

**НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
PhD.03/30.12.2019.Т.66.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**  

---

**ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ**

**ҚУРБОНОВА ФИРУЗА ЗАРИПОВНА**

**ЯССИ МАТЕРИАЛЛАРГА МЕХАНИК ИШЛОВ БЕРИШ  
ЖАРАЁНЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ УЧУН ВАЛЛАР  
ЖУФТЛИГИНИНГ ЎЗARO ТАЪСИРИ ТАДҚИҚИ**

**05.02.03 – Технологик машиналар. Роботлар, мехатроника  
ва роботатехника тизимлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

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

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Курбонова Фируза Зариповна**

Ясси материалларга механик ишлов бериш жараёнларини  
такомиллаштириш учун валлар жуфтлингнинг ўзаро таъсири  
тадкики ..... 3

**Курбанова Фируза Зариповна**

Исследование контактного взаимодействия в валковых парах для  
совершенствования процессов механической обработки листовых  
материалов ..... 23

**Kurbanova Firuza Zaripovna**

Research of contact interaction in roller pairs for improving the processes of  
mechanical treatment of sheet materials ..... 43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 47

**НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
PhD.03/30.12.2019.Т.66.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**  

---

**ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ**

**ҚУРБОНОВА ФИРУЗА ЗАРИПОВНА**

**ЯССИ МАТЕРИАЛЛАРГА МЕХАНИК ИШЛОВ БЕРИШ  
ЖАРАЁНЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ УЧУН ВАЛЛАР  
ЖУФТЛИГИНИНГ ЎЗARO ТАЪСИРИ ТАДҚИҚИ**

**05.02.03 – Технологик машиналар. Роботлар, мехатроника  
ва роботатехника тизимлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.1.PhD/T1010 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент архитектура қурилиш институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Наманган муҳандислик-технология институти ҳузуридаги Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.namnti.uz](http://www.namnti.uz)) ва "ZiyoNet" Ахборот таълим порталида ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Хуррамов Шавкат Раҳматуллаевич  
техника фанлари номзоди, доцент

Расмий оппонентлар:

Джўраев Анвар Джўраевич  
техника фанлари доктори, профессор

Хожиматов Расулжон Солиевич  
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Андижон машинасозлик институти

Диссертация ҳимояси Наманган муҳандислик-технология институти ҳузуридаги Ph.D.03/30.12.2019.T.66.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «08» январь соат 11<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 160115, Наманган шаҳри, Косонсой кўчаси, 7-уй. Тел.: (69) 228-76-68, факс: (69) 228-76-75, e-mail: [nei\\_info@edu.uz](mailto:nei_info@edu.uz), Наманган муҳандислик-технология институти маъмурий биноси, 1-кават, кичик мажлислар зали).

Диссертация билан Наманган муҳандислик-технология институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (435-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 160115, Наманган ш., Косонсой кўчаси, 7-уй. Тел.: (69) 228-76-68.)

Диссертация автореферати 2021 йил «27» декабрь куни тарқатилди.  
(2021 йил «27» декабрдаги №59-рақамли реестр баённомаси).



Р.Мурадов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

Х.Т.Бобожанов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
илмий котиби, техника фанлари доктори, доцент

Қ.М. Холиков

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги  
илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ ( фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда чарм ва чарм маҳсулотлари кенг миқёсда ишлаб чиқариладиган ва кўп миқдорда сотиладиган маҳсулотлардан бири ҳисобланади. Улар қайта тикланадиган ва осон мавжуд бўлган манбалардан ишлаб чиқарилади. Ҳозирги вақтда чарм саноати савдоси йилига 80 миллиард АҚШ долларидан ошади ва бу аҳоли сонининг кўпайиши ва мамлакатларнинг урбанизацияси туфайли ўсиши кутилмоқда<sup>1</sup>. Бугунги кунда сифатли чарм маҳсулотларини ишлаб чиқаришда энергия-ресурстежамкор технология ва техника воситаларини қўллаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Жаҳонда ишлаб чиқаришнинг кўплаб соҳаларида турли технологик жараёнларни бажаришда қўлланилаётган машиналарнинг энг самарадор ва универсал турларидан бири валокли машиналар ҳисобланади. Шу сабабли амалдаги валокли машиналарни ва уларда бажариладиган мавжуд технологияларни такомиллаштириш ҳамда янги ва яхлит ҳолга келтирилган технологик жараёнларни ва улар амалга ошириладиган ускуналарни яратишда валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир назариясининг масалаларини тадқиқ этиш ва ечиш ҳамда ресурстежамкор ва автоматлашган технологиялардан фойдаланиш муҳим аҳамиятга эга.

Жаҳонда валокли машиналарда бажариладиган функционал вазифаларнинг хилма-хиллиги, уларнинг параметрларига қўйиладиган талабларнинг фарқланиши ва ишлов берилаётган материаллар хоссаларининг турли-туманлиги сабабли валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир назариясининг масалаларини ечишга ва валокли машиналарнинг технологик параметрларини асослашга оид кўплаб ишлар олиб борилмоқда. Аммо, уларда яратилган математик моделларнинг аксарияти етарли даражада аниқликка эга эмас ва қўлланилиш соҳаси чегараланган. Бугунги кунда уларни контактли ўзаро таъсир назарияси бўйича янги билимларни ҳамда охириги йилларда яратилган технологик жараёнлар ва усуналарни инобатга олган ҳолда тараққий эттириш ва такомиллаштириш нафақат долзарб, балки мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

Республикамизда янги типдаги ресурс тежамкор валокли машиналарнинг конструкцияларини ҳамда рақобатбардош ва юқори сифатли маҳсулот ишлаб чиқаришнинг янги технологияларини яратиш учун фундаментал ва амалий тадқиқотларни жадал ривожлантириш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида «...миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга

---

<sup>1</sup> <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/leather-industry>

энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш...»<sup>2</sup> каби вазифалар белгиланган. Ушбу биринчи галдаги вазифаларни амалга оширишнинг муҳим масалаларидан бири ишлов берилаётган материалнинг, жумладан чарм ярим маҳсулотининг хромли ошлашдан кейинги хоссаларини ҳисобга олган ҳолда технологик жараёнларни такомиллаштириш ва уларни амалга ошириш учун юқори унумли ва ресурс тежамкор валокли технологик машиналарни яратиш ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ- 4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2018 йил 21 сентябрдаги ПФ- 5544-сон «2019-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегияси тўғрисида»ги ва 2000 йил 23 февралдаги ПФ- 2552-сон «Республика иқтисодиётининг чарм-пойабзал тармоғини бошқариш тизимларини такомиллаштириш тўғрисида» ги Фармонлари ва 2021 йил 8 февралдаги ПҚ-4982-сон «Чарм- поябзал ва мўйначилик соҳаларини янада ривожлантиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур соҳага тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва энергия-тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир назариясининг асосий масалаларини тадқиқ этиш ва ечиш билан ҳорижлик тадқиқотчилар J.J. Munton, S. Alenka, A.Murillo-Morradan, P.P. Gudur, V. Alexa, S.A. Ratiu, M. Salimi, M.A. Tolcha, L.F. Nasimento, Sh. Chen, X. Tan, G. Tzou, X. Fend, R. Pernis ва бошқалар шуғулланишган.

Металлургия, текстил ва енгил саноат валокли машиналарининг валлар жуфтлигидаги контакт кучланишларининг назарий тадқиқотига А.И.Целиков, А.А.Королев, А.В.Третьяков, Г.К. Кузнецов, Ю.Г. Фомин, А.Г.Бурмистров, Б.А.Койайдаров ва бошқаларнинг ишлари бағишланган.

Республикамизда чарм ярим маҳсулотинининг сиқиш валлари билан контактли ўзаро таъсирини ўрганиш ва улар асосида янги типдаги чарм ярим маҳсулотини сиқиш машиналарини яратиш ва уларнинг параметрларини ҳисоблаш бўйича методикаларни ишлаб чиқишга бағишланган тадқиқотлар Г.А.Бахадиров, Т.Ю.Аманов, Ш.Р.Хуррамов, А.Абдукаримов, Г.Н.Цой ва бошқалар томонидан бажарилган.

Валлар жуфтлигида контактли масалаларни ўрганиш бўйича жуда кенг миқёсдаги материалларнинг мавжудлигига қарамасдан валлар жуфтлигида

---

<sup>2</sup> <https://www.Lex.uz/acts/3107036>. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони

контактли ўзаро таъсир масалаларини ечишнинг назарий асослари ҳали етарли даражада ишлаб чиқилмаган. Бу шу вақтгача валоклар контакт эгри чизикларининг ҳамда уринма ва нормал контакт кучланишларини боғловчи ишқаланиш кучланишларининг математик моделлари яратилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши ЎзР. ФА нинг механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг № БВ-М-Ф4-001 «Гидродинамика ва машинасозлик масалаларини математик моделлаштириш ва ечишнинг янги методлари асосида тадқиқ этиш» (2017–2020) мавзусидаги фундаментал лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** материалларга валокли машиналарда механик ишлов бериш жараёнларини валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир тадқиқоти асосида такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

асимметрик валлар жуфтлигининг контакт бурчакларини аниқлаш ва баҳолаш;

контакт эгри чизикларнинг шаклларини ҳамда нормал ва уринма контакт кучланишларни тақсимот қонуниятларини моделлаштириш;

валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир параметрлари ва кўрсаткичларини ҳисоблаш учун аналитик ифодаларни аниқлаш;

назарий ва тажриба тадқиқотлари натижалари асосида чарм ярим маҳсулотини валокли сиқишнинг оптимал параметрларини ҳисоблаш методикасини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** – енгил саноат, жумладан, чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш машиналарининг валлар жуфтлиги.

