning natijasida bu qism OX o'qida harakatlanadi.

Umumiy cho'zish uzunligi L 1 metrga teng va o'zgarmas qiymatga ega. Bazaviy cho'zish uzunligi L_0 esa o'zgaruvchan qiymat bo'lib, $10 \div 80$ sm oraliqda o'zgaradi (jadval 1). Cho'zish kuchi ta'sirida ip cho'zila boshlaydi va ipning uchiga qo'yilgan kuch ip uzunligi bo'ylab tarqaladi.



**9-rasm. «Tenso Master»
qurilmasida ip cho‘zish
jarayoniga mos keladigan to‘lqinli
tasvir**

9-rasmda to‘lqinli jarayonga mos keluvchi to‘lqin ko‘rinishi ko‘rsatilgan. F kuch ta‘sirida $x = 0, t = 0$, nuqtadan boshlab, ipning pastki qismi (B nuqtasi)ga X o‘qi bilan ustma ust va qarama-qarshi yo‘nalishda harakatlantiruvchi kuch ta‘sir qiladi. To‘lqin F kuchi ta‘sirida paydo bo‘ladi va ip bo‘ylab tarqaladi. Bu to‘lqin ipning yuqori nuqtasiga (A nuqta) yetib borganda, unda aks etadi. Aks etgan to‘lqin ham ip orqali tarqalib, ipning pastki nuqtasi (B nuqta)ga yetib borganda u yerdan yana aks etadi. Bu to‘lqin jarayoni bir necha bor takrorlanadi. Bunda tx xarakteristik tekisligida kuchsiz uzilish chiziqlariga mos keladigan ko‘plab to‘lqin frontlari hosil bo‘ladi. Ushbu to‘lqin frontlari uzilish chiziqlari orqali

uzluksiz o‘tib, har bir shunday frontdagi to‘lqin o‘z tuzilishini o‘zgartirmasdan siljiydi. To‘lqinlarning bunday ko‘p marta qaytarilishi va tarqalishi ipning dinamik xatti-harakatini yuzaga keltiradi. Bu jarayonda to‘lqin hodisalari ipning mexanik xususiyatlariga va cho‘zilish jarayoniga sezilarli darajada ta‘sir ko‘rsatadi.

Paxta ipining cho‘zilishi va uzilishi jarayonining noxiziqli nazariyasi hamda matematik modeli (1-bo‘lim) asosida ishlab chiqilgan algoritm va EHMda hisoblash dasturi ushbu jarayonni nazariy jihatdan o‘rganish imkonini beradi. Bu holda sonli modellashtirish usuli yordamida tajribalarda hisobga olish imkonsiz bo‘lgan barcha mumkin bo‘lgan holatlar va variantlarni ko‘rib chiqish mumkin.

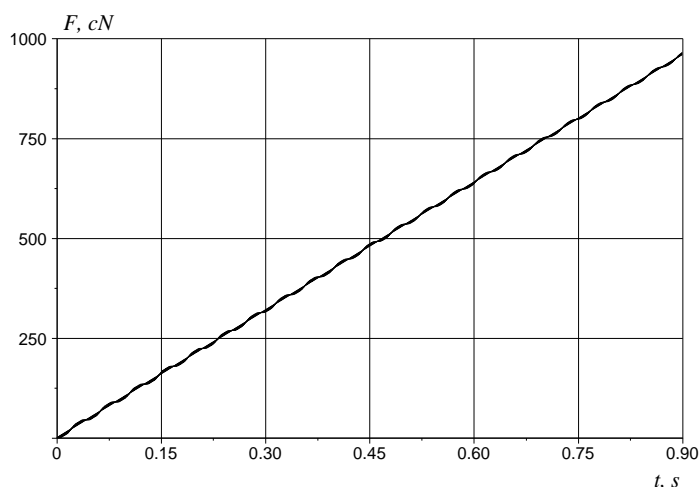
Ushbu dissertatsiyaning 1-bo‘limida keltirilgan masalaning qo‘yilishiga va 8-rasmdagi hisoblash sxemalariga muvofiq, masalaning dastlabki parametrlari quyidagilardan iborat:

T - ipning chiziqli zichligi; F_k - ip uziladigan kritik cho‘zilish kuchi; t_k - ipning uzilish vaqti; E_D - ip deformatsiyasining dinamik moduli; L_0 - ip deformatsiyalanishining bazaviy uzunligi; v_p - ipning harakat tezligi; ε_k - ip uziladigan kritik deformatsiya; ε_e - iplarning elastik deformatsiyalanish chegarasi; μ_N - ipning hajmiy yopishqoqlik parametrining boshlang‘ich qiymati; μ_k - ip uzilishidagi hajmiy yopishqoqlik parametrining qiymati; γ_N - ip deformatsiyasi modullarining E_D/E_S nisbati boshlang‘ich qiymati; $\gamma_m = \gamma_k E_D/E_S$ nisbatining oxirgi (uzilish paytidagi) qiymati.

Ushbu boshlang‘ich parametrlarning asosiy qiymatlari quyidagicha:

$T=20$ teks; $F_k = 260,0$ cN; $t_k=0,15$ min; $E_D=3375,0$ MPa; $L_0=100$ mm; $v_p = 5000$ mm/min; $\varepsilon_k = 0,007$; $\varepsilon_e = 0,03$; $\mu_N = 10000$ s⁻¹; $\mu_k = 1000$ s⁻¹; $\gamma_N=1,1$; $\gamma_m = \gamma_k$

=3,0. Ushbu boshlang'ich ma'lumotlar asosiy hisoblanadi. Bu parametrlarning o'zgarishi alohida ko'rsatiladi.

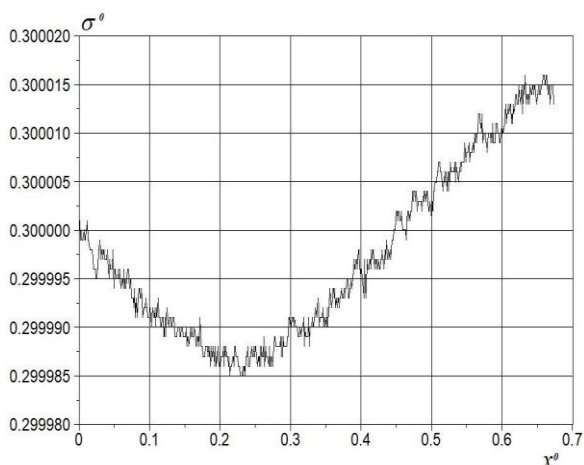


10-rasm. $x = 0$; bo'lganda nochiziq deformatsiyalanadigan ipdagi cho'zuvchi kuchning o'zgarishi 10; 20; 30; 40; 50; 90; 100 sm; $T=20$ teks, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 1,102$; $L_0 = 100$ mm; $\mathcal{G} = 5000$ mm/min

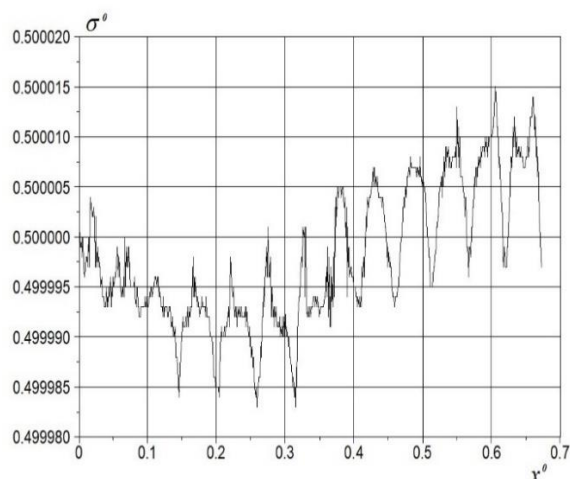
10-rasmda yuqoridagi dastlabki ma'lumotlar asosida ipda cho'zuvchi kuchning o'zgarishini EHMda hisoblash natijalari keltirilgan. Bu yerda F kuchning vaqt bo'yicha o'zgarishi, ya'ni $F(t)$ funksiyasi, ipning $x = 0; 10; 20; 30; 40; 50; 90; 100$ sm qismchalarida deyarli bir xil. Ya'ni ipning barcha qismchalarida kuch amalda bir xil. Biroq, $F(t)$ o'zgarishlarida biroz kuchsiz to'lqinsimonlik kuzatiladi. Ipning deformatsiyalanish qonuni chiziqli bo'lgan holda, 10-rasmdagi $F(t)$ bog'lanishlar ham chiziqli bo'lib qoladi.

Deformatsiyalanish bazaviy uzunligining jarayonga ta'sirini ko'rib chiqamiz. 11-rasmda o'lchamsiz bo'ylama kuchlanishning ip uzunligi bo'yicha o'zgarishi keltirilgan. Bu holda ushbu hisoblash ma'lumotlari belgilangan vaqt momentiga tegishli: $t=0,045$ soniya. 11-rasmdan ko'rinib turibdiki, ip uzunligi bo'ylab kuchlanishlar bir xil emas. Ipning boshlang'ich qismchalarida u kamayadi, keyin esa ortadi va ipning qo'zg'almas mahkamlangan uchida - A nuqtada maksimumga erishadi. Bundan tashqari, ipdagi nochiziq to'lqin jarayonlari ta'sirida kuchlanish qiymatlari kichik amplitudali yuqori chastotali tebranishlarni hosil qiladi. Bu ma'lumotlarni hozircha tajribada olish imkonsiz

11-rasmga ko'ra, ip uzunligi bo'yicha o'lchamsiz kuchlanishning o'zgarishi sezilarli emas. Vaqt o'tishi bilan bu o'zgarishlar ortib boradi. Belgilangan $t=0,045$ va $0,075$ soniyada ular sezilarli darajada $0,500020$ dan $0,90003$ gacha oshadi, kuchlanishning tebranish chastotasi esa $0,499985$ dan $0,89995$ gacha kamayadi (12-rasm). Ip uzunligi bo'ylab kuchlanishning o'zgarishi haqiqatan ham ip uzilishining sabablaridan biri bo'lishi mumkin. Agar kuchlanishning o'zgarish chastotasi ipning xususiy tebranish chastotasi bilan mos kelsa, rezonans hodisasi yuzaga keladi. Rezonans paytida tebranish amplitudasi ortadi, bu esa deformatsiyalarning kuchayishiga va natijada, hatto yuqori mustahkamlikka ega bo'lsa ham, ipning uzilishiga olib kelishi mumkin. Bu hodisa, ayniqsa, dinamik yuklamalar sharoitida muhim ahamiyatga ega, chunki materialga ta'sirlar ma'lum chastotada sodir bo'ladi va chastotalar mos kelganda yemirilishga olib kelishi mumkin.



**11-rasm. Nochiziq deformatsiyalanuvchi ipning uzunligi bo‘ylab o‘lchamsiz kuchlanishning o‘zgarishi $t=0,045$ s;
 $T=20$ teks, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3,0$; $L_0 = 100$ mm;
 $\mathcal{G} = 5000$ mm/min**

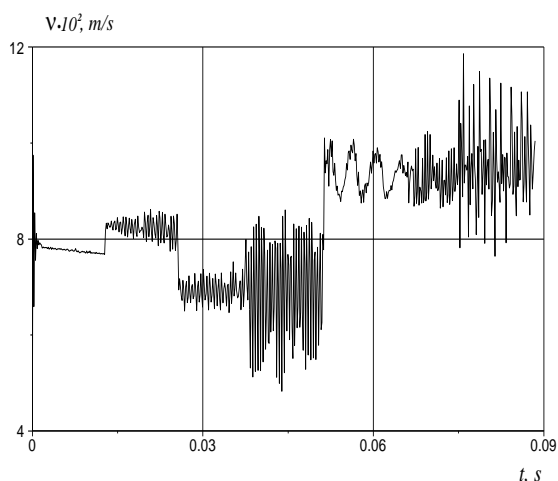


**12-rasm. Nochiziq deformatsiyalanuvchi ipning uzunligi bo‘ylab o‘lchamsiz kuchlanishning o‘zgarishi $t=0,045$ s;
 $T=20$ teks, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3,0$;
 $L_0 = 100$ mm; $\mathcal{G} = 5000$ mm/min**

Ushbu jarayonni chuqurroq tushunish uchun qo‘shimcha tadqiqotlar o‘tkazish zarur. Bu ipning dinamik xususiyatlarini o‘rganishni o‘z ichiga oladi jumladan, uning xususiy tebranish chastotalari va tashqi kuchlar ta’sirida o‘zini qanday tutishini. Bunday tadqiqotlar kuchlanishlarning o‘zgarishi va rezonans hodisalari ipning mustahkamligi va chidamliligiga qanday ta’sir ko‘rsatishini yaxshiroq tushunishga yordam beradi, shuningdek, uni ishlatish jarayonida uzilishlarning oldini olish usullarini ishlab chiqishga imkon yaratadi.

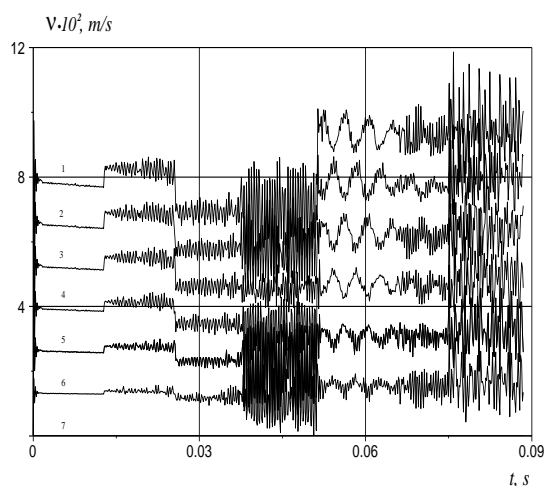
Ayniqsa e’tiborli jihati shundaki, ip uzunligi bo‘yicha kuchlanishlar tebranish chastotalari o‘zgaruvchan bo‘lib, vaqt o‘tishi bilan kamayib boradi. Ilgari kuzatilmagan bu hodisa ipning cho‘zilish jarayonida fizik holatining o‘zgarishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Vaqt o‘tishi va ip cho‘zilishi bilan uning elastiklik va qovushqoqlik kabi mexanik xususiyatlari o‘zgarishi mumkin, bu esa kuchlanishlar tebranish chastotalariga ta’sir ko‘rsatadi. Tebranish chastotalarining bunday o‘zgarishlari turli omillar, jumladan ipning tuzilishidagi o‘zgarishlar, uning kuchlanish holati, shuningdek uzoq muddatli yuk ta’sirida materialning qovushqoq yoki plastik deformatsiya kabi jarayonlar tufayli yuzaga kelishi mumkin. Bu esa ipning xususiy tebranish chastotasini asta-sekin pasayishiga va uning dinamik xususiyatlarini o‘zgarishiga olib kelishi mumkin.

Bunday o‘zgarishlarni o‘rganish ipning deformatsiyalanishi va uzilishi jarayonlarini chuqurroq tushunish, shuningdek uning dinamik yuklamalarga bardoshlilikini baholash usullarini ishlab chiqish uchun muhimdir.



13-rasm. $x=0$ bo'lganda nochiziq deformatsiyalanuvchi ipdagi tezlikning o'zgarishi $T=20$ teks, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3.0$;

$L_0 = 10$ sm; $\mathcal{G} = 5000$ mm/min



14-rasm. Nochiziq deformatsiyalanadigan ip qismchalarida tezlikning o'zgarishlari $x = 0$; 2) $x = 1.67$; 3) $x = 3.33$; 4) $x = 5.0$;

5) $x = 6.67$; 6) $x = 8.33$; 7) $x = 10$ sm;

$T = 20$ teks, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3.0$;

$L_0 = 10$ sm; $\mathcal{G} = 5000$ mm/min

Ko'rib chiqilayotgan hisoblash varianti uchun ip qismchalari tezligining o'zgarishi 13-rasm va 14-rasmda keltirilgan. 13-rasmda ipning boshlang'ich harakatlanuvchi qismchai $x = 0$ uchun tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi ko'rsatilgan bo'lib, bu yerda cho'zuvchi kuch ta'sir etadi. 14-rasmda tezlikning o'zgarish egri chiziqlari ipning $x = 0$; 1,67; 3,33; 5,0; 6,67; 8,33; 10 sm qismchalari uchun berilgan.

Bu natijalarda xarakterli tomoni shundaki, ayrim vaqt oraliqlarida tezliklar tebranish amplitudasi boshqa oraliqlardagi amplitudadan sezilarli darajada yuqori bo'ladi. Ular go'yo kelajakda ipning uzilishi mumkin bo'lgan joylarni yoki vaqtlarni ko'rsatib turganday. Ip cho'zilganda ma'lum vaqtlarda rezonans tebranishlar paydo bo'lib, bu ip uzilishiga olib kelishi mumkin. Bu natijalar ipning cho'zilishdagi uzilishini bashoratlashda juda muhim hisoblanib, ipning nochiziq deformatsiyalari bilan bevosita bog'liqdir.

Ipni uzilguncha cho'zishning nochiziq masalasini sonli yechish dasturi, mustahkamlik va uzilishning nochiziq nazariyasiga asoslangan holda, 5-ilovada taqdim etilgan. Ushbu dastur O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligida 2024-yil 25-iyuldagi DGU 41720-son bilan ro'yxatdan o'tkazilgan (6-ilova).

Paxta ipining uzilishgacha cho'zilish jarayonining nochiziq mustahkamlik va uzilish nazariyasi hamda matematik modeli (1-bo'lim) asosida ishlab chiqilgan algoritmi va EHMda hisoblash dasturi ushbu jarayonni nazariy jihatdan o'rganish imkonini beradi. Bu holda sonli modellashtirish usuli yordamida tajribalarda hisobga olish imkonsiz bo'lgan barcha ehtimoliy holatlar va variantlarni ko'rib chiqish mumkin.

XULOSA

1. Paxta iplarini uzilishgacha cho‘zishda ma’lum bo‘lgan deformatsiyalanish va uzilish nazariyasi asosida cho‘zilish bo‘yicha seriyali tajribalardan foydalanib, Eyring modeliga asoslangan matematik model ishlab chiqildi.

2. Ko‘p sonli tajribalar o‘tkazish va chiziqli zichligi $T=20$ hamda 30 teks bo‘lgan paxta iplarining uzilishgacha cho‘zilish diagrammalarini statistik qayta ishlash natijasida, iplarning turli deformatsiya tezliklarida ($0,002\div 0,833\text{ s}^{-1}$) iplarning deformatsiya modullari aniqlandi. Ushbu tadqiqot natijasida iplarning statik $E_S(\varepsilon)$ va dinamik $E_D(\varepsilon)$ deformatsiya modullarining qiymatlari hamda ularning $E_S(\varepsilon)/E_D(\varepsilon)$ nisbati aniqlandi. Mazkur nisbat paxta ipining turiga qarab 1,683 dan 2,374 gacha o‘zgaradi. Ushbu parametrlar ishlab chiqilgan matematik model asosida sonli tajriba o‘tkazish uchun zarur hisoblanadi.

3. Deformatsiyalashning turli asosiy uzunliklarida ($100\div 800\text{ mm}$), ipning cho‘zilish tezliklarida ($100\div 5000\text{ mm/min}$) hamda dastlabki taranglik kuchi $F_N = 0,5\text{ cN}$ da olib borilgan tajribalar natijasida, deformatsiya modulining deformatsiyaga bog‘liqlik grafigida “botiqlik” deb nomlanuvchi hodisa mavjudligi tajribalar orqali isbotlandi. Bu holat ekspluatatsion yuklanishlarda ip uzilishining texnologik sharoitlarini oldindan belgilab beradi.

4. Ip uzilishi jarayonida $E(\varepsilon)$ bog‘lanishlarda hosil bo‘lgan “botiqlik” ipning harakat tezligiga bog‘liq. Past harakat tezliklarida $\varrho=100\text{ mm/min}$ $E(\varepsilon)$ bog‘liqlikda “botiqlik” kuzatilmaydi. Harakat tezligi $\varrho=500\text{ mm/min}$ ga yetganda, “botiqlik” paydo bo‘ladi. Keyinchalik ipning harakat tezligi 500 mm/min dan 5000 mm/min gacha oshishi, “botiqlik”ning deyarli uch barobar oshishiga olib keladi. Eng katta “botiqlik” $\varrho=5000\text{ mm/min}$ tezlikda kuzatiladi.

5. Ip uzilishiga sabab bo‘ladigan kritik kuchning deformatsiya tezligiga bog‘liqligi tajriba yo‘li bilan aniqlandi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, deformatsiya tezligi ortishi bilan kritik kuch qiymatlari 15–20 % oraliq‘ida o‘zgarishi kuzatildi.

6. Paxta iplari mustahkamligi va uzilishining noxiziq nazariyasining ishlab chiqilgan matematik modeliga muvofiq chegaraviy masala qo‘yildi va tuzilgan algoritmlar va EHMda sonli eksperiment dasturi yordamida yechildi.

7. Sonli tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, chiziqli ortuvchi kuch ta’sirida ipda noxiziq to‘lqin jarayoni hosil bo‘ladi. Kuchlanishlarning notekis taqsimlanishi natijasida o‘zgaruvchan chastotali tebranishlar va ipning uzilishiga olib keluvchi rezonans hodisalari kuzatildi.

8. Paxta ipining mustahkamligini aniqlash va baholashning takomillashtirilgan usuli «O‘zto‘qimachilik sanoat» uyushmasi tasarrufidagi «FERGANA GLOBAL TEXTILE» va «FAZO GROUP» MCHJ korxonalarida joriy etilgan. Natijada, paxta ipida uzilishlar soni kamayishi hisobiga iqtisodiy samaradorlik 21% ga oshirish imkoni yaratilgan. Yillik umumiy iqtisodiy samaradorlik 253 800 000 so‘mni tashkil etdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12019.Т.08.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ
ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
СООРУЖЕНИЙ**

ХАЗРАТОВА ТУЛГАННОЙ ЯШИН КИЗИ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
НЕЛИНЕЙНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ПРЯЖ**

**05.06.01- Материаловедение производств текстильной и легкой
промышленности**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за В2021.PhD/Т2695.

Диссертация выполнена в Институте Механики и сейсмостойкости сооружений.

Афтореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском) размещен на веб-странице Научного совета (www.instmech.uz) и информационно-образовательного портала "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Исмоилова Сабида Исроиловна
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Жуманиязов Қадам Жуманиязович
доктор технических наук, профессор

Валиева Зулфия Фахриддиновна
доктора философии технических наук,
доцент

Ведущая организация:

**Наманганский государственный
технический университет**

Защита диссертации состоится 15 декабря 2025 года в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12019.Т.08.01 при Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности по адресу: 100100, г. Ташкент, ул. Шохжохон-5, Административное здание Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, 2 этаж, 222 аудитория, тел.:(99871) 253-06-06, (99871) 253-08-08; факс:(99871) 253-36-17, e-mail: titlp_info@edu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института механики и сейсмостойкости сооружений (регистрационный номер 253). Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурман йули, 40. Тел.: (99855) 520-02-45.

Автореферат диссертации разослан « 2 » декабря 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 253 от « 2 » декабря 2025 года).