**Тадқиқотнинг предмети** – валлар жуфтлигидаги контактли масалалар назарияси ва валокли технологик машиналар параметрларини ҳисоблаш методлари.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертацияда контактли ўзаро таъсир назарияси, математик моделлаштириш, енгил саноат машиналарини лойиҳалаш назарияси, математик анализ, математик статистика ва тажрибани режалаштириш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** куйидагилардан иборат:

асимметрик валлар жуфтлиги контакт бурчакларининг аналитик ифодалари аниқланган;

контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари реологик моделлар орқали берилганида валлар жуфтлигидаги контакт эгри чизиклари шаклларининг ва контакт кучланишлари тақсимот қонуниятларининг математик моделлари яратилган;

контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари реологик моделлар орқали берилганида контакт эгри чизикларининг геометрик ва кинематик кўрсаткичларини ҳамда валлар жуфтлигидаги энергиявий куч параметрларини ҳисоблаш учун аналитик ечимлар топилган;

чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш параметрларини оптималлашга имкон берувчи чарм ярим маҳсулоти деформациявий хоссаларининг, контакт эгри чизикларининг ва чарм ярим маҳсулоти қолдиқ намлигининг тажрибавий математик моделлари яратилган;

босимнинг характеристикаси сифатида солиштирма босимдан фойдаланадиган чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш оптимал параметрларини ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

чарм ярим маҳсулотини валокли сиқишнинг оптимал параметрларини ҳисоблаш методикаси яратилган;

чарм ярим маҳсулотининг валлар жуфтлиги билан контактли ўзаро таъсири ҳодисаси физик моҳиятини очишга имкон берувчи чарм ярим маҳсулотининг хромли ошлашдан кейинги деформациявий хоссалари аниқланган.

**Олинган натижаларнинг ишончлилиги** ўтказилган тадқиқотларнинг контактли ўзаро таъсир назариясининг ҳамда енгил ва текстил саноатлари машиналарини лойиҳалашнинг замонавий усулларини қўллаган ҳолда бажарилиши, илмий ёндашув ва таҳлиллар асосида олинган натижаларнинг жаҳондаги етакчи марказлар мутахассисларининг назарий маълумотларига мос келиши ва етакчи илмий нашрларда чоп қилиниши билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир назариясининг ривожланишига катта ҳисса қўшувчи контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари реологик моделлар орқали берилганида валлар жуфтлигидаги контакт эгри чизиклари шакллари ва контакт кучланишлари тақсимот қонуниятларининг математик моделлари яратилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти чарм саноати валокли сиқиш машиналарининг рационал параметрларини ва ишлаш режимларини аниқлаш ва баҳолашга имкон берувчи чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш параметрларини ҳисоблаш методикасининг яратилиши, валлар жуфтлигидаги ҳодисаларнинг физик моҳиятини очишда амалий аҳамиятга эга бўлган чарм ярим маҳсулотининг хромли ошлашдан кейинги деформациявий хоссаларининг аниқланганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Чарм маҳсулотларини ишлаб чиқаришда материалларга валокли машиналарда механик ишлов бериш жараёнларидаги параметрларини оптималлаш ва иш режимларини асослаш бўйича олинган натижалар асосида:

чармни валокли машиналар билан сиқиш жараёнини математик моделлаштириш ва такомиллаштириш бўйича бажарилган тадқиқотлар негизида олинган чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш жараёнининг назарий натижалари, волокли сиқишнинг самарадорлигини аниқлашнинг ҳисоблаш формулалари ва чармни ярим маҳсулотини валокли сиқишнинг оптимал параметрларини аниқлаш методикаси «ЎЗЧАРМСАНОАТ» уюшмасининг корхоналарида хусусан «QARSHI LEATHER» МЧЖ,



«ULKAN-LAZIZ» МЧЖ, «OSIYO CHARM FAYZ» МЧЖ да («ЎЗЧАРМСАНОАТ» уюшмасининг 2021 йил 12 октябрдаги ФБ-7/2651-сон маълумотномаси) ишлаб чиқаришга жорий қилинган;

натижادا чарм корхоналарида табиий чарм ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларини такомиллаштириш орқали иқтисодий самара олиш имкони яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 8 та халқаро миқёсдаги анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 11 та, жумладан Scopus базасидаги журналларда 6 та мақола нашр қилинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, учта боб, хулосалар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил қилади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида тадқиқот мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари баён қилинган, объекти ва предмети келтирилган, республика фан ва технологияларини ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, ишнинг апробацияси, натижаларнинг нашр қилинганлиги ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг “**Материал қатининг валлар жуфтлиги билан контактли ўзаро таъсири ҳақида замонавий қарашлар**” деб номланган биринчи бобида валлар жуфтлигида ўзаро контактли таъсир назарияси масалаларини ечишнинг ҳозирги ҳолати очиқ берилган ва материал қатининг валлар жуфтлиги билан ўзаро таъсири характери ва функционал тузилиши кўриб чиқилган. Ушбу масалалар бўйича тадқиқотлар ўтказилиши зарурлиги асосланган ва материалларни валокли машиналар билан механик ишлов бериш жараёнларини такомиллаштириш йўналишлари баён қилинган.

Валлар жуфтлигида контактли ўзаро таъсир назариясининг асосий масаласи нормал ва уринма кучланишларни тақсимотини моделлаштириш ҳисобланади. Бунда, валлар жуфтлиги контакт соҳасида ишқаланиш таъсирини инобатга олувчи ва нормал ҳамда уринма кучларни баҳоловчи ишқаланиш кучланишлари моделлари, ўзаро контактли таъсирдаги жисмларнинг юмшоқлигини инобатга олувчи контакт эгри чизиклари шаклининг моделлари ва контакт масалаларининг чегаравий шартларини

аниқловчи контакт бурчакларининг аналитик ифодалари асосий омиллар ҳисобланади.

Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики, бугунги кунда икки валокли асимметрик модулларда бошланғич контакт бурчакларининг, турғун жараёндаги қамров ва чиқиш бурчакларининг оммавий қабул қилинган моделлари, материал қатининг валлар жуфтлиги билан ўзаро таъсирида контакт эгри чизикларининг шаклини ифодаловчи аналитик тенгламалари ва контакт кучланишларининг коррект моделлари мавжуд эмас.

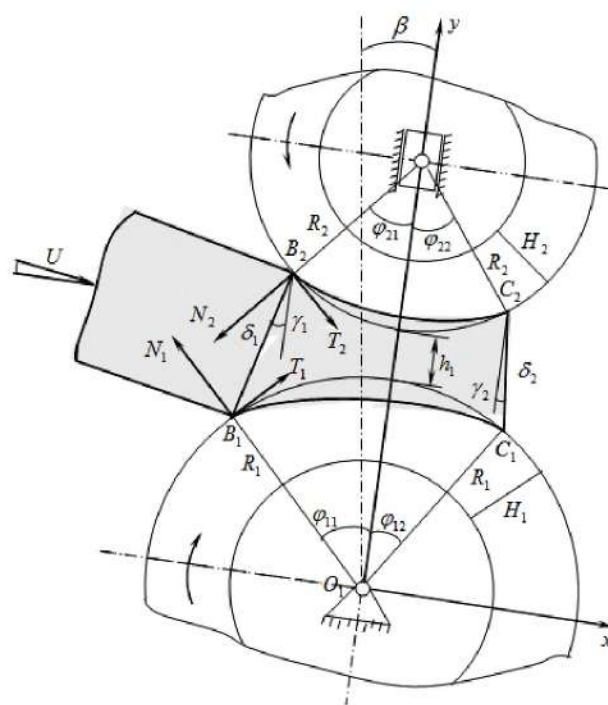
Контакт бурчакларининг, контакт эгри чизиклари шаклининг ва ишқаланиш кучланишлари моделларининг йўқлиги валлар жуфтлигида контакт кучланишларининг тажрибавий эпюралар билан мос тушадиган назарий тақсимот қонунларининг топиш имконини бермайди. Натижада, икки валокли моделларнинг энергиявий куч параметларини ҳисоблашда ноаниқ формулалардан фойдаланишга тўғри келади.

Диссертация ишининг “**Материал қатининг валлар жуфтлиги билан контактли ўзаро таъсирини моделлаштириш**” деб номланган иккинчи боби валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсирини назарий тадқиқотига бағишланган.

Валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир масалалари тадқиқоти 1-расмда келтирилган умумлашган икки валокли модулда бажарилди. Бу модулда валлар вертикалга нисбатан  $\beta$  бурчак остида ўнгга қия жойлашган, тенг бўлмаган диаметрларга ( $D_1 \neq D_2$ ) ва турли қаттиқликдаги ва ишқаланиш коэффициентли ( $f_1 \neq f_2$ ) эластик ўрамаларга эга. Материал қати бир хил  $\delta_1$  қалинликка эга ва марказлар чизиғига (валлар айланиш марказларини туташтирувчи чизик) нисбатан  $\gamma_1$  бурчак остида қуйига узатилган, валлар орасидаги масофа  $h$  га тенг.

Валлар жуфтлигидаги контакт бурчакларининг қиймати биринчи галда валларга ҳаракат бериш усулига боғлиқ. Валлар жуфтлигида ҳаракат бериш усулига кўра валлар узатиш механизмига эга бўлган узатмали валларга ва валлар контакт сиртида ҳосил бўладиган ишқаланиш ҳисобига ҳаракат олувчи узатмасиз (эркин) валларга бўлинади.

Иккита узатмали валга эга бўлган умумлашган икки валокли модулдаги геометрик шартларнинг назарий тадқиқоти асосида контакт



1-расм. Материал қатининг валлар жуфтлиги билан ўзаро таъсири схемаси.

бурчакларининг куйидаги ифодалари топилди:

– материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги контакт бурчаклари

$$\alpha_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_1 + \nu_2) + \delta_1 \gamma_1), \quad \alpha_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(\nu_1 + \nu_2) - \delta_1 \gamma_1), \quad (1)$$

бу ерда  $\nu_1$  ва  $\nu_2$  – куйи ва юқори валларнинг материал қати билан дастлабки уринишида ишқаланиш бурчаклари;

– турғун жараёнда қамров ва чиқиш бурчаклари

$$\varphi_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2(\nu_1 + \nu_2) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} + \delta_1 \gamma_1 \right), \quad \varphi_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1(\nu_1 + \nu_2) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} - \delta_1 \gamma_1 \right); \quad (2)$$

$$\varphi_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_{12} + \nu_{22}) + \delta_2 \gamma_2), \quad \varphi_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(\nu_{12} + \nu_{22}) - \delta_2 \gamma_2). \quad (3)$$

(1) - (3) боғланишлар бўйича бурчаклар ҳисоби натижалари куйидагиларни кўрсатди:

– юқори вал радиуси ўсиши билан материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги ва турғун жараёндаги контакт бурчаклари куйи валда ўсади, юқори валда эса камайди;

– материал қатининг марказлар чизиғига оғиш бурчаги камайиши билан материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги ва турғун жараёндаги контакт бурчаклари куйи валда камайди, юқори валда эса ўсади;

– материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги контакт бурчаклари йиғиндиси ва турғун жараёндаги қамров бурчакларининг йиғиндиси материал қатининг марказлар чизиғига нисбатан оғишига ва валларнинг вертикалга нисбатан оғишига боғлиқ бўлмайди.