Х.Х. Камилова
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

А.З. Маматов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

Ф.У.Нигматова
Зам председателя Научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире хлопковое волокно считается одним из основных продуктов текстильной промышленности, и применение энерго- и ресурсосберегающих технологий и технических средств при производстве пряжи из волокон занимает одно из ведущих мест. Объем мирового текстильного рынка в 2024 году составил 1,840 триллиона долларов. Ожидается, что в 2025 году этот показатель достигнет 1,976 трлн долларов, а к 2033 году - около 3,767 трлн долларов, что означает ежегодный рост на 7,43% в прогнозируемом периоде 2025-2033 годов. Развитие текстильной промышленности связано не только с обеспечением предприятий современными технологиями, но и с рациональным использованием оборудования, улучшением внешнего вида производимой продукции и обеспечением ее конкурентоспособности на мировом рынке. В связи с этим, особое внимание уделяется эффективное использование сырья на предприятиях, решение вопросов производства высококачественной продукции с сохранением прочностных свойств продукта.¹

В мире проводятся научные исследования, направленные на определение деформационных свойств текстильных волокон и нитей, а также математическое моделирование процессов их прочности и разрыва. В этом направлении приоритетными считаются исследования по интеграции экспериментальных данных с математическими моделями при оценке физико-механических свойств нитей. В связи с этим, особое внимание уделяется совершенствованию процессов производства пряжи и определению нормативных параметров, оказывающих положительное влияние на технологические процессы..

Сегодня в нашей республике проводятся широкомасштабные мероприятия по производству высококачественной пряжи и готовой продукции из хлопчатобумажных волокон, созданию новых научно обоснованных технологий и повышению эффективности производства и достигаются определенные результаты. В 2023-2026 годах в стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан, были поставлены задачи, в частности, «...увеличить объем производства продукции текстильной промышленности в 2 раза...»². При реализации этих задач, в том числе при определении механических свойств текстильных волокон, большое значение имеет разработка методов расчета прочности текстильных изделий.

Исследования, выполненные в рамках настоящей диссертации, в определенной степени служат реализации задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022—2026 годы», УП-2 от 13 января 2023 года «О мерах по поддержке деятельности хлопково-текстильных кластеров, коренному реформированию текстильной и швейно-трикотажной

¹ <https://uzts.uz/>

² Указ Президента Республики Узбекистан «О дополнительных мерах по развитию цепочки переработки в текстильной и швейно-трикотажной промышленности» УП-6 от 16 января 2025 года

промышленности, а также дальнейшему повышению экспортного потенциала сферы» и УП-6 от 16 января 2025 года «О дополнительных мерах по развитию цепочки переработки в текстильной и швейно-трикотажной промышленности», а также в других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследования по диссертационной работе соответствуют приоритетному направлению развития науки и техники Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго-и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Изучением проблемы прочности текстильных нитей занимались многие ученые за рубежом и в нашей республике: Л.Эйлер, В.Е.Вебер, А.П.Минаков, Х.А.Рахматулин, М.Т.Уразбоев, И.И.Мигушов, В.П.Щербаков, А.Н.Соловьёв и другие. На основе результатов экспериментов были проведены исследования по разработке методов теоретического определения прочности текстильных нитей.

В республике проводятся исследования по определению параметров колебаний хлопчатобумажной пряжи под действием динамических сил и по разработке закона о нелинейной деформации хлопчатобумажной пряжи следующими учеными: Б.М.Мардоновым, М.Эргашовым, К.Г.Гафуровым, К.С.Султановым, С.И.Исмаиловой и другими.

В результате этих исследований, была охвачена только часть проблемы, и в настоящее время проблема обрыва нитей в технологических процессах нашла свое решение не в полной мере. Исследования по решению проблем прочности хлопчатобумажной пряжи, совершенствованию теории их прочности, разработке методов определения и оценки прочности хлопчатобумажной пряжи с учетом способов прядения и их скорости в технологическом процессе проводились недостаточно.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Института механики и сейсмостойкости сооружений по темам: № ФЗ-2020092310 «Разработка теории обрывности нитей в современных прогрессивных технологических процессах текстильных ткацких станков».

Целью исследования является разработка усовершенствованных методов определения и анализа прочности хлопковых пряж с учетом скорости их деформирования, базовой длины пряжи при растяжении, с учетом и без учета силы предварительного натяжения пряжи в условиях технологических процессов.

Задачи исследования:

проведение экспериментов для определения прочности хлопковых пряж, изготовленных различными технологическими методами, при разных скоростях их движения;

определение диаграмм растяжения при различных скоростях деформирования и базах деформирования, а также анализ с учетом и без учета силы натяжения пряжи;

анализ экспериментальных данных и определение параметров прочности и динамических характеристик хлопковых пряж в зависимости от методов их производства, скоростей деформирования и базовой длины пряжи при растяжении;

разработка математической модели нелинейного деформирования и обрыва хлопковых пряж при их растяжении до обрыва, с учётом скорости деформирования и предварительного натяжения.

Объектом исследования являются хлопчатобумажные пряжи с различными линейными плотностями, полученные в кардной и гребенной системах пневмомеханическим способом прядения, а также с различной скоростью движения пряжи в технологических процессах текстильного производства.

Предметом исследования являются параметры прочности хлопчатобумажной пряжи, полученные в кардной и гребенной системах пневмомеханическим способом прядения, с учётом и без учёта силы предварительного нагружения, при различных скоростях движения и различных длинах базы вытягивания.

Методы исследований. В процессе исследования были использованы метод определения механических свойств хлопчатобумажной пряжи в разрывной машине «Tenso Master», метод определения параметров деформации пряжи на основе закона нелинейной деформации и методы конечных решений дифференциальных уравнений.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

на основе анализа деформации и разрыва хлопковых нитей при растяжении до обрыва была разработана математическая модель, определяющая физические нелинейные характеристики растяжения нитей на основе модели Эйринга;

установлено, что в изменении модулей деформации нитей, в зависимости от скорости движения, длины расстояния между зажимами и начального натяжения, наблюдается явление «провала», и выявлена зависимость этого явления от скорости деформации;

определены значения нелинейных параметров разработанной математической модели процессов нелинейного деформирования и разрыва нитей, в зависимости от механических и геометрических характеристик нити;

на основе анализа нелинейных волновых процессов и явлений резонанса, возникающих в нити при её растяжении, разработана связь разрыва нити и вибраций с переменной частотой, появляющийся в результате неравномерного распределения напряжений по длине нити.

Практические результаты исследований заключаются в следующем:

определены изменения прочности хлопковых пряж, полученных кардной и гребенной системами кольцевого способа прядения при различных скоростях их движения;

определены значения новых деформационных характеристик хлопковых пряж;

показано значительное снижение прочности пряжи при достижении критической скорости её движения в технологических процессах в зависимости от линейной плотности пряжи;

определены параметры волнового процесса, которые зависят от изменений модулей деформации пряжи, а также от скорости её движения.

Достоверность результатов исследований. Достоверность полученных результатов исследования подтверждается использованием апробированных и проверенных математических методов, которые обеспечивают надежную основу для анализа. Теоретические выводы исследования сопоставлены с данными, полученными в результате проведенных экспериментальных и практических исследований, что подчеркивает их соответствие реальным процессам и явлениям. Кроме того, результаты исследования были сравнены с данными, опубликованными другими учеными, что позволяет убедиться в их согласованности и подтверждает их научную обоснованность.

Научная и практическая значимость результатов исследований.

Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что при растяжении хлопчатобумажных нитей от воздействия динамических сил совершенствуется их теория прочности и исходя из этой теории все хлопчатобумажные пряжи могут быть использованы для оценки их прочности.

Практическая значимость результатов исследования объясняется созданием деформационного метода, приводящего к уменьшению разрыва хлопчатобумажной пряжи, полученной различными технологическими способами, с учетом скорости движения, с учетом и без учета силы предварительного нагружения в технологических процессах, а также к уменьшению остановки текстильных машин и повышению эффективности производства.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов разработана теория прочности хлопчатобумажной пряжи с учетом динамических сил, возникающих в технологических процессах текстильной промышленности:

усовершенствованный способ определения и оценки прочности хлопчатобумажной пряжи внедрён в ООО «FERGANA GLOBAL TEXTILE» и «FAZO GROUP» при Ассоциации «Узтекстильпром». (Справка Ассоциации «Узтекстильпром» №03/25-1116 от 26 мая 2025 года). В результате была создана возможность повысить экономическую эффективность на 21% за счет уменьшения количества обрывов в хлопковой пряже.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены и прошли апробацию на 2 международных и 12 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликовано всего 22 научные работы, из них 5 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 1 статья опубликована в зарубежном журнале.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 111 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, а также объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость результатов исследования, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Комплексное исследование процесса нелинейного деформирования и обрыва хлопковых пряж на основе разработанных математических моделей численными методами»** приведен обзор литературы по теме диссертации и приведены постановка задачи, методы её решения и алгоритм расчёта напряженно-деформированного состояния хлопковой пряжи при растяжении до обрыва на основе комплекса экспериментальных и теоретических исследований её прочности, проведенных на установке «Tenso Master». В настоящей работе осуществляется экспериментальное определение влияния скорости деформирования, базовой длины деформации и предварительного натяжения пряжи на $F(\varepsilon)$ функцию.

На основе результатов экспериментов по растяжению пряж до обрыва, для четырёх разновидностей пряж при разных скоростях растяжения определены деформационные характеристики этих видов пряж в зависимости от скорости деформирования. Деформационные характеристики хлопковых пряж определяем на основе известной физически нелинейной упруго-вязкопластической модели:

$$\frac{d\sigma}{E_D(\varepsilon)dt} + \mu(\varepsilon)\frac{\sigma}{E_S(\varepsilon)} = \frac{d\varepsilon}{dt} + \mu(\varepsilon)\varepsilon, \quad (1)$$

где σ – продольное растягивающее напряжение; ε – продольная деформация пряжи при растяжении; t – время, $E_S(\varepsilon)$ и $E_D(\varepsilon)$ – соответственно переменные модули (функции) квазистатической (при $\frac{d\varepsilon}{dt} \rightarrow 0$) и динамической

(при $\frac{d\varepsilon}{dt} \rightarrow \infty$) деформации пряжи, $d\varepsilon/dt = \varepsilon_v$ - скорость деформирования, $\mu(\varepsilon)$ – переменный параметр объемной вязкости пряжи, который связан с коэффициентом объемной вязкости пряжи $\eta(\varepsilon)$ соотношением

$$\mu(\varepsilon) = \frac{E_D(\varepsilon)E_S(\varepsilon)}{(E_D(\varepsilon) - E_S(\varepsilon))\eta(\varepsilon)} \quad (2)$$

Рассмотрена задача о распространении продольной растягивающей нагрузки в нелинейной вязко-упругопластичной пряже, поведение которой при растяжении описывается уравнением (1).

Уравнения одномерного вдоль оси пряжи, движения пряжи в Лангранжевых координатах для нити (пряжи) при действии растягивающей нагрузки имеют вид:

$$\rho_0 \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial t} - \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

где \mathcal{G} - скорость пряжи, x - пространственная координата по оси пряжи, ρ_0 - начальная плотность пряжи.

Для решения системы уравнений используем метод характеристик. Допустим, что при учете условий, возникающие фронты волн в пряже являются слабыми, и, следовательно, при их распространении пряжа не претерпевает существенных разрушений структуры. В этом случае характеристики уравнений остаются линейными, а характеристические соотношения — нелинейными.

Разработана математическая модель для теоретического исследования численными методами на основе ранее разработанной нелинейной теории деформирования и обрыва хлопковых пруж при их растяжении до обрыва.

На основе разработанного алгоритма была составлена программа для решения задачи на ЭВМ с использованием алгоритмического языка ФОРТРАН-2005, которая зарегистрирована в Министерстве юстиции Республики Узбекистан в 2024 году под номером DGU 41720.