Шунингдек, битта (куйи) узатмали валга эга бўлган умумлашган икки валокли модулдаги контакт бурчаклари топилди:

– материал қатининг валлар билан дастлабки уринишида

$$\alpha_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_2} \right) + \delta_1 \gamma_1 \right), \quad \alpha_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_2} \right) - \delta_1 \gamma_1 \right),$$

бу ерда  $\nu_1$  – куйи валнинг материал қати билан дастлабки уринишида ишқаланиш бурчаги;  $r_{\text{ш}}$  – узатмасиз вал бўғизи радиуси;  $\nu_{\text{ш}}$  – узатмасиз вал бўғизидаги ишқаланиш бурчаги;

– турғун жараёнда

$$\varphi_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_2} \right) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} + \delta_1 \gamma_1 \right),$$

$$\varphi_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_2} \right) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} - \delta_1 \gamma_1 \right),$$

$$\varphi_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2 \left( v_{12} - v_w \frac{r_w}{R_2} \right) + \delta_2 \gamma_1 \right), \quad \varphi_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1 \left( v_{12} - v_w \frac{r_w}{R_2} \right) - \delta_2 \gamma_1 \right).$$

Валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир назариясининг асосий масалаларидан бири контакт эгри чизиклари шаклини аналитик ифодалашдан иборат.

Контакт эгри чизиклари шаклини моделлаштириш масаласи контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари куйидаги реологик моделлар орқали берилганда қаралди:

$$\sigma_{ij} = E_{ij} \varepsilon_{ij} + \mu_{ij} \frac{d\varepsilon_{ij}}{dt}, \quad \sigma_{ij}^* = E_j \varepsilon_{ij}^* + \mu_j \frac{d\varepsilon_{ij}^*}{dt},$$

бу ерда  $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, E_{ij}, \mu_{ij}, \sigma_{ij}^*, \varepsilon_{ij}^*, E_j, \mu_j$  – мос равишда  $i$ - вал ўрамасининг ва материал қатининг сиқилиш ( $j=1$ ) ва тикланишдаги ( $j=2$ ) кучланиши, деформацияси, эластиклик модули ва ёпишқоқлик коэффициенти.

Гилдираклар ҳаракати назариясининг контактлашаётган жисмлар нисбий деформациялари тезликларининг нисбати ўзгармас деб ҳисобловчи гипотезаси қабул қилинди ва валлар контакт эгри чизиклари шаклининг моделлари топилди:

қуйи валок учун

$$\begin{cases} r_{11} = \frac{R_1}{1+k_{11}\lambda_{11}} \left( 1+k_{11}\lambda_{11} \frac{\cos(\varphi_{11}+\gamma_1)}{\cos(\theta_{11}+\gamma)} \right), & -(\varphi_{11}+\gamma_1) \leq \theta_{11}+\gamma \leq 0, \quad \gamma = \frac{\gamma_1\theta_{11}}{\varphi_{11}}, \\ r_{12} = \frac{R_1}{1+k_{12}\lambda_{12}} \left( 1+k_{12}\lambda_{12} \frac{\cos(\varphi_{12}+\gamma_2)}{\cos(\theta_{12}+\gamma)} \right), & 0 \leq \theta_{12}+\gamma \leq \varphi_{12}+\gamma_2, \quad \gamma = \frac{\gamma_2\theta_{12}}{\varphi_{12}}, \end{cases} \quad (4)$$

бу ерда  $k_{11} = \frac{H_1 \sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}{\delta_1 \sin \varphi_{21}}$ ,  $k_{12} = \frac{H_1 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{22})}{\delta_2 \sin \varphi_{22}}$ ;  $\lambda_{11}, \lambda_{12}$  – қуйи валок

эластик ўрамаси ва материал қатининг мос равишда сиқилиш ва тикланишдаги нисбий деформациялари тезликларининг нисбати;

юқори валок учун

$$\begin{cases} r_{21} = \frac{R_2}{1+k_{21}\lambda_{21}} \left( 1+k_{21}\lambda_{21} \frac{\cos(\varphi_{21}-\gamma_1)}{\cos(\theta_{21}-\gamma)} \right), & -(\varphi_{21}-\gamma_1) \leq \theta_{21}-\gamma \leq 0, \quad \gamma = \frac{\gamma_1\theta_{21}}{\varphi_{21}}, \\ r_{22} = \frac{R_2}{1+k_{22}\lambda_{22}} \left( 1+k_{22}\lambda_{22} \frac{\cos(\varphi_{22}-\gamma_2)}{\cos(\theta_{22}-\gamma)} \right), & 0 \leq \theta_{22}-\gamma \leq \varphi_{22}-\gamma_2, \quad \gamma = \frac{\gamma_2\theta_{22}}{\varphi_{22}}, \end{cases} \quad (5)$$

бу ерда  $k_{21} = \frac{H_2 \sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}{\delta_1 \sin(\varphi_{11} + \gamma_1)}$ ,  $k_{22} = \frac{H_2 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{22})}{\delta_2 \sin(\varphi_{12} + \gamma_2)}$ ,  $\lambda_{21}, \lambda_{22}$  – юқори валок

эластик ўрамаси ва материал қатининг мос равишда сиқилиш ва тикланишдаги нисбий деформациялари тезликларининг нисбати.

Контактлашаётган жисмларнинг валлар контакт соҳасида контактли ўзаро таъсири шартларини таҳлил қилиб,  $i$ - вал ва материал қатининг

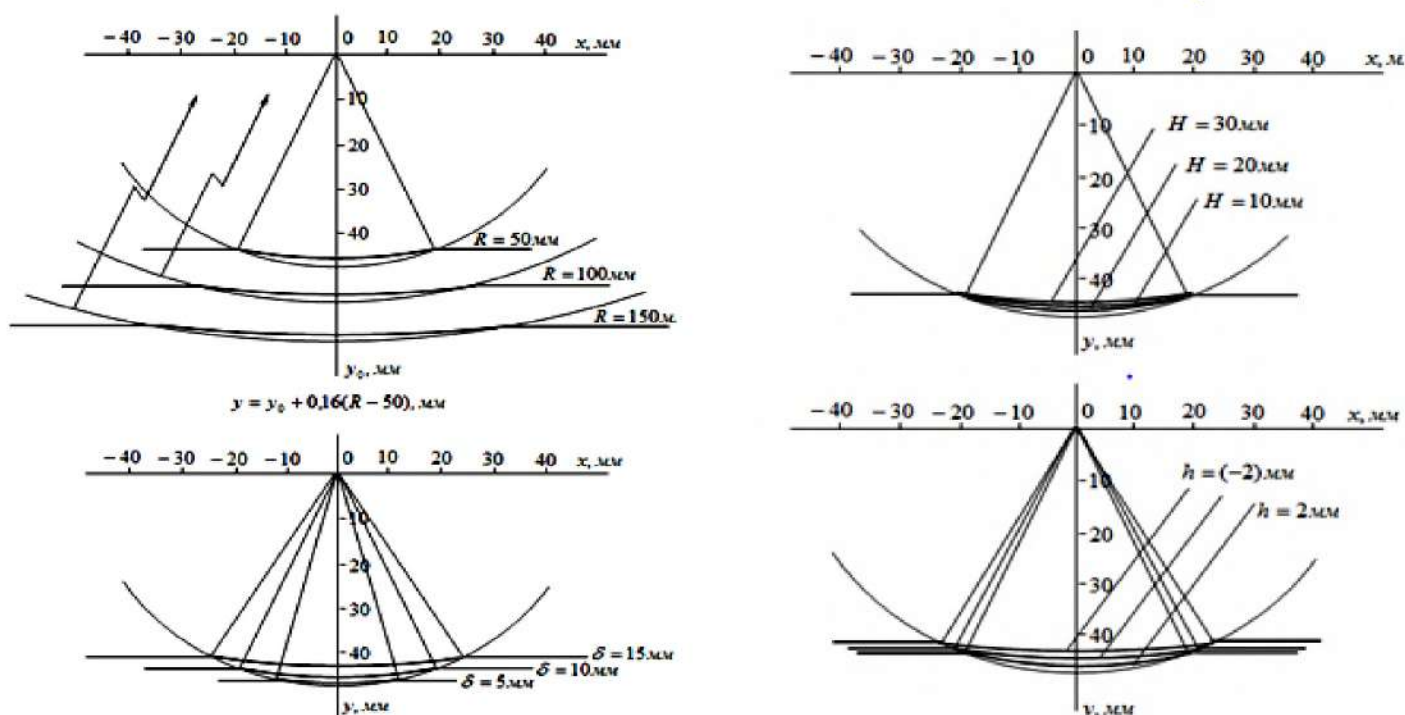
сиқилиш ( $j=1$ ) ва тикланишда ( $j=2$ ) ушбу кўринишдаги ифодалари топилди:

$$\lambda_{ij} = \frac{E_j (\Delta l_{ij})_{cp} + \mu_j \left( \frac{dl_{ij}}{dt} \right)_{cp}}{E_{ij} (\Delta l_{ij})_{cp} + \mu_{ij} \left( \frac{dl_{ij}}{dt} \right)_{cp}}, \quad (6)$$

бу ерда  $(\Delta l_{ij})_{cp} = R_i \cdot \left( 1 - \frac{\sin 2(\varphi_{ij} \pm \gamma_j)}{2(\varphi_{ij} \pm \gamma_j)} \right)$ ,  $\left( \frac{dl_{ij}}{dt} \right)_{cp} = \frac{R_i \omega_i}{\varphi_{ij} + \gamma_j} (1 - \cos(\varphi_{ij} + \gamma_j))$ ,

минус ишораси юқори валга тааллуқли, яъни  $i=2$ .

(4) ва (5) тенгламалар системаларининг хусусий кўринишларини ва уларга мос валларнинг ишлов берилаётган материал билан ўзаро таъсирининг хусусий ҳолларини таҳлили кўрсатдики, олинган математик моделлар икки валокли модуллардаги ишлов берилаётган материалнинг валлар жуфтлиги билан барча хусусий ҳолларини ифодалайди.



2-расм. Омилларнинг контакт эгри чизиғи шаклига таъсирининг характерлари

Омилларнинг контакт эгри чизиғи шаклига таъсири характерини кўргазмали ифодалаш учун 2-расмда турли омилларда уларнинг графиклари тасвирланган.

Олинган (4) ва (5) тенгламалар системаси умумлашган икки валокли модулда контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хусусиятлари

Кельвин-Фойгт реологик моделлари билан берилганда контакт эгри чизикларининг шаклини ифодалайди. (4) ва (5) тенгламалар системаларининг контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хусусиятлари эмпирик формулалар билан берилгандаги хол билан таққосий таҳлили шуни кўрсатдики, улар бир хил кўринишга эга. Бундан, материал қатининг валлар жуфтлиги билан ўзаро таъсирида контакт эгри чизикларининг шакли контактлашаётган жисмлар деформациявий хусусиятларининг берилиш усулига боғлиқ бўлмайди дейиш мумкин.

(4) ва (5) тенгламалар системалари кўринишида олинган контакт эгри чизиклари тенгламаларидан фойдаланган холда контакт эгри чизикларининг узунликларини ҳисоблаш ифодалари аниқланди:

– қуйи валок узунлиги

$$l_1 = \frac{R_1}{3(1+k_{11}\lambda_{11})} \sin(\varphi_{11} + \gamma_1)(3(1+k_{11}\lambda_{11}) + \sin^2(\varphi_{11} + \gamma_1)) + \frac{R_1}{3(1+k_{12}\lambda_{12})} \sin(\varphi_{12} + \gamma_1)(3(1+k_{12}\lambda_{12}) + \sin^2(\varphi_{12} + \gamma_2)). \quad (7)$$

– юқори валок узунлиги

$$l_2 = \frac{R_2}{3(1+k_{21}\lambda_{21})} \sin(\varphi_{21} - \gamma_1)(3(1+k_{21}\lambda_{21}) + \sin^2(\varphi_{21} - \gamma_1)) + \frac{R_1}{3(1+k_{22}\lambda_{22})} \sin(\varphi_{22} - \gamma_1)(3(1+k_{22}\lambda_{22}) + \sin^2(\varphi_{12} - \gamma_2)). \quad (8)$$

Валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсир назариясида валларнинг контакт эгри чизиги кинематик нуктаи-назардан уч турдаги соҳадан иборат бўлишлиги қабул қилинган. Улар, орқада қолиб сирпаниш, ёпишиш ва илгарилаб сирпаниш соҳаларидир.

Қуйи валнинг контакт эгри чизигида орқада қолиб сирпаниш соҳаси, ёпишиш соҳаси ва илгарилаб сирпаниш соҳаси мавжуд бўлсин дейлик, бунда ёпишиш соҳаси сиқилиш соҳасидаги қисмдан ва тикланиш соҳасидаги қисмдан иборат бўлади.

(4) ва (5) тенгламалар системалари кўринишида олинган контакт эгри чизиклари тенгламаларидан фойдаланган холда орқада қолиб сирпаниш, ёпишиш ва илгарилаб сирпаниш соҳаларининг узунликларини ҳамда ёпишиш соҳасини сирпаниш соҳаларидан ажратувчи бурчакларни ҳисоблаш учун ифодалар топилди:

– қуйи валок учун

$$S_{\text{торс}} = \left( \frac{R_1(1+k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11} + \gamma_1))}{1+k_{11}\lambda_{11}} - \frac{v_m}{\omega_1} \right) \left( \frac{\varphi_{11} + \gamma_1}{\varphi_{11}} \right) \frac{(\varphi_{11} - \varphi_{1s})}{2}, \quad (9)$$

$$S_{1on} = \left( \frac{R_2(1 + k_{12}\lambda_{12} \cos(\varphi_{12} + \gamma_2))}{1 + k_{12}\lambda_{12}} - \frac{v_m}{\omega_1} \right) \left( \frac{\varphi_{12} + \gamma_2}{\varphi_{12}} \right) \frac{(\varphi_{12} - \varphi_{15})}{2}, \quad (10)$$

$$l_{1nn} = l_1 - (S_{1oot} + S_{1on}), \quad (11)$$

$$\zeta_{11} = \left( 1 - \frac{v_m(1 + k_{11}\lambda_{11})}{\omega_1 R_1(1 + k_{11}\lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1))} \right) \frac{(\varphi_{11} - \varphi_{15})}{2}, \quad (12)$$

$$\zeta_{21} = \left( 1 - \frac{v_m(1 + k_{12}\lambda_{12})}{\omega_1 R_1(1 + k_{12}\lambda_{12} \cos(\varphi_{12} + \gamma_2))} \right) \frac{(\varphi_{12} - \varphi_{15})}{2}, \quad (13)$$

бу ерда  $\varphi_{15}$  – куйи валокнинг нейтрал бурчаги

– юқори валок учун

$$S_{2oot} = \left( \frac{R_2(1 + k_{21}\lambda_{21} \cos(\varphi_{21} - \gamma_1))}{1 + k_{21}\lambda_{21}} - \frac{v_m}{\omega_2} \right) \left( \frac{\varphi_{21} - \gamma_1}{\varphi_{21}} \right) \frac{(\varphi_{21} - \varphi_{25})}{2}, \quad (14)$$

$$S_{2on} = \left( \frac{R_2(1 + k_{22}\lambda_{22} \cos(\varphi_{22} - \gamma_2))}{1 + k_{22}\lambda_{22}} - \frac{v_m}{\omega_2} \right) \left( \frac{\varphi_{22} - \gamma_2}{\varphi_{22}} \right) \frac{(\varphi_{22} - \varphi_{25})}{2}, \quad (15)$$

$$l_{2nn} = l_2 - (S_{2oot} + S_{2on}), \quad (16)$$

$$\zeta_{21} = \left( 1 - \frac{v_m(1 + k_{21}\lambda_{21})}{\omega_2 R_2(1 + k_{21}\lambda_{21} \cos(\varphi_{21} - \gamma_1))} \right) \frac{(\varphi_{21} - \varphi_{25})}{2}, \quad (17)$$

$$\zeta_{22} = \left( 1 - \frac{v_m(1 + k_{22}\lambda_{22})}{\omega_2 R_2(1 + k_{22}\lambda_{22} \cos(\varphi_{22} - \gamma_2))} \right) \frac{(\varphi_{22} - \varphi_{25})}{2}, \quad (18)$$

бу ерда  $\varphi_{25}$  – юқори валокнинг нейтрал бурчаги.

Бу формулалар билан ҳисоблашлар таҳлили кўрсатадики:

– материал қатининг марказлар чизиғига оғиш бурчаги ўсиши билан сирпаниш соҳалари асимптотик камаяди;

– валлар радиуслари ва ташқи кучларнинг  $Oy$  ўқига проекциялари ўсиши сирпаниш соҳаларининг ўсишига ва ёпишиш соҳаларининг камайишига олиб келади;

– ташқи кучларнинг  $Ox$  ўқига проекциялари камайиши сирпаниш соҳаларининг ўсишига ва ёпишиш соҳаларининг камайишига олиб келади.

Нормал ва уринма кучланишларнинг контакт эгри чизиклари бўйлаб тарқалиш қонуниятларини математик моделлаштириш материал қатининг валлар жуфтлиги билан контактли ўзаро мулоқати назариясининг марказий масаласи ҳисобланади. Ушбу масалани ечишда уринма ва нормал

кучланишларни боғловчи ишқаланиш кучланишлари моделлари ҳамда валоклар контакт эгри чизикларини моделлари асосий омиллар ҳисобланади.

Ш.Р.Хуррамов томонидан ишлаб чиқилган ишқаланиш кучланишлари моделларидан ҳамда контакт эгри чизиклари шаклларининг (4) ва (5) тенгламалар системалари билан аниқланувчи математик моделларидан

фойдаланган ҳолда контакт кучланишлари тақсимот қонунлари топилди:

– куйи валок учун

$$n_{11} = B_{11} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{11} + \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)} (E_1 + \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma)) \right), \quad (19)$$

$$t_{11} = B_{11} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{11} + \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)} (E_1 + \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma - \psi_{11} + \xi_1), \quad (20)$$

бу ерда  $B_{11} = \frac{\sigma_{1\max}}{E_1(1 - \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)) - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{11} + \gamma_1)}$ ;

$$n_{12} = B_{12} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{\cos(\theta_{12} + \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{12} + \gamma)) \right), \quad (21)$$

$$t_{12} = B_{12} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{\cos(\theta_{12} + \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{12} + \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{12} + \gamma - \psi_{12} + \xi_1), \quad (22)$$

бу ерда  $B_{12} = \frac{\sigma_{1\max}}{E_2(1 - \cos(\varphi_{12} + \gamma_2)) + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \gamma_2)}$ ;  $\xi_2 = \operatorname{arctg} \frac{F_2}{Q_2}$ ;

– юқори узатмали валок учун

$$n_{21} = B_{21} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\cos(\theta_{21} - \gamma)} (E_2 + \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma)) \right), \quad (23)$$

$$t_{21} = B_{21} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\cos(\theta_{21} - \gamma)} (E_2 + \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma - \psi_{21} + \xi_2), \quad (24)$$

бу ерда  $B_{21} = \frac{\sigma_{2\max}}{E_1(1 - \cos(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)}$ ;

$$n_{22} = B_{22} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{\cos(\theta_{22} - \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma)) \right), \quad (25)$$



$$t_{22} = B_{22} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{\cos(\theta_{22} - \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma - \psi_{22} + \xi_2), \quad (26)$$

бу ерда  $B_{22} = \frac{\sigma_{2\max}}{E_2(1 - \cos(\varphi_{22} - \gamma_2)) + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)}$ ;  $\xi_2 = \operatorname{arctg} \frac{F_2}{Q_2}$ ;

– юқори узатмасиз валок учун

$$t_{21} = -B_{21} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\cos(\theta_{21} - \gamma)} (E_2 + \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma - \psi_{21} - \xi_2), \quad (27)$$

$$t_{22} = -B_{22} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{\cos(\theta_{22} - \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma - \psi_{22} - \xi_2), \quad (28)$$

бу ерда  $B_{22} = \frac{\sigma_{2\max}}{E_2(1 - \cos(\varphi_{22} - \gamma_2)) + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)}$ .

Контакт кучланишларининг ҳар бир валок эгри чизиғи бўйлаб тақсимот характерини таҳлил қилишда бу эгри чизиқда ёғувчи икки нукта алоҳида аҳамиятга эга. Биринчи  $\varphi_{16}$  нуктада нормал кучланиш максимумга тенг бўлади, яъни у нормал кучланишнинг максимум нуктаси бўлади. Иккинчи  $\varphi_{15}$  нуктада уринма кучланиш нолга тенг бўлади, яъни у нейтрал нукта бўлади.