Во второй главе диссертации **«Экспериментальные исследования влияния скорости движения пряжи в технологических процессах, базовой длины деформирования и предварительного натяжения на прочностные и деформационные характеристики пряжи»** приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на установке «Tenso Master» для четырёх видов хлопковой пряжи. Изучено влияние скорости деформирования и базовой длины растяжения на механическое поведение пряжи до обрыва. На основе полученных диаграмм определены зависимости деформационных характеристик (включая модуль деформации) от скорости, деформации и предварительного натяжения. Установлены изменения критической нагрузки обрыва в пределах 15–20% в зависимости от режима нагружения. Также рассчитаны значения статического и динамического модулей

деформации, что позволило определить параметры для дальнейшего численного моделирования нелинейного деформирования и разрушения пряжи.

Эксперименты по определению прочности хлопковых праж проводились на разрывной машине "Тенсо Мастер," установленной в Институте механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева АН РУз, с предварительным натяжением и без предварительного натяжения путем растяжения до разрыва пряжи с линейной плотностью $T=20$ и $T=30$ текс, полученных кольцевым способом прядения в кардной и гребенной системах. При определении прочности нитей были проведены эксперименты с изменением скорости движения от $\mathcal{G}=100$ мм/мин до $\mathcal{G}=5000$ мм/мин и базовой длины от $L_0=100$ до $L_0=800$ мм, при этом скорость деформирования пряжи ε_g при растяжении согласно формуле (4), изменялась от $\varepsilon_g=0,002$ с⁻¹ до $\varepsilon_g=0,833$ с⁻¹ (табл. 1).

$$\varepsilon_g = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\mathcal{G}}{L_0}, \quad (4)$$

где \mathcal{G} – скорость движения (растяжения) пряжи, L_0 – базовая длина.

В опытах использовались четыре разновидности хлопковой пряжи:

- кардная пряжа, полученная кольцевым способом прядения, $T=20$ текс без предварительного натяжения;
- кардная пряжа, полученная кольцевым способом прядения, $T=20$ текс с предварительным натяжением $F=0,5$ сН;
- кардная пряжа, полученная кольцевым способом прядения $T=30$ текс с предварительным натяжением $F=0,5$ сН;
- гребенная пряжа $T=20$ текс с предварительным натяжением $F=0,5$ сН;
- гребенная пряжа $T=30$ текс с предварительным натяжением $F=0,5$ сН.

Таблица 1

Базовая длина L_0 , мм	Скорость растяжения пряжи в опытах \mathcal{G} , мм/мин										
	100	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
100	0,016 6	0,083	0,16 6	0,25	0,33 3	0,41 6	0,45	0,58 3	0,66 6	0,75	0,83 3
200	0,008	0,041	0,08 3	0,12 5	0,16 6	0,20 8	0,25	0,29 1	0,33 3	0,37 5	0,41 6
300	0,005	0,027	0,05 5	0,08 3	0,11 1	0,13 8	0,16 6	0,19 4	0,22 2	0,25	0,27 7
400	0,004	0,02	0,04 1	0,06 2	0,08 3	0,10 4	0,12 5	0,14 5	0,16 6	0,18 7	0,20 8
500	0,003	0,016 6	0,03 3	0,05	0,06 6	0,08 3	0,01	0,11 6	0,13 3	0,15	0,16 6
600	0,002 7	0,013	0,02 7	0,04 1	0,05 5	0,06 9	0,08 3	0,09 7	0,11 1	0,12 5	0,13 9
700	0,002 3	0,012	0,02 3	0,03 5	0,04 7	0,05 9	0,07 1	0,08 3	0,09 5	0,10 7	0,10 4
800	0,002	0,01	0,02	0,03 1	0,04 1	0,05 2	0,06 2	0,07 3	0,08 3	0,09 3	0,1

Для каждого вида пряжи эксперименты на растяжение до обрыва проводились в соответствии с условиями, приведёнными в табл.1. По итогам этих испытаний было получено более 20 тысяч диаграмм, которые затем подверглись детальной обработке. На основе обработанных данных были определены нелинейные характеристики хлопковой пряжи, учитывающие влияние таких факторов, как скорость растяжения, базовая длина деформирования и сила предварительного натяжения. Эти характеристики позволили выявить закономерности изменения прочностных свойств пряжи при различных условиях растяжения.

Сначала рассмотрим результаты экспериментов по растяжению до обрыва пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, с линейной плотностью $T=20$ текс без предварительного натяжения. Согласно табл.1, опыты проводились при разных скоростях движения нижнего конца пряжи и базовых длинах деформирования. При некоторых значениях скорости растяжения и базовой длины, скорость деформирования была одинаковой. Такие случаи считаются в пользу повторности опытов.

Результаты эксперимента автоматически представляются разрывной машиной в виде графиков $F(\varepsilon)$, где отображаются F – растягивающая нагрузка и ε – относительная деформация.

На установке повторность опытов по растяжению пряжи до обрыва была 50-ти кратной. Программное обеспечение самой установки проводит статистическую обработку опытных данных и в автоматическом режиме выдает математическое ожидание, среднее отклонение, дисперсию и другие результаты статобработки. Согласно этим данным, ошибка экспериментов не превышает 5%, т.е. достоверность опытных данных составляет 95%, поэтому подробно данные статобработки здесь не приводятся.

На рис.1 приведены диаграммы растяжения, полученные без предварительного натяжения для хлопчатобумажной пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, с линейной плотностью $T=20$ текс, где $\mathcal{G} = 100$ мм/мин, $L_0 = 800$ мм, $T = 20$ текс, $\varepsilon_g = 0,002$ с⁻¹. Данный вариант соответствует наименьшей скорости деформации, указанной в таблице 1. Вертикальные линии на диаграмме $F(\varepsilon)$ соответствуют обрыву пряжи. Эксперименты повторялись 50 раз в одинаковых условиях с одной и той же нитью. Несмотря на то, что все испытываемые участки пряжи одинаковой длины, из-за неоднородности пряжи по длине, они обрываются при разных значениях ε_k .

Уменьшение значения базовой длины деформирования от $L_0 = 800$ мм до $L_0 = 100$ мм общую картину на диаграмме не изменяет (рис.2). Правда, «дребезжания» кривых в этом случае увеличивается. Это связано с микропроскальзыванием пряжи на зажимах.

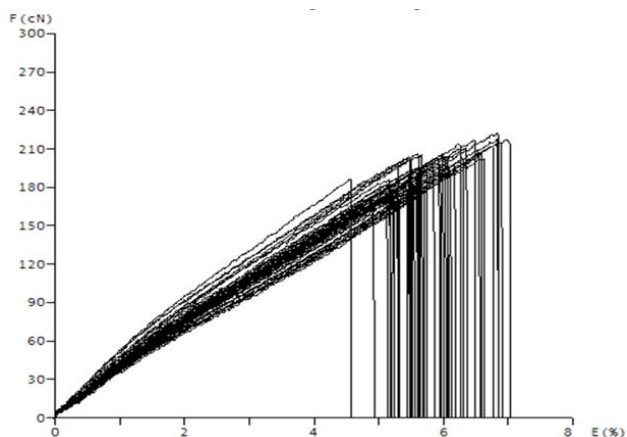


Рис.1. Диаграмма растяжения пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, до обрыва при $\mathcal{Q} = 100$ мм/мин, $L_0 = 800$ мм, $T = 20$ текс, $\varepsilon_g = 0,002$ с⁻¹

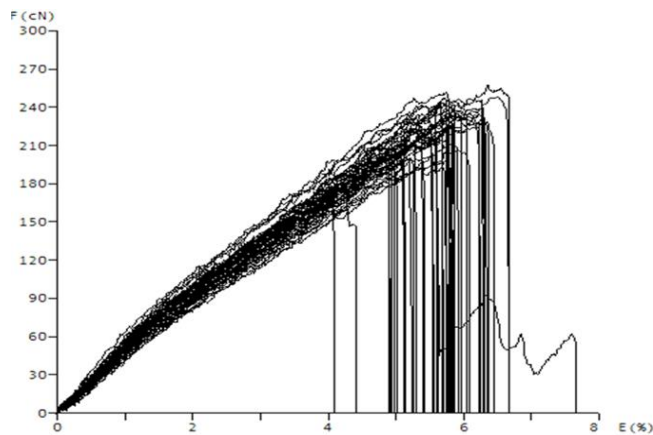


Рис.2. Диаграмма растяжения пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, до обрыва при $\mathcal{Q} = 100$ мм/мин, $L_0 = 100$ мм, $T = 20$ текс, $\varepsilon_g = 0,0166$ с⁻¹

При уменьшении базовой длины в 8 раз, скорость деформирования увеличивается в 8.3 раза, что приводит к увеличению максимального значения нагрузки F_k , при которой обрывается пряжа (от 220 сН до 250 сН). При этом деформация разрыва ε_k изменяется в одинаковых интервалах. Увеличение значения разрывной нагрузки объясняется влиянием скорости деформирования.

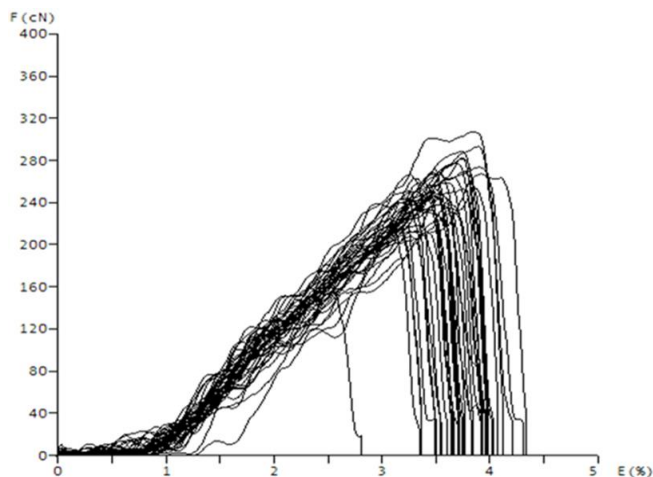


Рис.3. Диаграмма растяжения пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, до обрыва при $\mathcal{Q} = 5000$ мм/мин, $L_0 = 100$ мм, $T = 20$ текс, $\varepsilon_g = 0,833$ с⁻¹

На рис.3 скорость деформирования составляет $\varepsilon_g = 0,833$ с⁻¹ и является наибольшей в данной серии опытов (табл. 1). Увеличение скорости движения пряжи с 100 мм/мин до 5000 мм/мин приводит к увеличению значения критической нагрузки F_k по сравнению с рисунками 1, 2 на 13,6% и 22%. Здесь наблюдается уменьшение значения критической деформации обрыва пряжи ε_k . При базовой длине деформирования $L_0 = 100$

мм в отдельных опытах ε_k уменьшается. Вероятно, это связано с процессом

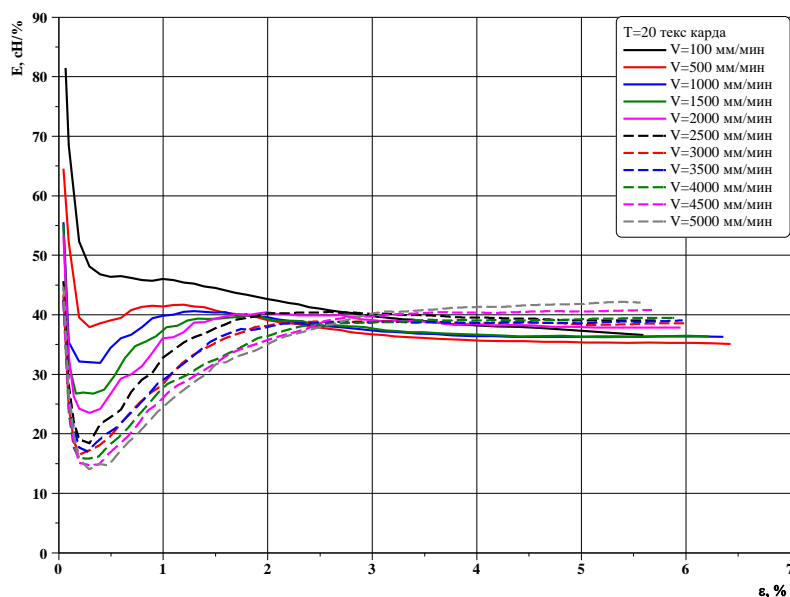


Рис. 4. Изменения осреднённых модулей деформации пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, в зависимости от базовой длины деформирования L_0 при различных скоростях растяжения до обрыва, $T = 20$ текс.