Улар қуйидаги кўринишга эга:

– қуйи валок учун

$$\varphi_{16} = \frac{\mu_1 \omega_1 \varphi_{11}^2}{E_1(\varphi_{11} + \gamma_1)^2}, \quad \varphi_{15} = \frac{\varphi_{11}^2 (1 + k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1))}{(\varphi_{11} + \gamma_1)^2} \cdot \frac{F_1}{Q_1},$$

– узатмали юқори валок учун

$$\varphi_{26} = \frac{\mu_1 \omega_2 \varphi_{21}^2}{E_1(\varphi_{21} - \gamma_1)^2}, \quad \varphi_{25} = \frac{\varphi_{21}^2 (1 + k_{21} \lambda_{21} \cos(\varphi_{21} - \gamma_1))}{(\varphi_{21} - \gamma_1)^2} \cdot \frac{F_2}{Q_2},$$

– узатмасиз юқори валок учун

$$\varphi_{26} = \frac{\mu_1 \omega_2 \varphi_{21}^2}{E_1(\varphi_{21} - \gamma_1)^2}, \quad \varphi_{25} = -\frac{\varphi_{21}^2 (1 + k_{21} \lambda_{21} \cos(\varphi_{21} - \gamma_1))}{(\varphi_{21} - \gamma_1)^2} \cdot \frac{F_2}{Q_2}.$$

Контакт кучланишларининг олинган моделлар ва тақсимот графикаларининг таҳлили асосида қуйидагилар аниқланди:

– нормал кучланишларнинг максимал қиймати ва тақсимот графигининг максимум нуктаси ишлов берилувчи материалнинг марказлар чизиғига оғишининг ҳар хил қийматларида турли қийматлар қабул қилади;

– бошқа параметрларнинг бир хил қийматларида  $m_1 = \frac{\mu}{E}$  катталикнинг ошиши билан нормал ва уринма кучланишларнинг максимал қиймати ўсади;

–  $m_2 = \frac{F}{Q}$  катталик уринма контакт кучланишларининг тақсимотиغا катта таъсир кўрсатади.  $m_2$  қанчалик катта бўлса, узатмали (узатмасиз) валокда нейтрал нукта марказлар чизигидан шунчалик чапда (ўнгда) жойлашади.  $m_2$  нинг ўсиши мусбат уринма кучланишларнинг ошишига олиб келади.

–  $m_2$  катталик нормал кучланишларнинг тақсимотиغا узатмали валокда ҳам узатмасиз валокда ҳам таъсир қилмайди;

– валокнинг ишлов берилувчи материал билан статик ўзаро таъсирида нормал кучланишнинг максимал бурчаги (мос равишда максимал нуктаси) марказлар чизигида ётади.

Олинган ҳисоблаш натижалари ва графиклар кўрсатадики, нормал ва уринма кучланишлар контакт эгри чизиқлари бўйлаб нотекис тақсимланади:

– нормал кучланишлар контакт соҳасининг боши ва охирида нолга тенг бўлади ва марказлар чизигидан чапда ( контакт соҳаси бошига томон) ётувчи нуктада максимумга эришади. Нормал кучланишлар тақсимотининг максимум нуктаси ёки ёпишиш соҳасида ёки орқада қолиб сирпаниш соҳасида ётади ва нейтрал нукта билан устма-уст тушмайди;

– уринма кучланишлар нейтрал нуктада ишорасини ўзгартиради. Бу нукта узатмали валокда контакт эгри чизигининг сиқилиш соҳасида, узатмасиз валокда эса тикланиш соҳасида ётади.

Юқорида келтирилган хулосалар бошқа тадқиқотларда олинган назарий моделларга ва тажрибавий эпюраларга мос келади. Бу факт олинган математик моделларнинг икки валокли модуллардаги контакт кучланишларининг ҳақиқий тақсимот қонунларини етарли даражада ифодалашлигини кўрсатади.

Контакт эгри чизиқлари шаклининг ва контакт кучланишлари тақсимотининг ишлаб чиқилган математик моделлари асосида контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари Кельвин-Фойгт реологик моделлари билан берилганида материал қатининг валлар жуфтлиги билан контактли ўзаро таъсирининг энергиявий куч параметрлари ҳисоблаш учун аналитик ечимлар топилди.

Диссертация ишининг **“Чарм ярим маҳсулотининг валлар жуфтлиги билан ўзаро мулоқатини тадқиқ қилиш”** деб номланган учинчи боби назарий моделларни реал жараёнга қўллашга бағишланган.

Назарий моделларни реал жараёнга қўллаш уларни тажрибавий ва ишлаб чиқариш синашлари орқали баҳолаш билан бирга амалга оширилади. Мисол тариқасида валлар жуфтлигидаги ўзаро таъсир ҳолларидан бири чарм ярим маҳсулотининг сиқилиш валлари билан ўзаро таъсири қаралган.

Олинган назарий математик моделлар валлар жуфтлигидаги контактли ўзаро таъсирнинг асосий параметрларини аниқлаш имконини беради.

Олинган моделлар биринчи навбатда чарм ярим маҳсулотининг хромли ошладан кейинги деформациявий хоссаларига боғлиқ бўлади. Бу хоссаларни фақат тажриба йўли билан аниқлаш мумкин.

Валокли сиқишда қолдиқ намлик чизикли босим (босим жадаллиги) билан эмас, балки солиштира босим билан аниқланади. Солиштира босим чизикли босимнинг валок контакт эгри чизигининг узунлигига нисбати каби топилади. Шу сабабли чарм ярим маҳсулотининг қолдиқ намлигини топишда валок контакт эгри чизиги узунлигининг назарий моделидан ташқари унинг тажрибавий модели керак бўлади.

Шу сабабдан чарм ярим маҳсулоти деформациявий хоссаларининг ва контакт эгри чизиклари узунликларининг тажрибавий моделларини ишлаб чиқиш ўтказиладиган тажриба тадқиқотларининг мақсади бўлди.

Тадқиқотлар объекти сифатида хромли чарм ишлаб чиқариш технологиялари бўйича ишланган хромли ошлаш ва ётқизиш саклашдан кейинги қора мол чарм ярим маҳсулоти олинди.

Тажриба натижаларини энг кичик квадратлар усули билан ишлангандан кейин Кельвин-Фойгт моделларининг қуйидаги ечимлари олинди:

сиқилишда

$$\varepsilon = 0,293a(1 - e^{-0,054t}), \text{ когда } W = 55\%;$$

$$\varepsilon = 0,460a(1 - e^{-0,05t}), \text{ когда } W = 65\%;$$

$$\varepsilon = 0,680a(1 - e^{-0,046t}), \text{ когда } W = 75\%;$$

тикланишда

$$\varepsilon = 0,291be^{-0,007t}, \text{ когда } W = 55\%;$$

$$\varepsilon = 0,457be^{-0,0065t}, \text{ когда } W = 65\%;$$

$$\varepsilon = 0,676b(1 - e^{-0,046t}), \text{ когда } W = 75\%,$$

бу ерда  $a, b$  – чарм ярим маҳсулотининг топографик хусусиятларини характерловчи коэффициентлар.

Априор информация ва назарий тадқиқотлар асосида контакт эгри чизигининг  $L$  узунлиги учта факторни инобатга олган ҳолда ўрганилди:  $Q$  – чизикли босим,  $kH/m$ ;  $D$  – валоклар диаметрлари,  $m$ ;  $V$  – валоклар тезликлари,  $m/s$ .

Қўйилган масалани энг кичик квадратлар усули билан ечиш асосида қуйидаги боғланишлар олинди:

$$L = 0,032Q^{0,221}D^{0,74}V^{-0,09}.$$

Бу боғланиш орқали бажарилган ҳисоблашлар таҳлили, кўрсатдики:

– чизикли босим ортиши билан валок контакт эгри чизигининг узунлиги ўсади ва бирор катталиқка асимптотик яқинлашади;

– бошқа параметрларнинг бир хил қийматларида валок тезлиги ўсиши билан контакт эгри чизигининг узунлиги чизикли камаяди;

– валок тезлигининг ва чизикли босимнинг тайин қийматларида валок радиуси ортиши билан валок контакт эгри чизигининг узунлиги ўсади;

– солиштира босим ортиши билан чарм ярим маҳсулотининг қолдиқ намлиги камаяди ва бирор катталиқка асимптотик яқинлашади.

Чармни сиқиш учун валокли машиналарнинг параметрларини чармни сиқишнинг асосий экстремал масаласини ечишга, яъни техник топшириқда талаб қилинган қолдиқ намлик катталигини таъминловчи чарм ярим маҳсулотини сиқиш учун валокли машиналар параметрларини аниқлаш масаласини ечишга асосланган методикаси ишлаб чиқилди.

Чармнинг қолдиқ намлигини  $W_p = 57\%$  га етказиш учун валокли сиқиш машинаси қуйидаги асосий параметрга эга бўлишлиги кераклиги асосланди:

Параметрлар	Параметрлар қийматлари
Ишчи йўл кенглиги, мм	1800
Валлар тезликлари, м/с	0,18
Валлар диаметрлари (ўрамаси билан), м	0,220
Электродвигател қуввати, кВт (шестерняли узатма учун)	3,84
Босим жадаллиги, кН/м	36

Бу методикада чарм ярим маҳсулотини сиқиш учун валокли машиналар параметрларини ҳисоблаш солиштирма босимни ҳисобга олган ҳолда бажарилди. Бу уларнинг кўрсаткичларини асосланмаган орттириш ва камайтиришлардан халос қилиш, шунингдек чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш параметрларини илмий асосланган ҳолда шакллантириш имконини беради ва ишлаб чиқаришда бўлган валокли сиқиш машиналарини такомиллаштиришнинг янги имкониятларини очади.

## ХУЛОСАЛАР

“Ясси материалларга механик ишлов бериш жараёнларини такомиллаштириш учун валлар жуфтлигининг ўзаро таъсири тадқиқи” мавзусидаги фан доктори диссертацияси (PhD) бўйича олиб борилган изланишлар асосида қуйидаги хулосалар қилинган:

1. Умумлашган икки валокли модулдаги геометрик шартларнинг таҳлили асосида турғун жараёнда контакт бурчаклари катталикларини ҳисоблаш ва уларни баҳолашнинг ифодалари ушбу ҳоллар учун олинди: икки валокли модулда ҳар иккала валок узатмали; икки валокли модулда юқори валок узатмасиз ва қуйи валок узатмали.

2. Олинган боғланишлар боғланишлар бўйича бурчаклар ҳисоби натижалари қуйидагиларни кўрсатди:

– юқори вал радиуси ўсиши билан материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги ва турғун жараёндаги контакт бурчаклари қуйи валда ўсади, юқори валда эса камаяди;

– материал қатининг марказлар чизигига оғиш бурчаги камайиши билан материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги ва турғун жараёндаги контакт бурчаклари куйи валда камаяди, юқори валда эса ўсади;

– материал қатининг валлар билан дастлабки уринишидаги контакт бурчаклари йиғиндиси ва турғун жараёндаги камров бурчакларининг йиғиндиси материал қатининг марказлар чизигига нисбатан оғишига ва валларнинг вертикалга нисбатан оғишига боғлиқ бўлмайди.

3. Контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари реологик моделлар билан берилганида умумлашган икки валокли модулда контакт эгри чизиклари шаклининг моделлари топилди. Олинган моделлар билан контактлашаётган жисмларнинг деформациявий хоссалари эмпирик формулалар билан берилганида олинган моделлар билан қиёсий таҳлили кўрсатдики, улар бир хил кўринишга эга.

4. Контакт эгри чизикларининг ҳамда сирпаниш ва ёпишиш соҳаларининг узунликларини ҳисоблаш учун формулалар топилди. Бу формулалар билан ҳисоблашлар таҳлили кўрсатадики:

– материал қатининг марказлар чизигига оғиш бурчаги ўсиши билан сирпаниш соҳалари асимптотик камаяди;

– валлар радиуслари ва ташқи кучларнинг  $Oy$  ўқиға проекциялари ўсиши сирпаниш соҳаларининг ўсишига ва ёпишиш соҳаларининг камайишига олиб келади;

– ташқи кучларнинг  $Ox$  ўқиға проекциялари камайиши сирпаниш соҳаларининг ўсишига ва ёпишиш соҳаларининг камайишига олиб келади.

5. Контакт кучланишларининг контакт эгри чизиклари бўйлаб тақсимот қонунлари топилди. Улар асосида қурилган контакт кучланишларининг графиклари таҳлили асосида аниқландики:

– нормал кучланишлар контакт соҳасининг боши ва охирида нолға тенг бўлади ва марказлар чизигидан чапда ( контакт соҳаси бошиға томон) ётувчи нуқтада максимумга эришади. Нормал кучланишлар тақсимотининг максимум нуқтаси ёки ёпишиш соҳасида ёки орқада қолиб сирпаниш соҳасида ётади ва нейтрал нуқта билан устма-уст тушмайди;

– уринма кучланишлар нейтрал нуқтада ишорасини ўзгартиради. Бу нуқта узатмали валокда контакт эгри чизигининг сиқилиш соҳасида, узатмасиз валокда эса тикланиш соҳасида ётади.

6. Контакт эгри чизиклари шаклининг ва контакт кучланишлари тақсимотининг олинган моделлари асосида умумлашган икки валокли модулнинг энергиявий куч параметрлари ҳисоблаш учун аналитик ечимлар топилди.

7. Таҷриба тадқиқотлари асосида ушбу моделлар ишлаб чиқилди:

– чарм ярим маҳсулотининг хромли ошлашдан кейинги сиқилиш ва кенгайишдаги деформациявий хоссалари Кельвин-Фойгт реологик моделлари кўринишида;

– валоклар контакт эгри чизикларининг узунликлари чизikli босим, валарнинг диаметрлари ва тезликларининг даражали функциялари кўпайтмаси кўринишида.

8. Тажрибавий тадқиқотлар билан асосланди:

– чизikli босим ортиши билан валок контакт эгри чизигининг узунлиги ўсади ва бирор катталиқка асимптотик яқинлашади, масалан,  $V = 10m/c$  тезликда:  $R = 50mm$  бўлганида  $29mm$  катталиқка яқинлашади;  $R = 100mm$  да –  $48mm$ ;  $R = 150mm$  да –  $65mm$ ;

– бошқа параметрларнинг бир хил қийматларида валок тезлиги ўсиши билан контакт эгри чизигининг узунлиги чизikli камаяди;

– валок тезлигининг ва чизikli босимнинг тайин қийматларида валок радиуси ортиши билан валок контакт эгри чизигининг узунлиги ўсади;

– солиштирма босим ортиши билан чарм ярим маҳсулотининг қолдиқ намлиги камаяди ва бирор катталиқка асимптотик яқинлашади (масалан,  $V = 18m/c$ ,  $R = 220mm$  да  $W = 57\%$ )

9. Босимнинг характеристикаси сифатида солиштирма босимдан фойдаланадиган чарм ярим маҳсулотини валокли сиқишнинг оптимал параметрларини ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилди. У чарм ярим маҳсулотини валокли сиқиш параметрларини илмий асосланган ҳолда шакллантириш имконини беради ва ишлаб чиқаришда бўлган валокли сиқиш машиналарини такомиллаштиришнинг янги имкониятларин очади.

Бунда, валлар тезлигининг  $V = 19m/c$  дан  $V = 18m/c$  гача камайтирилиши сиқиш жараёнида чарм ярим маҳсулотида букилиш ва ғижимланишларнинг камайишига ва натижада моншон сарфининг камайишига (5% гача) ва тайёр чарм юзасининг ошишига (2% гача), қолдиқ намликнинг 57% гача туширилиши тайёр чармнинг нави ошишига олиб келади. Босим жадаллиги ва электродвигатель қувватининг ошиши энектр энергиясининг сезиларсиз даражада ошишига олиб келади.

Чарм ярим маҳсулотини валокли сиқишнинг оптимал параметрларини ҳисоблаш методикасининг ишлаб чиқаришга жорий қилишдан кутилаётган иқтисодий самарадорлик битта машина учун бир йилга 20168 минг сўмни ташкил қилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.12.2019.Т.66.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАМАНГАНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**КУРБАНОВА ФИРУЗА ЗАРИПОВНА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
В ВАЛКОВЫХ ПАРАХ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**05.02.03 – Технологические машины. Роботы, мехатроника  
и робототехнические системы**

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

**Наманган – 2021**

Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2019.1.PhD/T1010.

Диссертация выполнена в Ташкентском архитектурно-строительном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.nammti.uz](http://www.nammti.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич  
кандидат технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:** Джуряев Анвар Джуряевич  
Доктор технических наук, профессор  
Хожиматов Расулжан Салиевич  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** Андижанский институт машиностроения

Защита диссертации состоится «08» января 2022 года в 11<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.T.66.01 при Наманганском инженерно-технологическом институте по адресу: 160115, г. Наманган, ул. Касансайская-7, Административное здание Наманганского инженерно-технологического института, 1-этаж, малый зал совещаний, тел: (69) 228-76-68, факс: (69) 228-76-75, e-mail: [niei\\_info@edu.uz](mailto:niei_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Наманганского инженерно-технологического института (зарегистрирована за №435). Адрес: 160115., г. Наманган, ул. Касансайская-7, тел. (69) 228-76-68

Автореферат диссертации разослан «27» декабря 2021 года  
(протокол реестра № 59 от «27» декабря 2021 года).



**Р.Муратов**

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

**Х.Т.Бобожанов**

Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, доктор технических наук, доцент

**К.М. Холиков**

Председатель научного семинара при научном совете по  
присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Кожа и изделия из кожи являются одними из самых широко производимых и продаваемых товаров в мире. Они производятся из возобновляемых и легкодоступных источников. В настоящее время объем торговли кожевенной промышленности превышает 80 миллиардов долларов США в год, и ожидается, что он будет расти за счет роста населения и урбанизации стран<sup>1</sup>. Одним из наиболее экономичных и универсальных видов машин, используемых в мире, во многих отраслях промышленности при выполнении различных технологических процессов, являются валковые машины. Технологические процессы в валковых машинах осуществляются в результате контактного взаимодействия обрабатываемого материала с парами валков. Поэтому в совершенствовании действующие валковые оборудования и существующей технологии, реализуемые в них, а также в создании новых и интегрированных технологических процессов и оборудовании для их реализации важное значение имеют исследования и решения задач теории контактного взаимодействия в валковых парах, а также использование ресурсосберегающих и автоматизированных технологий.

Многообразие функциональных назначений машин, различие, предъявляемых к их параметрам требований и неоднородность свойств обрабатываемого материала обусловили появление в мире большого количества работ, посвященных к решению задач теории контактного взаимодействия в валковых парах. Однако основная часть этих работ была выполнена двадцать и более лет тому назад и к настоящему времени в определенной мере устарела. Кроме того, многие математические модели, разработанные в них, имеют недостаточную точность и ограниченную область применения. Вместе с тем, их дальнейшее развитие и совершенствование с учетом тех новых знаний по теории контактного взаимодействия, а также о технологических процессах и валковых оборудовании, полученные в последние годы, представляется не только актуальным, но и целесообразным.

В связи с многообразием функциональных назначений машин, различием, предъявляемых к их параметрам требований и неоднородностью свойств обрабатываемого материала в мире ведется многие работы по решению задач теории контактного взаимодействия в валковых парах и по обоснованию технологических параметров валковых машин. Однако многие математические модели, разработанные в них, имеют недостаточную точность и ограниченную область применения. Их дальнейшее развитие и совершенствование с учетом тех новых знаний по теории контактного взаимодействия, а также о технологических процессах и валковых оборудовании, полученные в последние годы, представляется не только актуальным, но и целесообразным.

---

<sup>1</sup> <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/leather-industry>

В нашей республике принимаются масштабные меры по интенсивному развитию фундаментальным и практическим исследованиям для разработки конструкций новых типов ресурсосберегающих валковых машин и новых технологий для производства конкурентоспособной и высококачественной продукции. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 намечены такие задачи как «...повышение конкурентоспособности национальной экономики, ... сокращение потребления энергии и ресурсов в экономике, широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство»<sup>1</sup>. Для выполнения этих приоритетов, одной из важных задач является совершенствование технологических процессов с учетом свойств обрабатываемого материала, в том числе кожевенного полуфабриката после хромового дубления, и создание для их реализации высокопроизводительных, ресурсосберегающих валковых технологических машин.

Данное диссертационное исследование в определенной степени послужит реализации задач, поставленных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № УП-5544 от 21 сентября 2018 года «О Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2019-2021 годы», № УП-2552 от 23 февраля 2000 года «О совершенствовании системы управления кожевенно-обувной отраслью экономики республики» и Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4982 от 8 февраля 2021 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию кожевенно-обувной и пушно-меховой отраслей» и других нормативных правовых актах в этой области.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развитие науки и техники Республики Узбекистан II. «Энергетика, энергия и энергосбережение».