характеристики. Главным из них является модуль деформации (модуль упругости, модуль вязко-упругости, модуль пластичности, вместе взятые). На рис.4 приведены графики изменения осреднённых модулей деформации пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, по базовым длинам деформирования L_0 при разных скоростях растяжения до обрыва при $T=20$ текс. Модуль деформации пряжи с первоначального значения $E=E_N$ при $\varepsilon = \varepsilon_N$ с ростом деформации ε , сначала интенсивно увеличивается, а затем, начиная с определённого значения деформации $\varepsilon = \varepsilon_e$, постепенно уменьшается.

При низкой скорости движения пряжи $\mathcal{S} = 100$ мм/мин (черная сплошная кривая) в зависимости $E(\varepsilon)$ «провал» или «впадина» не наблюдается. С увеличением скорости движения до $\mathcal{S} = 500$ мм/мин, «провал» уже образуется (красная сплошная кривая). Дальнейшее последовательное увеличение значений скорости движения пряжи от 500 мм/мин до 5000 мм/мин (рис.4) приводит к увеличению глубины «провала» почти в три раза.

При достижении деформацией значения $\varepsilon = 0,03$ или 3%, значение модуля деформации E стабилизируется. Как показано на рисунке, установившиеся значения модуля E , как и ожидалось, увеличиваются с ростом скорости движения пряжи. Это подтверждает, что с увеличением скорости растяжения пряжи её деформационные характеристики изменяются, что отражается в росте модуля деформации. Кроме того, значения модуля деформации для низких скоростей движения пряжи или скорости деформирования оказываются минимальными, а для высоких скоростей (в пределах значений, указанных в таблице 1) они достигают максимальных значений.

распространения и установления растягивающей нагрузки по длине пряжи, так как в коротких пряжах волновой процесс протекает более интенсивно. Этот вопрос можно уточнить при решении теоретических задач методами математического моделирования процесса обрыва пряжи.

Как уже отмечалось выше, при растяжении изменяется сложная структура пряжи, состоящей из хлопковых волокон, что, в свою очередь, влияет на её физико-механические

Результаты обширных экспериментальных исследований, приведённые в разделе 2 настоящей работы, показали, что проявления "провала" в кривых деформации пряжи зависят от нескольких факторов: а) от скорости деформирования и б) от предварительного стягивания пряжи. Это подтверждает то, что такие явления, как "провал", не являются случайными, а обусловлены конкретными условиями испытаний, что важно учитывать при построении теоретических моделей. На установке «Tenso Master», использованной в наших экспериментах, такие высокие скорости движения пряжи недостижимы. Однако даже при скорости 5 м/мин (5000 мм/мин) в зависимостях $E(\varepsilon)$ наблюдается «провал».

Критическая нагрузка, при которой пряжа обрывается, является одним из ключевых параметров в процессе её растяжения. Однако влияние скорости движения пряжи или скорости деформирования на этот показатель до сих пор недостаточно изучено. Особенно важным является то, что экспериментальные и теоретические исследования, посвящённые влиянию скорости деформирования на диаграммы растяжения пряжи, особенно хлопковой, практически отсутствуют в мировой научной литературе. Для дальнейших теоретических исследований процесса обрыва пряжи крайне важно установить закономерности влияния скорости деформирования на значение критической нагрузки, при которой происходит обрыв. Понимание этих закономерностей позволит точно моделировать поведение пряжи и её характеристики в реальных технологических условиях.

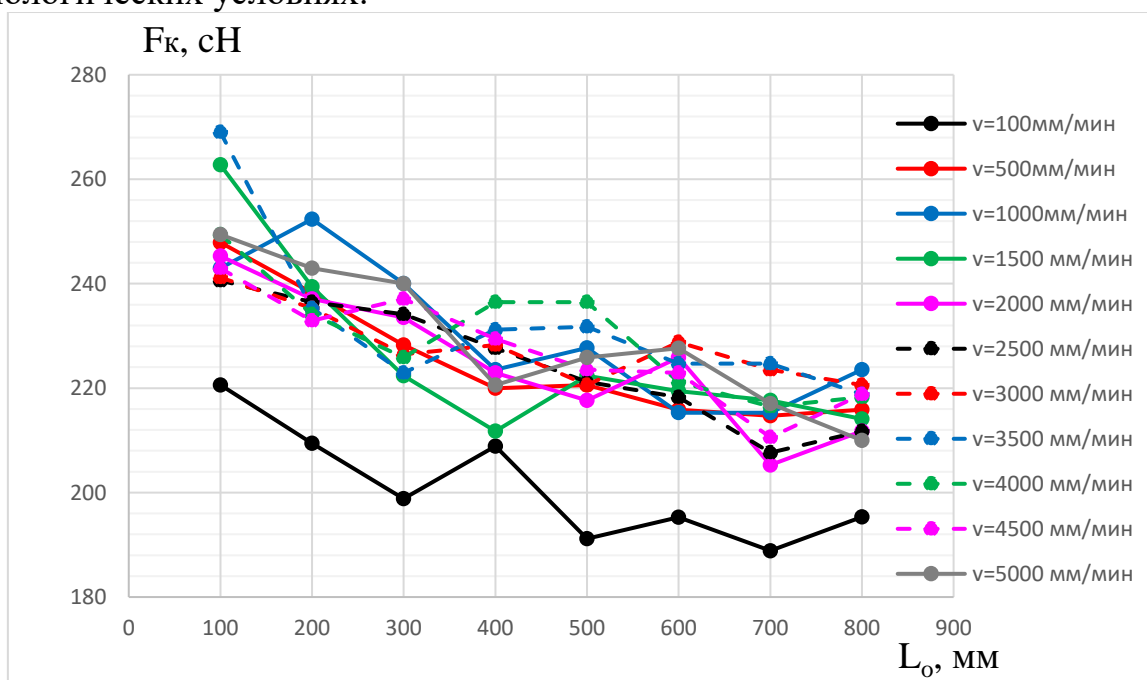


Рис. 5. Изменение критической силы растяжения при обрыве (F_k) хлопковой пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, в зависимости от базовой длины L_0 деформирования при разных скоростях растяжения для $T = 20$ текс.

На рис.5 представлены результаты экспериментальных испытаний, направленных на определение закономерностей влияния скорости движения

пряжи и базовой длины деформирования на критическую продольную растягивающую нагрузку, при которой происходит обрыв хлопковой пряжи.

С увеличением базовой длины деформирования L_0 , скорость деформирования уменьшается (табл 1). Это приводит к снижению значений критической нагрузки F_K при которой происходит обрыв пряжи. Таким образом, с увеличением длины деформирования, при прочих равных условиях, пряжа испытывает меньшую растягивающую силу, прежде чем порвётся. В то же время, при изменении скорости деформирования пряжи, значения критической нагрузки F_K увеличиваются. Это увеличение проявляется более заметно при низких скоростях движения пряжи, когда увеличение скорости деформирования оказывает более значительное влияние на прочность пряжи.

Для теоретического исследования процесса обрыва хлопковой пряжи с использованием уравнений математической модели нелинейного деформирования и обрыва, представленных в первом разделе настоящей работы, крайне важны экспериментальные данные об изменении модулей деформации пряжи в зависимости от скорости деформирования. Эти данные служат основой для точного моделирования процессов, происходящих при растяжении и обрыве пряжи. Проведённые комплексные экспериментальные исследования, направленные на изучение влияния скорости деформирования на обрывность пряжи, позволили выявить основные закономерности, которые определяют поведение пряжи при различных скоростях деформации. Эти результаты стали основой для дальнейшего теоретического анализа и разработки более точных моделей, учитывающих влияние скорости на прочностные характеристики пряжи и её склонность к обрыву в условиях растяжения.

Как видно из рис.6, зависимости модулей деформации от скорости деформирования характеризуются значительным разбросом данных. Это объясняется большим разбросом данных в первичных экспериментальных диаграммах $F(\varrho)$. В связи с этим возникает необходимость усреднения этих сложных кривых, представленных на рис.6. Результат усреднения представлен на рис.7.

Влияние предварительного натяжения может проявляться как в изменении критической нагрузки, так и в изменении модуля деформации пряжи. Как правило, увеличение предварительного натяжения может приводить к повышению прочностных характеристик пряжи, что следует учитывать при проектировании технологических процессов, где важен контроль за натяжением пряжи. Этот фактор является важным при построении теоретических моделей, поскольку он влияет на поведение пряжи при растяжении и обрыве. Синяя линия, проходящая ниже всех других кривых на рис.7, относится к пряже, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, с линейной плотностью $T=20$ текс без предварительного натяжения. Красная линия представляет собой данные для той же пряжи, но с предварительным натяжением. Видно, что значения модуля деформации у этих кривых различаются примерно в два раза.

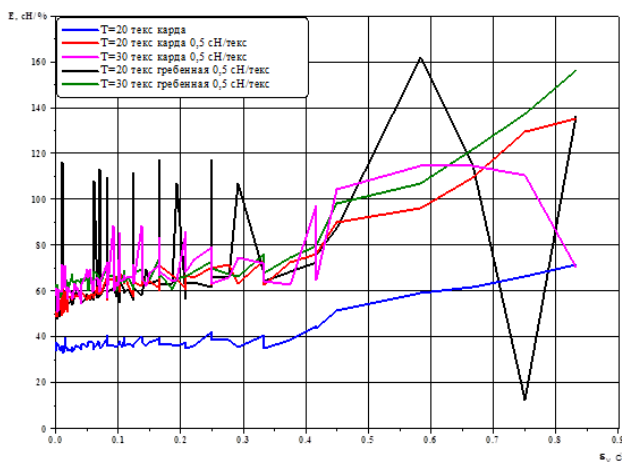


Рис.6. Экспериментальные зависимости модулей деформации от скорости деформирования для разновидностей хлопковых пряж

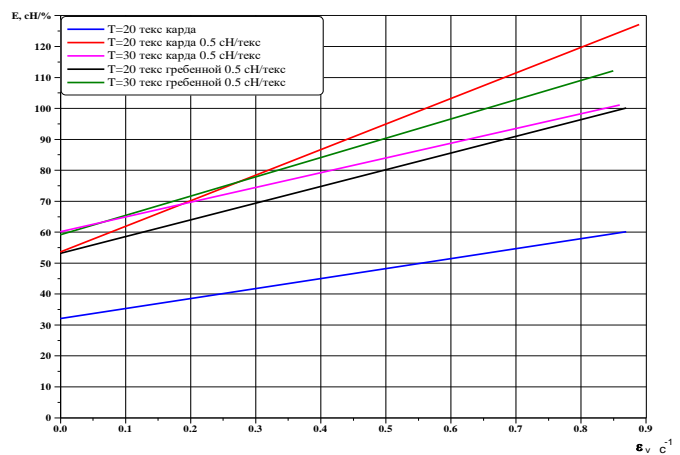


Рис.7. Осреднённые зависимости модулей деформации хлопковых пряж от скорости деформирования для разновидностей хлопковых пряж

Гребенная пряжа демонстрирует несколько меньшие значения модулей деформации при аналогичных параметрах по сравнению с пряжей, полученной кардной системой кольцевого способа прядения (чёрная и зелёная кривые на графике). Несмотря на то, что гребенная пряжа считается более прочной, её модуль деформации менее интенсивно зависит от скорости деформирования (чёрная линия). Это явление связано с её большей упругостью, что означает, что она возвращается к исходной форме с меньшими изменениями по сравнению с другими типами пряжи при воздействии растягивающих сил. Первоначальные значения модулей деформации у гребенной и пряжи, полученной кардной системой кольцевого способа прядения, при одинаковых параметрах, как показано на рис.7, близки (чёрная и красная линии). Однако, несмотря на схожие начальные значения, разница в поведении при растяжении обусловлена различиями в структуре этих типов пряжи, которые влияют на их механические свойства, такие как упругость и восприимчивость к деформации при изменении скорости растяжения. Увеличение линейной плотности пряжи приводит к росту значений модуля деформации. Это отражено зелёной кривой (гребенная пряжа) и оранжевой кривой (пряжа, полученная кардной системой кольцевого способа прядения).