**Степень изученности проблемы.** С исследованиями и решениями основных задач теории контактного взаимодействия в валковых парах занимались зарубежные исследователи J.J. Мунтон, С. Аленка, А. Мурильо-Моррадан, П.П. Гудур, В. Алекса, С.А. Ратиу, М. Салими, М.А. Толча, Л.Ф. Насименто, Ш. Чен, Х. Тан, Г. Цзоу, Х. Фенд, Р. Пернис и другие.

Теоретическому исследованию контактных напряжений в валковых парах машин металлургической, текстильной и легкой промышленности посвящены работы А.И. Целикова, А.А. Королева, А.В. Третьякова, Г.К. Кузнецова, Ю.Г. Фомина, А.Г. Бурмистрова, Б.А. Кояйдарова и других.

В нашей Республике к исследованию посвященные контактному взаимодействию кожполуфабриката с отжимными валками и на их основе созданию новых типов валковых машин для отжима кожполуфабриката и разработку методов расчета их рациональных параметров выполнены

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Г. А. Бахадировым, Т. Ю. Амановым, Ш. Р. Хуррамовым, Г.Н.Цой, А. Абдукаримовым, и другими.

Несмотря на наличие обширного материала по изучению контактных задач в валковых парах, теоретические основы решения задачи контактного взаимодействия в валковых парах еще разработаны недостаточно. Не разработаны математические модели контактных линий валков и напряжений трения, связывающие касательных и нормальных контактных напряжений.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ института механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз. БВ-М-Ф4-001 «Исследование задач гидродинамики и машиноведения на основе математического моделирования и разработки новых методов решения» (2017–2020).

**Целью исследования** является совершенствования процессов механической обработки материалов валковыми машинами на основе исследования контактного взаимодействия в валковых парах.

**Задачи исследования:**

определение и оценка углов контакта в асимметричных валковых парах; моделирование формы контактных линий и закономерностей распределения нормальных и касательных контактных напряжений;

определение аналитических выражений для расчета параметров и показателей контактного взаимодействия в валковых парах;

разработать по результатам теоретических и экспериментальных исследований методику расчета оптимальных параметров валкового отжима кожполуфабриката.

**Объект исследования** –валковые пары машин легкой промышленности, в том числе валкового отжима кожполуфабриката.

**Предмет исследования** – теория контактных задач в валковых парах и методы расчета параметров валковых технологических машин.

**Методы исследований.** В диссертации применены методы теории контактного взаимодействия, математического моделирования, теории проектирования машин легкой промышленности, математического анализа, математической статистики и планирования эксперимента.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

определены аналитические выражения углов контакта в асимметричных валковых парах;

разработаны математические модели контактных линий и закономерностей распределения контактных напряжений в валковых парах, когда деформационные свойства контактирующихся тел заданы реологическими моделями;

найлены аналитические решения для расчета геометрических и кинематических показателей контактных линий валков и энергосиловых

параметров валковых пар, когда деформационные свойства контактирующихся тел заданы реологическими моделями;

разработаны экспериментальные математические модели деформационных свойств кожполуфабриката, длины контактных линий и остаточной влажности кожполуфабриката, позволяющие оптимизацию параметров валкового отжима кожполуфабриката;

разработана методика расчета оптимальных параметров валкового отжима кожполуфабриката, в котором в качестве характеристики давления используется удельное давление.

**Практический результат исследования** состоит:

в разработке методики по расчету оптимальных параметров валкового отжима кожполуфабриката;

в определении деформационных свойств кожполуфабриката после хромового дубления, позволяющие раскрыть сущность явления контактного взаимодействия кожполуфабриката с парами валков;

в установлении ряда закономерностей, позволяющих повысить эффективность работы валковых машин;

**Достоверность полученных результатов** определяется проведенными исследованиями с применением современных методов теории контактного взаимодействия и проектирования машин легкой и текстильной промышленности, совпадением результатов, полученных с научными подходами и анализами с теоретическими данными специалистов ведущих центров мира, их публикацией в ведущих научных изданиях.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость проведенных исследований заключается впервые полученным математическим моделям формы контактных линий валков и закономерностей распределения контактных напряжений, когда деформационные свойства контактирующихся тел заданы реологическими моделями, которые вносят большой вклад в развитии теории контактного взаимодействия в валковых парах.

Практическая ценность работы заключается: в разработке методике по расчету параметров валкового отжима кожполуфабриката, позволяющая определить и оценить рациональных параметров и режимов работы валковых отжимных машин кожевенной промышленности; в получении эмпирических выражений, описывающие деформационные свойства кожполуфабриката, имеющие практические значения в раскрытии сущности явления контактного взаимодействия.

**Внедрение результатов исследования.** На основе оптимизации параметров и обосновании режимов работы процессов механической обработки материалов валковыми машинами в производстве кожевенных изделий:

внедрены на кожевенных предприятиях ассоциации «УЗЧАРМСАНОАТ», в том числе ООО «QARSHI LEATHER», ООО «ULKAN-LAZIZ» и ООО «OSIYO CHARM FAYZ» (справка № ФБ-7/2651 ассоциации «УЗЧАРМСАНОАТ» от 12.10.2021г.) полученные на

основе проведенных исследований по контактному взаимодействию в валковых парах и совершенствованию параметров валкового отжима кожполуфабриката теоретические результаты процесса валкового отжима кожполуфабриката, расчетные формулы для определения эффективности валкового отжима и методика расчета оптимальных параметров валкового отжима кожполуфабриката;

в результате созданы возможности получения экономической эффективности на основе совершенствования технологических процессов на производстве натуральной кожи на кожевенных предприятиях.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования апробированы на 8 международных конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации, в том числе в журналах, входящих в базу Scopus –6.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## **ОСНОВНЫЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, изложены цели и задачи исследования, представлены объект и предмет исследования, приведено соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, изложена их научная и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследований в производство, апробации работы, опубликованность результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертационной работы **«Современные представления о контактном взаимодействии слоя материала с парами валков»** освещены современное состояние исследований по решению задач теории контактного взаимодействия в валковых парах и рассмотрены вопросы функциональной структуре и характера взаимодействия слоя материала с парами валков. Обоснована необходимость исследований по этим вопросам и отражены направления совершенствования процессов механической обработки материалов валковыми машинами.

Основной задачей теории контактного взаимодействия в валковых парах является моделирование распределения нормальных и касательных контактных напряжений. При этом основными факторами являются модели напряжений трения, учитывающие влияние трения в зоне контакта валков и связывающие касательных и нормальных напряжений, модели формы

контактных линий, учитывающие податливости контактирующих тел, аналитические выражения контактных углов, определяющие граничных условий контактных задач.

Анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день отсутствуют общепринятые модели углов начального контакта, углов захвата и выхода в установившемся процессе в асимметричных двухвалковых модулях, аналитические уравнения, отражающие формы контактных линий при взаимодействии слоя материала с парами валков и корректных моделей напряжений трения.

Отсутствие моделей контактных углов, формы контактных линий и напряжений трения не позволяет получить в валковых парах теоретических кривых распределения контактных напряжений, соответствующие с экспериментальными эпюрами. Исходя из этого, в расчетах энергосиловых параметров двухвалковых модулей приходилось использовать неточные формулы.

Вторая глава диссертации под названием **«Моделирование контактного взаимодействия слоя материала с парами валков»** посвящена к теоретическому исследованию задач контактного взаимодействия в валковых парах.

Исследования задач контактного взаимодействия в валковых парах выполнены в обобщенном двухвалковом модуле, представленной на рис. 1. В этом модуле валки расположены относительно вертикали наклоном справа под углом  $\beta$ , имеют неравные диаметры ( $D_1 \neq D_2$ ) и эластичные покрытия из материалов с различными жесткостями и коэффициентами трения ( $f_1 \neq f_2$ ). Слой материала имеет равномерную толщину  $\delta_1$  и подан наклоном вниз относительно линии центров (линия, соединяющая центры вращения валков) под углом  $\gamma_1$ , расстояния между валками равна  $h$ .

Величины углов контакта валковых пар в первую очередь зависят от способа передачи движения валкам. Валковые пары по способу передачи движения валкам можно делить на приводные, имеющие механизм передачи и свободные, получающие

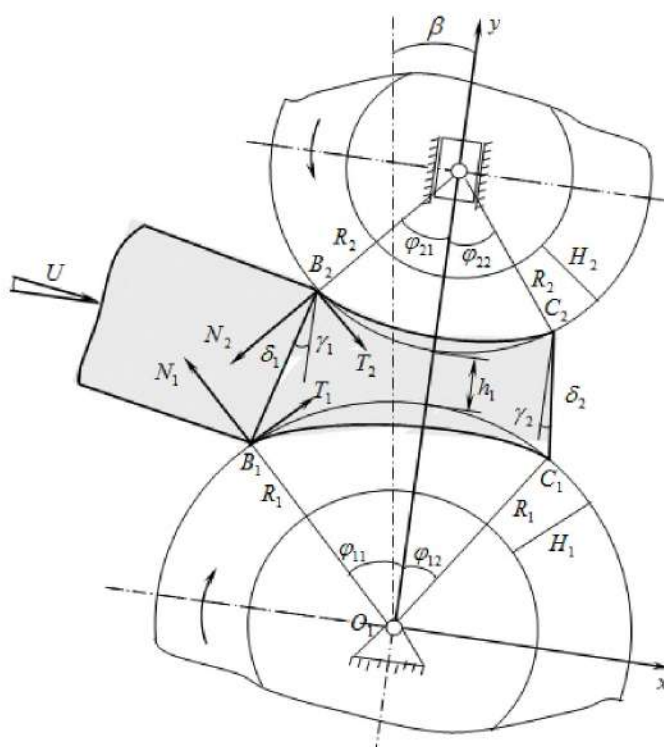


Рис. 1. Схема взаимодействия слоя материала с парами валков

движение за счет сил трения, возникающих на поверхности контакта валков.

В результате теоретического анализа геометрических условий в обобщенном двухвалковом модуле с двумя приводными валками найдены следующие выражения для углов контакта:

– углы контакта в начальный момент касания слоя материала с валками

$$\alpha_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_1 + \nu_2) + \delta_1 \gamma_1), \quad \alpha_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(\nu_1 + \nu_2) - \delta_1 \gamma_1), \quad (1)$$

где  $\nu_1$  и  $\nu_2$  – углы трения нижнего и верхнего валков по слою материала в начальный момент касания слоя материала с валками;

– углы захвата и выхода в установившемся процессе

$$\varphi_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2(\nu_1 + \nu_2) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} + \delta_1 \gamma_1 \right), \quad \varphi_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1(\nu_1 + \nu_2) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} - \delta_1 \gamma_1 \right); \quad (2)$$

$$\varphi_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_{12} + \nu_{22}) + \delta_2 \gamma_2), \quad \varphi_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(\nu_{12} + \nu_{22}) - \delta_2 \gamma_2). \quad (3)$$

Результаты расчетов углов, по зависимостям (1) - (3), показал следующие:

– с возрастанием радиуса верхнего валка углы контакта в начальный момент касания слоя материала и захвата в установившемся процессе нижнего валка увеличивается, а верхнего валка уменьшается;

– с уменьшением угла наклона обрабатываемого материала к линии центров углы контакта в начальный момент касания слоя материала и захвата в установившемся процессе нижнего валка уменьшается, а верхнего валка увеличивается;

– сумма углов контакта в начальный момент касания слоя материала и сумма углов захвата в установившемся процессе в валковых парах не зависят от наклона подачи слоя материала к линии центров и от наклона верхнего валка относительно вертикали.