На основе результатов экспериментов, представленных на рис.7, определяем отношение E_D – модуля деформации при скорости деформирования $\varepsilon_v = 0,833\text{c}^{-1}$, которую принимаем за динамическую, к модулю E_S – модулю деформации при скорости деформирования $\varepsilon_v = 0,002\text{c}^{-1}$, который принимаем статическим. Результаты этих значений, согласно рис.9, приведены в табл. 2.

Экспериментальные значения модулей деформации в зависимости от скорости деформирования

Пряжа	$E_s, Н$	$E_D, Н$	E_D / E_s
Пряжа полученная кардной системой, кольцевым способом $T=20$ текс	32	60	1,875
Пряжа полученная кардной системой, кольцевым способом $T=20$ текс $F_N = 0,5$ сН	53.5	127	2,374
Гребенная пряжа $T=20$ текс $F_N = 0,5$ сН	53	100	1,887
Пряжа полученная кардной системой, кольцевым способом $T=30$ текс $F_N = 0,5$ сН	60	101	1,683
Гребенная пряжа $T=30$ текс $F_N = 0,5$ сН	59	112	1,898

Как видно из таблицы 2, отношение модулей деформации E_D/E_s , (динамического к статическому) при заданных скоростях деформирования в экспериментах (табл.1) изменяется приблизительно от 1,5 до 2,5. Эти значения являются вполне допустимыми и соответствуют диапазону, характерному для материалов, аналогичных хлопковой пряже. Это подтверждает, что полученные результаты укладываются в пределы, которые можно ожидать для подобного рода материалов, что обеспечивает корректность дальнейших теоретических и практических выводов.

В третьей главе диссертации **«ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТЯЖЕНИЯ И ОБРЫВА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ХЛОПКОВЫХ ПРЯЖ»**, исходя из схемы испытания на прочность пряжи на установке «Тенсо Мастер», была выбрана расчетная схема теоретической задачи, адекватная постановке эксперимента. Поставлена волновая задача согласно разработанной математической модели нелинейной теории прочности и обрыва хлопковых пряж. Выбраны и обоснованы граничные условия рассматриваемой краевой задачи. Составлены алгоритмы и программа численного решения задачи, которые были реализованы на ЭВМ.

Проведены серии численных расчетов для определения изменения растягивающей силы, деформации и скорости по длине пряжи и по времени в

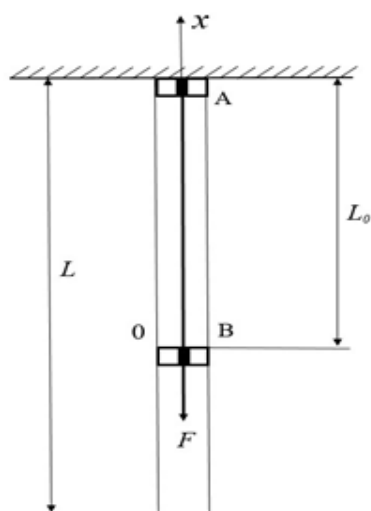


Рис.8. Схема расчёта растяжения хлопковой пряжи, соответствующая её испытанию на обрыв на установке «Tenso Master».

зависимости от геометрических и механических характеристик хлопковых пряж. Полученные данные позволяют провести серийные численные эксперименты, применяя разработанную математическую модель нелинейного деформирования пряжи при растяжении. Такие численные эксперименты помогут более точно исследовать поведение пряжи при различных условиях растяжения, а также оценить влияние ключевых факторов, таких как скорость деформирования и предварительное натяжение, на её прочностные характеристики и обрыв. Схема расчета пряжи, соответствующая растяжению пряжи на установке «Tenso Master», приведена на рис.8. Пряжа с базовой длиной деформирования L_0 растягивается под действием силы F .

При этом верхний конец пряжи A , с помощью специальных зажимов, фиксируется неподвижно. На нижний конец пряжи B действует растягивающая сила F , под действием которой этот конец двигается по оси Ox . Общая длина растяжения L равняется 1 м и является неизменной величиной. Базовая длина деформирования L_0 переменная величина и изменяется от 10 см до 80 см (табл. 1).

Волновая картина, соответствующая этому волновому процессу, показана на рис.9.

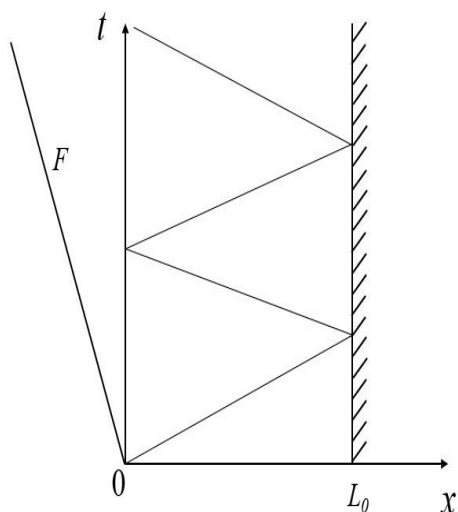


Рис.9. Волновая картина, соответствующая процессу растяжения пряжи на установке «Tenso Master»

При действии силы F от точки $t = 0, x = 0$ начинает распространяться волна возмущения по пряже. Ось x совпадает с линией действия силы F и направлена в противоположную сторону. Верхний, неподвижно закреплённый конец пряжи считается жесткой преградой, и от неё волна отражается как от жесткой преграды. На нижний конец пряжи (точка B) под действием силы F действует сила, заставляющая его двигаться в противоположном направлении относительно оси x . Волна создаётся под действием силы F и распространяется по пряже. Когда эта волна достигает верхнего конца пряжи (точка A), она отражается от него. Отражённая волна, также распространяясь по пряже, достигает нижнего конца пряжи (точка B) и в

свою очередь отражается от этого конца. Этот волновой процесс многократно повторяется.

При этом в характеристической плоскости tx образуются множественные фронты волн, которые соответствуют линиям слабого разрыва. Эти фронты волн проходят через линии разрыва непрерывно, и волна в каждом таком фронте перемещается, не нарушая своей структуры. Такие многократные отражения и распространения волн создают динамическое поведение пряжи, где волновые процессы оказывают значительное влияние на её механические характеристики и процесс растяжения.

Программа численного решения рассматриваемой задачи была составлена на алгоритмическом языке FORTRAN 2005 на основе разработанного алгоритма, представленного в разделе 1.

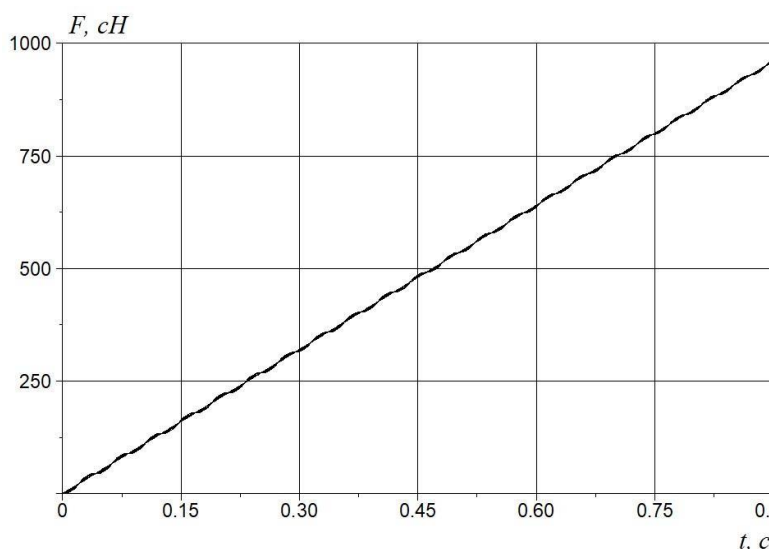
Разработанный алгоритм и программа расчета на ЭВМ на основе нелинейной теории прочности и обрыва, а также математической модели процесса растяжения и обрыва хлопковой пряжи (раздел 1), позволяет теоретически исследовать этот процесс. В этом случае методом численного моделирования можно рассмотреть всевозможные случаи и варианты, которые невозможно учесть в экспериментах.

Согласно постановке задачи, приведенной в разделе 1 настоящей диссертации и расчётным схемам на рис.2.1, исходными параметрами задачи являются:

T – линейная плотность пряжи; F_k – критическая сила растяжения, при которой обрывается пряжа; t_k – время обрыва пряжи; E_D – динамическая модель деформации пряжи; L_0 – базовая длина деформирования пряжи; v_p – скорость движения пряжи; ε_k – критическая деформация, при достижении которой обрывается пряжа; ε_e – предел упругого деформирования пряжи; μ_N – начальное значение параметра объемной вязкости пряжи; μ_k – значение параметра объемной вязкости в момент обрыва пряжи; γ_N – начальное значение отношения модулей деформации пряжи E_D/E_S ; $\gamma_m = \gamma_k$ – конечное (в момент обрыва) значение отношения E_D/E_S .

Основные значения этих исходных параметров следующие:

$T = 20$ текс; $F_k = 260,0$ сН; $t_k = 0,15$ сек; $E_D = 3375,0$ МПа; $L_0 = 100$ мм; $v_p = 5000$ мм/мин; $\varepsilon_k = 0,007$; $\varepsilon_e = 0,03$; $\mu_N = 10000$ с⁻¹; $\mu_k = 1000$ с⁻¹; $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = \gamma_k = 3,0$. Эти исходные данные являются базовыми. Изменения этих параметров оговариваются отдельно.



**Рис.10. Растягивающая сила в нелинейно деформируемой пряже при $x=0; 10; 20; 30; 40; 50; 90; 100$ см; $T=20$ текс, $\gamma_N = 1.1$; $\gamma_m = 3.0$;
 $L_0 = 100$ мм; $U_p = 5000$ мм/мин**

На рис.10 приведены результаты расчетов на ЭВМ изменения растягивающей пряжу силы для вышеуказанных исходных данных. Здесь изменения силы F по времени, т.е. функция $F(t)$, для сечений пряжи при $x = 0; 10; 20; 30; 40; 50; 90; 100$ см ложатся почти друг на друга. То есть сила практически во всех сечениях пряжи одинаковая. Однако, наблюдается некоторая слабая волнообразность в изменениях $F(t)$. В случае, когда закон

деформирования пряжи линейный, зависимости $F(t)$ на рис.10 остаются также линейными.

Рассмотрим влияние базовой длины деформирования на процесс растяжения пряжи. На рис.11 приведены изменения продольного напряжения по длине пряжи. В этом случае изменения, данные расчета относятся к фиксированному моменту времени $t = 0,045$ сек. Как видно из рис.11, напряжение по длине пряжи не равномерно. В начальных сечениях пряжи оно уменьшается, а далее увеличивается и достигает максимума на неподвижно защемленном конце пряжи – в точке А. Кроме этого под действием нелинейных волновых процессов в пряже, значения напряжения совершают высокочастотные колебания с небольшой амплитудой. Эти данные в настоящее время невозможно получить экспериментально.

Изменения напряжения по длине пряжи, согласно рис.11, незначительны. С истечением времени эти изменения увеличиваются. При фиксированном $t = 0,045$ и $0,075$ сек, они существенно увеличиваются, а частота колебания напряжения – уменьшается (рис.12). Изменения напряжения по длине пряжи могут действительно служить одной из причин обрыва пряжи. Если частота этих изменений напряжения совпадает с частотой собственных колебаний пряжи, возникает явление резонанса. При резонансе амплитуда колебаний возрастает, что может привести к усилению деформаций и, как следствие, к обрыву пряжи, даже если она имеет высокую прочность. Это явление особенно важно в контексте динамических нагрузок, когда воздействия на материал происходят с определённой частотой, что может привести к разрушению при совпадении частот.

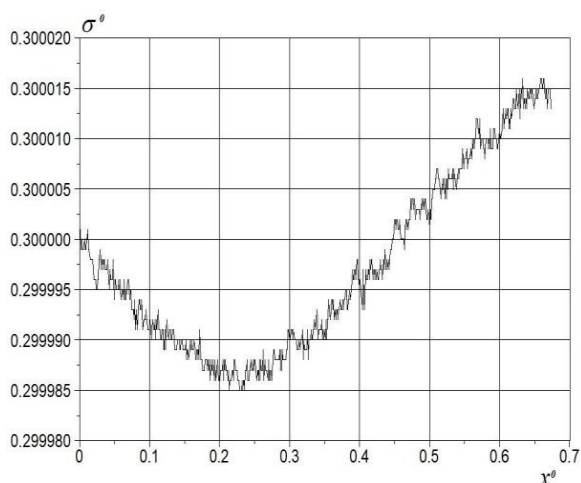


Рис.11. Изменения безразмерного напряжения в нелинейно деформируемой пряже по длине при $t=0,045$ сек; $T=20$ текс, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3,0$; $L_0 = 100$ мм; $v_p = 5000$ мм/мин

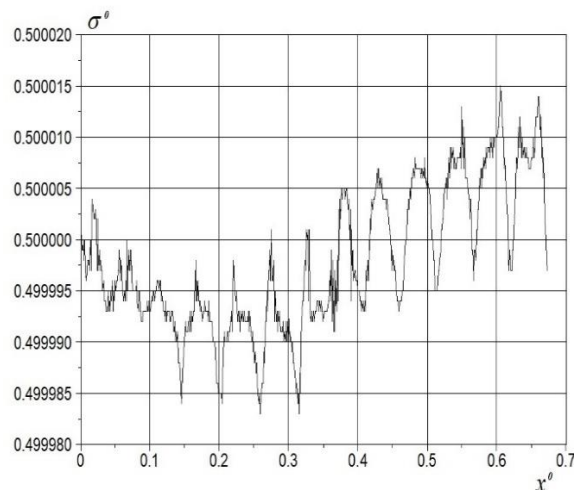


Рис.12. Изменения безразмерного напряжения в нелинейно деформируемой пряже по длине при $t=0,075$ сек; $T=20$ текс, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3,0$; $L_0 = 100$ мм; $v_p = 5000$ мм/мин

Для более глубокого понимания этого процесса необходимо провести дополнительные исследования. Это включает в себя изучение динамических характеристик пряжи, таких как её собственные частоты колебаний и поведение при воздействии внешних сил. Такие исследования помогут лучше понять, как изменения напряжений и резонансные явления могут влиять на прочность и долговечность пряжи, а также позволят разработать методы предотвращения обрывов в процессе её эксплуатации.

Особенно примечательно, что частоты колебаний напряжений по длине пряжи являются переменными и со временем уменьшаются. Это явление, ранее не наблюдавшееся, может быть связано с изменениями в физическом состоянии пряжи в процессе её растяжения. С увеличением времени и растяжения пряжи её механические характеристики, такие как упругость и вязкость, могут изменяться, что влияет на частоты колебаний напряжений. Такие изменения частоты колебаний могут быть вызваны различными факторами, включая изменения в структуре пряжи, её напряжённое состояние, а также возможные процессы вязкого или пластического течения материала при длительном воздействии нагрузки. Это может привести к постепенному снижению частоты собственных колебаний пряжи и изменению её динамических характеристик.

Изучение таких изменений важно для более глубокого понимания процессов деформации и обрыва пряжи, а также для разработки методов оценки её устойчивости к динамическим нагрузкам.

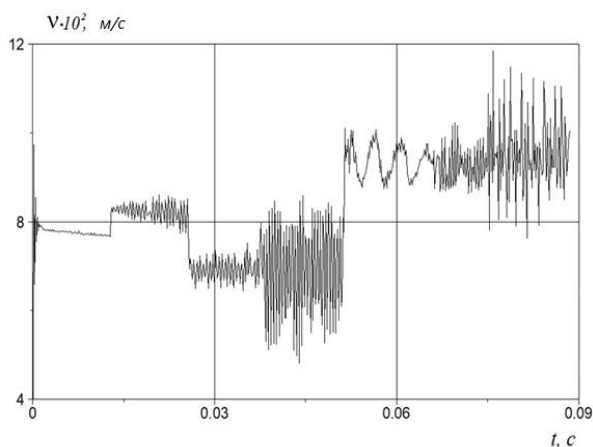


Рис.13. Изменения скорости в нелинейно деформируемой пряже при $x = 0$; $T=20$ текс, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3,0$; $L_0 = 10$ см; $v_p = 5000$ мм/мин

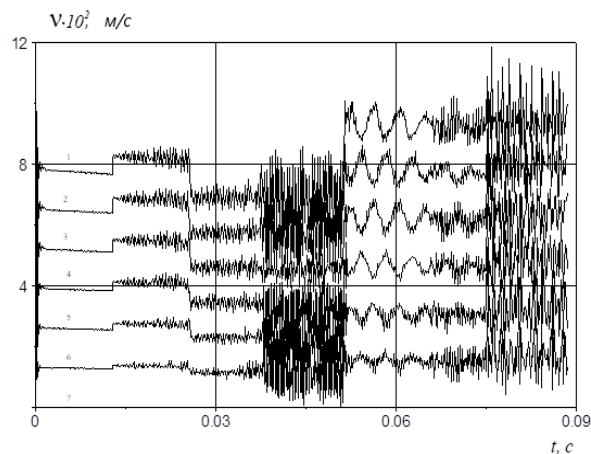


Рис.14. Изменения скорости сечений в нелинейно деформируемой пряже при $x = 0$; 2) $x = 1,67$; 3) $x = 3,33$; 4) $x = 5,0$; 5) $x = 6,67$; 6) $x = 8,33$; 7) $x = 10$ см; $T=20$ текс, $\gamma_N = 1,1$; $\gamma_m = 3,0$; $L_0 = 100$ мм; $v_p = 5000$ мм/мин

Изменения скорости сечений пряжи для рассматриваемого варианта расчетов приведены на рис.13 и 14. На рис.13 показаны изменения скорости по времени для начального подвижного сечения пряжи $x = 0$, где действует растягивающая нагрузка. На рис.14 кривые изменения скорости относятся к сечениям пряжи $x=0$; 1,67; 3,33; 5,0; 6,67; 8,33; 10 см соответственно.

При этих результатах характерно, что на некоторых временных отрезках амплитуда колебаний скоростей заметно превышает амплитуду на других участках. Они как бы указывают на будущие участки или места обрыва пряжи по времени. При растяжении пряжи в определенные моменты времени появляются резонансные колебания, что может привести к обрыву пряжи. Эти результаты считаются очень важными для прогноза обрыва пряжи при растяжении и непосредственно связаны с нелинейной деформацией пряжи. Программа численного решения нелинейной задачи растяжения пряжи до обрыва, основанная на нелинейной теории прочности и обрыва, представлена в Приложении 5. Эта программа была зарегистрирована в Министерстве юстиции Республики Узбекистан под № DGU 41720 от 25.07.2024 г. (Приложение 6). Регистрация программы в соответствующих органах подтверждает её юридическую защиту и готовность к использованию в научных и производственных целях.

Алгоритм и программа расчета на ЭВМ, разработанные на основе нелинейной теории прочности и обрыва, а также математические модели процесса растяжения и обрыва хлопковой пряжи (раздел 1), позволяют теоретически исследовать этот процесс. В этом случае методом численного моделирования можно рассмотреть всевозможные случаи и варианты, которые невозможно учесть в экспериментах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана математическая модель на основе теории деформирования и обрыва хлопковых пряж до разрыва, основанная на модели Эйринга и данных серийных экспериментов по растяжению.

2. В результате проведения многочисленных экспериментов и статической обработки диаграмм растяжения хлопковых пряж с линейностью $T=20$ и 30 текс до обрыва были определены модули деформации пряжи при различных скоростях деформирования (от $0,002$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$), что позволило получить значения статического $E_S(\varepsilon)$ и динамического $E_D(\varepsilon)$ модулей деформации и их соотношение $E_S(\varepsilon)/E_D(\varepsilon)$, равное $1,683\dots 2,374$ в зависимости от разновидности хлопковой пряжи. Эти параметры являются главными и необходимыми для численного эксперимента по разработанной математической модели.

3. Экспериментально установлено существование так называемого «провала» в зависимости модуля деформации от самой деформации при различных базовых длинах ($100\text{--}800$ мм), скоростях растяжения ($100\text{--}5000$ мм/мин) и силе предварительного натяжения ($F_N = 0,5$ сН), что определяет технологические условия обрывности пряжи при эксплуатационных нагрузках.

4. При низкой скорости движения пряжи $\mathcal{V} = 100$ мм/мин в зависимости $E(\varepsilon)$ «провал» не наблюдается. С увеличением скорости движения до $\mathcal{V}=500$ мм/мин начинает проявляться «провал». Дальнейшее последовательное увеличение скорости движения пряжи от 500 мм/мин до 5000 мм/мин приводит к увеличению глубины «провала» почти в три раза.

5. Определены зависимости критической нагрузки, при которой обрывается пряжа, от скорости деформирования. Установлено, что значения этой критической силы в зависимости от значений скорости деформирования изменяются в пределах $15\text{--}20\%$.

6. Поставлена и решена краевая задача по разработанной математической модели нелинейной теории прочности и обрыва хлопковых пряж с использованием алгоритмов и программы численного эксперимента на ЭВМ.

7. Результаты численного эксперимента показали, что под действием линейно возрастающей силы в нити возникает нелинейный волновой процесс. В результате неравномерного распределения напряжений наблюдались колебания переменной частоты и резонансные явления, приводящие к обрыву нити.

8. Усовершенствованный способ определения и оценки прочности хлопчатобумажной пряжи внедрён в ООО «FERGANA GLOBAL TEXTILE» и «FAZO GROUP». В результате была создана возможность повысить экономическую эффективность на 21% за счет уменьшения количества обрывов в хлопковой пряже. Общая годовая экономическая эффективность составила $253\ 800\ 000$ сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.08.01 AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT TASHKENT INSTITUTE OF TEXTILE AND
LIGHT INDUSTRY**

**INSTITUTE OF MECHANICS AND SEISMIC STABILITY OF
STRUCTURES**

KHAZRATOVA TULGANOV

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL DETERMINATION OF
NONLINEAR MECHANICAL CHARACTERISTICS OF COTTON YARNS**

05.06.01-Material science of textile and light industry production

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of the dissertation for the Doctor of Philosophy in Technical Sciences was registered at the Supreme Attestation Commission of the Ministry of Higher Education, Science, and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2021.PhD/T2695

The dissertation was prepared at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry (www.titli.uz) and on the website of “Ziyonet” information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific advisor:

Ismoilova Sabida Isroilovna

Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Jumaniyazov Qadam Jumaniyazovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Valiyeva Zulfiya Faxriddinovna

Doctor of philosophy in technical sciences,
Associate Professor

Leading organization:

Namangan state technical university

The defense of the dissertation will take place on 15 december 2025 year at 11⁰⁰ hours at the meeting of Scientific Council DSc.03/30.12.2019.T.08.01 at the Tashkent Institute of Textile and Light Industry (Address: 221 audience, 2 floor, 5, Shokhjakhon Street, Yakkasaray district, Tashkent, 100100. Tel.: (99871) 253-0606, 253-0808, fax (99871) 253-3617, e-mail: titlp_info@edu.uz).

The dissertation could be reviewed at the Information Resource Center of Tashkent Institute of Textile and Light Industry (registered No.253). Address: 100100, Tashkent, Yakkasaray district, 5, Shokhjakhon Street. Tel.: (99871) 253-0808.

Abstract of dissertation sent out on 15 december 2025 year
(mailing report № 253 on 15 december 2025 year)

Kh. Kamilova

Chairman of the Scientific Council on
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

A. Mamatov

Scientific secretary of the scientific council
award of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

F.Nigmatova

Deputy chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The purpose of this research is to develop improved methods for determining and analyzing the strength of cotton yarns, taking into account the rate of deformation, the base length of the yarn under tension, and considering both the presence and absence of preliminary yarn tension in technological processes.

The objects of research are cotton yarns and the velocity of yarn movement in technological processes.

The scientific novelty of the research work is as follows:

experimental "tensile force-deformation" diagrams were obtained using the modern "Tenso Master" equipment for cotton yarns with various linear densities and at different movement velocities, taking into account and disregarding the preliminary load force;

the deformation moduli of yarn were determined as a function of its movement velocity, initial load force, and linear density. Through experimental data, it was demonstrated that the change in the deformation modulus depends on the rate of deformation.

a mathematical model of nonlinear deformation and breakage of cotton yarns has been developed, taking into account their geometric and nonlinear characteristics under stretching to the point of rupture;

tasks have been defined for successfully addressing the problem of yarn and thread breakage in technological processes, improving the quality of textile products and materials, as well as enhancing their competitiveness in the global market.

Practical novelty of the research work is as follows:

based on the analysis of deformation and rupture of cotton yarns during stretching until break, a mathematical model was developed that determines the physical nonlinear characteristics of yarn stretching based on the Eyring model.;

it has been established that in the change of deformation moduli of yarns, depending on the movement speed, the distance length between clamps, and the initial tension, a "dip" phenomenon is observed, and the dependence of this phenomenon on the deformation rate has been identified;

the values of the nonlinear parameters of the developed mathematical model of the processes of nonlinear deformation and rupture of yarns, depending on the mechanical and geometric characteristics of the yarn, have been determined;

based on the analysis of nonlinear wave processes and resonance phenomena occurring in the yarn during its stretching, relationships have been developed between yarn rupture and variable-frequency vibrations arising from the uneven distribution of stresses along the length of the yarn.

Implementation of research results. Based on the obtained scientific results, a theory of the strength of cotton yarn is developed, taking into account the dynamic forces arising in the technological processes of the textile industry:

An improved method for determining and evaluating cotton yarn strength has been implemented at LLC "FERGANA GLOBAL TEXTILE" and "FAZO GROUP" under the "Uztextileprom" Association. (Reference from the "Uztextileprom" Association No. 03/25-1116 dated May 26, 2025). As a result, it has become possible to increase economic efficiency by 21% by reducing the number of breaks in cotton yarn.

Approval of research results. The results of the study were discussed and tested at 2 international and 12 national scientific and practical conferences.

The publication of the research results. On the topic of the dissertation, 22 scientific works have been published, including 5 journal articles, 5 abstracts in proceedings of international conferences (3 indexed in Scopus), and 12 abstracts in proceedings of national conferences.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 103 pages.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Ismoilova S.I., Loginov P.V., Khamidov S., Kumakov J., Khazratova T. Geotextile-Reinforced Soils in a Modernized irrigation System// Construction of unique Buildings and Structures. Санкт-Петербург. 2020, Volume 88. С.47-56. (05.00.00; №75).

2. Исмоилова С.И., Султанов К.С., Хазратова Т.Я., Туланов Ш.Э. Проявление прочности текстильных нитей при высоких скоростях их движения//Узбекский журнал «Проблемы механики». 2022, №2. С.19-32. (05.00.00; №6).

3. Sultanov K.S., Ismoilova S.I., Hazratova T.Ya. Nonlinear laws of cotton yarn strain// Узбекский журнал «Проблемы механики». 2022, №3. С.38-54. (05.00.00; №6).

4. Исмоилова С.И., Султанов К.С., Хазратова Т.Я., Бегманов Р.А. Закон нелинейного деформирования шелковых нитей и их параметрический анализ// Узбекский журнал «Проблемы механики». 2023, №2. С.3-16. (05.00.00; №6).

5. Исмоилова С.И., Султанов К.С., Хазратова Т.Я., Бегманов Р.А. Деформационный метод расчета прочности текстильных нитей и пряж//Узбекский журнал «Проблемы механики». 2023, №1. С.35-46. (05.00.00; №6).

6. Ismoilova S.I., Khazratova T.Y., Begmanov R.A., Mamatova N.A. Determination of strain moduli parameters of cotton yarn under the change in its structure// AIP Conf. Proc. 3 April 2025; 3265 (1): 050029. <https://doi.org/10.1063/5.0265311> (Scopus)

7. Ismoilova S.I., Khazratova T.Y., Begmanov R.A. Influence of elastic, viscous, and plastic properties on the stress-strain state of yarns under irregular dynamic loads// AIP Conf. Proc. 3 April 2025; 3265 (1): 050030. <https://doi.org/10.1063/5.0265315> (Scopus)

8. Sultanov K.S., Ismoilova S.I., Begmanov R.A., Khazratova T.Y. Influence of textile yarn velocity in technological processes on its strength// AIP Conference Proceedings, 2024, 3045(1), 040028. Volume 3045, Issue 1, 11 March 2024. PP.040028-1-6. <https://doi.org/10.1063/5.0197453> (Scopus)

II bo'lim (II часть; II part)

9. Исмоилова С.И., Хазратова Т.Я. Исследование деформационных законов при растяжении хлопчатобумажной пряжи в экспериментальных условиях //

International scientific journal science and innovation special issue: "Transformation of education: the role of women in the development of science". 2024., P. 282-285.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10659161>

10. Исмоилова С.И., Хазратова Т.Я., Бегманов Р.А. Разработка математических моделей нелинейного деформирования и обрыва хлопковых пряж, шелковых и синтетических нитей с учетом ее геометрических и нелинейных математических характеристик//«Тўқимачилик ва енгил саноат маҳсулотларини замонавий дизайнларини яратишнинг концептуал таҳлиллар, инновацион ечимлар» номли Ҳалқаро илмий-амалий конференция тўплами. Наманган. 28-30 май 2024 й. С. 92-95.

11. Ismoilova S.I., Khazratova T.Y., Begmanov R.A., Mamatova N. Determination Of Strain Moduli Parameters Of Cotton Yarn Under The Change In Its Structure // "Ensuring Seismic Safety and Seismic Resistance of Buildings and Structures, Solving Applied Problems of Mechanics", dedicated to the 90th anniversary of Academician T.R. Rashidov / May 27-29. 2024. Tashkent, Uzbekistan. P. 120-128.

12. Ismoilova S.I., Khazratova T.Y., Begmanov R.A. Influence Of Elastic, Viscous, And Plastic Properties On The Stress-Strain State Of Yarns Under Irregular Dynamic Loads // "Ensuring Seismic Safety and Seismic Resistance of Buildings and Structures, Solving Applied Problems of Mechanics", dedicated to the 90th anniversary of Academician T.R. Rashidov / May 27-29. 2024. Tashkent, Uzbekistan. P. 112-120.

13. Ismoilova S.I., Khazratova T.Ya. Экспериментальное определение закономерности деформирования шелковой нити при квазистатическом нагружении // ЎзРес ФА Ёш олимлар ахборотномаси. 2024., Vol.1. P. 26-29.

14. Исмоилова С.И., Хазратова Т.Я. Сопоставительный анализ методов определения оценки и прогноза прочности текстильных нитей и пряж// Роль ученых женщин академии наук в развитии науки узбекистана/ результаты и перспективы, 2023 ст.34-37.

15. Исмоилова С.И., Хазратова Т.Я. Экспериментальное определение закономерности деформирования шелковой нити при квазистатическом нагружении//Научная конференция молодых учёных с международным участием на тему «Роль молодежи в развитии науки и образования нового Узбекистана» посвященной 80-летию Академии наук Республики Узбекистан, 2023. С. 69-72.

16. Хазратова Т.Я., Абдуазизова З.Я. Дефекты, которые могут возникать в трикотажных тканях и изделиях// Научная конференция молодых учёных с международным участием на тему «Роль молодежи в развитии науки и образования нового Узбекистана» посвященной 80-летию Академии наук Республики Узбекистан, 2023. С139-143.

17. Исмоилова С.И., Хазратова Т.Я., Бегманов Р.А. Нелинейный упруго-вязкопластический закон деформирования хлопчатобумажной пряжи//«Актуальные проблемы инновационных технологий хлопкоочистительной, текстильной, легкой промышленности, полиграфии в контексте интеграции науки, образования, производства и их решения» Сборник материалов республиканской научно-практической конференции (I часть). Ташкент. 18-19 май 2022 г. С.316-319.

18. Хазратова Т.Я. Тўқимачилик ишлаб чиқаришлари технологик жараёнларида пахта ипларининг мустаҳкамлигини аниқлаш ва баҳолаш усуллари//«XXI аср - интеллектуал ёшлар асри» Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. Ташкент. 22 май 2022 г. С.122-128.

19. Хазратова Т.Я., Абдуазизова З.Я. Показатель микронеёр как основной показатель определяющий качество хлопкового волокна в современных условиях// «XXI аср - интеллектуал ёшлар асри» Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. Ташкент. 22 май 2022 г. С.117-122.

20. Акбаров Н., Хазратова Т. Численный анализ вязкоупругого деформирования грунтов по модели Кельвина-Фойгта//«Ахборот тизимлари ва технологияларининг замонавий жамиятдаги ўрни» мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами Наманган ш., 2021 й. 190-193 б.

21. Хазратова Т., Акбаров Н. Технологик жараёнларда тўқимачилик ипларининг мустаҳкамлиги ошириш// «Тенденции разветия текстильной промышленности: проблемы и пути решения» I-Международная научно-практическая конференция. Термиз 23-24 апрел 2021 г. С. 284-287.

22. Султанов К.С., Исмоилова С.И., Хазратова Т.Я. Деформационный метод определения прочности хлопковой пряжи//Сборник научных трудов Международной научной конференции посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.А.Севостьянова. Часть 2. г.Москва. 10 марта 2020 г. С.80-84.

23. ЕНМ uchun yaratilgan dasturiy guvohnoma №DGU 41720, ro‘uxatga olingan 25.07.2024 у. Nochiziq deformatsiyalanuvchan yigirilgan paxta ipi va to‘qimachilik iplarining cho‘zilishda uzilishi masalasini sonli yechish dasturi «OBRIV - 01» Mualliflar: Ismoilova S.I., Akbarov N.A., Hazratova T.Ya., Begmanov R.A..

Avtoreferatning o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi nusxalari
«Mexanika muammolari O‘zbekiston jurnali» tahririyatida
tahrirdan o‘tkazildi (2.12.2025)

Bosishga ruxsat etildi 2.12.2025 yil
Bichimi 60×841/16, “Times New Roman”
Garniturada raqamli bosma usulida bosildi
Shartli bosma tabog‘i 3. Adadi: 80. Buyurtma: №241
TTESI bosmaxonasida chop etildi
Toshkent shahri, Shoxjahon ko‘chasi 5-uy.