Получены также углы контакта обобщенного двухвалкового модуля с одним (нижним) приводным валком:

$$\alpha_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_2} \right) + \delta_1 \gamma_1 \right), \quad \alpha_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_1} \right) - \delta_1 \gamma_1 \right),$$

где  $\nu_1$  – угол трения нижнего валка по слою материала в начальный момент касания слоя материала с валками;  $r_{\text{ш}}$  – радиус шейки свободного валка;  $\nu_{\text{ш}}$  – угол трения в шейке свободного валка;

– углы захвата и выхода в установившемся процессе

$$\varphi_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2 \left( \nu_1 - \nu_{\text{ш}} \frac{r_{\text{ш}}}{R_2} \right) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} + \delta_1 \gamma_1 \right),$$

$$\varphi_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1 \left( v_1 - v_w \frac{r_w}{R_2} \right) \sqrt{\frac{\delta_1 - h_1}{\delta_1 - h}} - \delta_1 \gamma_1 \right),$$

$$\varphi_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_2 \left( v_{12} - v_w \frac{r_w}{R_2} \right) + \delta_2 \gamma_1 \right), \quad \varphi_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2} \left( R_1 \left( v_{12} - v_w \frac{r_w}{R_2} \right) - \delta_2 \gamma_1 \right).$$

Одной из основных задач теории контактного взаимодействия в валковых парах является аналитическое описание формы контактных линий валков.

Рассмотрена задача моделирования контактных линий валков в случае, когда деформирования контактирующих тел заданы реологическими моделями Кельвина – Фойгта:

$$\sigma_{ij} = E_{ij} \varepsilon_{ij} + \mu_{ij} \frac{d\varepsilon_{ij}}{dt}, \quad \sigma_{ij}^* = E_j \varepsilon_{ij}^* + \mu_j \frac{d\varepsilon_{ij}^*}{dt},$$

где  $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, E_{ij}, \mu_{ij}$  – напряжения, деформация, модули упругости и коэффициент вязкости покрытия  $i$ -го валка при сжатии ( $j=1$ ) и восстановлении ( $j=2$ ),  $\sigma_{ij}^*, \varepsilon_{ij}^*, E_j, \mu_j$  – напряжения, деформация, модули упругости и коэффициент вязкости слоя материала при сжатии ( $j=1$ ) и восстановлении ( $j=2$ ).

Принята гипотеза теории качения колеса, где соотношение скоростей относительной деформации контактирующих тел считают постоянным и получены математические модели формы контактных линий валков:

для нижнего валка

$$\begin{cases} r_{11} = \frac{R_1}{1+k_{11}\lambda_{11}} \left( 1+k_{11}\lambda_{11} \frac{\cos(\varphi_{11}+\gamma_1)}{\cos(\theta_{11}+\gamma)} \right), & -(\varphi_{11}+\gamma_1) \leq \theta_{11}+\gamma \leq 0, \quad \gamma = \frac{\gamma_1 \theta_{11}}{\varphi_{11}}, \\ r_{12} = \frac{R_1}{1+k_{12}\lambda_{12}} \left( 1+k_{12}\lambda_{12} \frac{\cos(\varphi_{12}+\gamma_2)}{\cos(\theta_{12}+\gamma)} \right), & 0 \leq \theta_{12}+\gamma \leq \varphi_{12}+\gamma_2, \quad \gamma = \frac{\gamma_2 \theta_{12}}{\varphi_{12}}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $k_{11} = \frac{H_1 \sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}{\delta_1 \sin \varphi_{21}}$ ,  $k_{12} = \frac{H_1 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{22})}{\delta_2 \sin \varphi_{22}}$ ;  $\lambda_{11}, \lambda_{12}$  – соотношение

скоростей относительных деформаций покрытия нижнего валка и слоя материала при сжатии и восстановлении, соответственно.

для верхнего валка

$$\begin{cases} r_{21} = \frac{R_2}{1+k_{21}\lambda_{21}} \left( 1+k_{21}\lambda_{21} \frac{\cos(\varphi_{21}-\gamma_1)}{\cos(\theta_{21}-\gamma)} \right), & -(\varphi_{21}-\gamma_1) \leq \theta_{21}-\gamma \leq 0, \quad \gamma = \frac{\gamma_1 \theta_{21}}{\varphi_{21}}, \\ r_{22} = \frac{R_2}{1+k_{22}\lambda_{22}} \left( 1+k_{22}\lambda_{22} \frac{\cos(\varphi_{22}-\gamma_2)}{\cos(\theta_{22}-\gamma)} \right), & 0 \leq \theta_{22}-\gamma \leq \varphi_{22}-\gamma_2, \quad \gamma = \frac{\gamma_2 \theta_{22}}{\varphi_{22}}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $k_{21} = \frac{H_2 \sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}{\delta_1 \sin(\varphi_{11} + \gamma_1)}$ ,  $k_{22} = \frac{H_2 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{22})}{\delta_2 \sin(\varphi_{12} + \gamma_2)}$ ,  $\lambda_{21}, \lambda_{22}$  – соотношение

скоростей относительных деформаций покрытия верхнего валка и слоя материала при сжатии и восстановлении, соответственно.



Анализируя условия контактного взаимодействия контактирующих тел в зоне контакта валков, найдены выражения для определения величины соотношения скоростей покрытия  $i$ -го валка и слоя материала при сжатии ( $j = 1$ ) и восстановлении ( $j = 2$ ), в виде

$$\lambda_{ij} = \frac{E_j (\Delta l_{ij})_{cp} + \mu_j \left( \frac{dl_{ij}}{dt} \right)_{cp}}{E_{ij} (\Delta l_{ij})_{cp} + \mu_{ij} \left( \frac{dl_{ij}}{dt} \right)_{cp}}, \quad (6)$$

где  $(\Delta l_{ij})_{cp} = R_i \cdot \left( 1 - \frac{\sin 2(\varphi_{ij} \pm \gamma_j)}{2(\varphi_{ij} \pm \gamma_j)} \right)$ ,  $\left( \frac{dl_{ij}}{dt} \right)_{cp} = \frac{R_i \omega_i}{\varphi_{ij} + \gamma_j} (1 - \cos(\varphi_{ij} + \gamma_j))$ ,

здесь знак минус относится к верхнему валку, то есть  $i = 2$ .

Анализ частных вид системы уравнений (4) и (5) и соответствующие частных случаев взаимодействия валков с обрабатываемым материалом, показал, что полученные математические модели описывают всех частных случаев взаимодействия обрабатываемого материала с парами валков в в двухвалковых модулях.

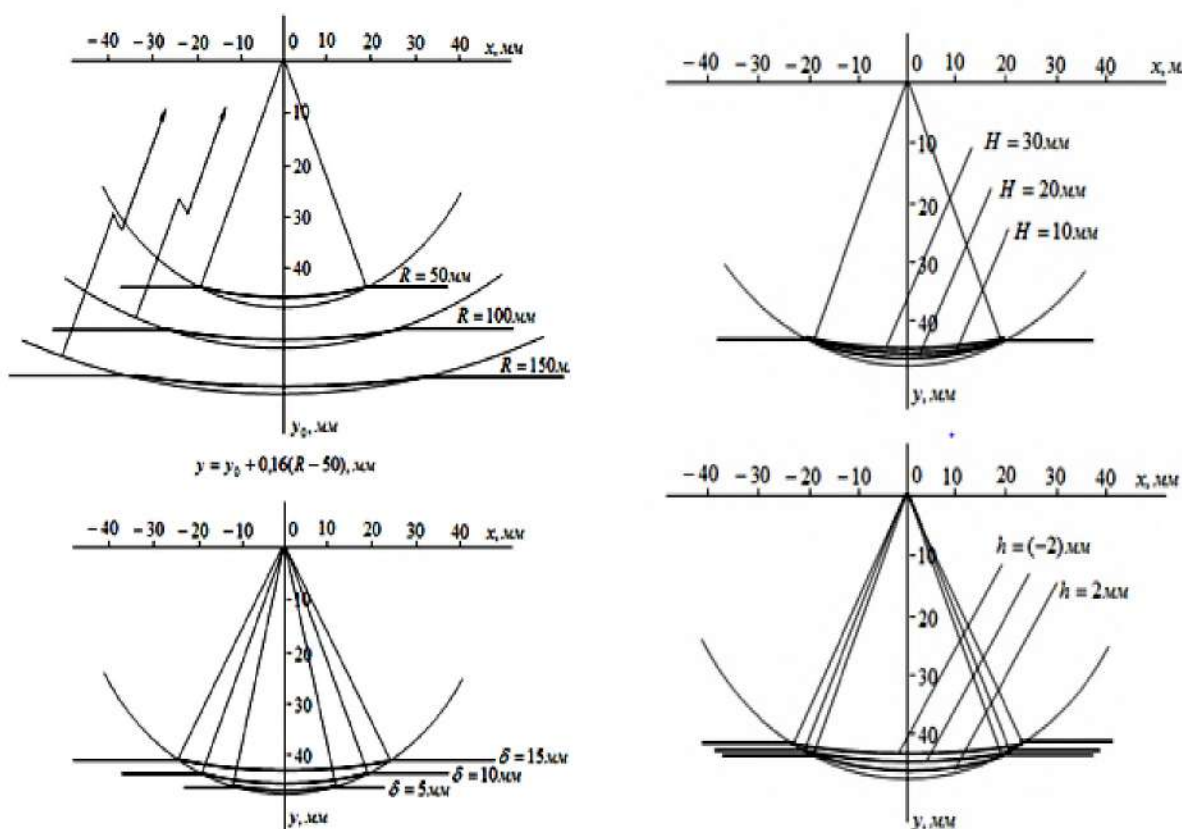


Рис. 2. Характеры влияния факторов на формы контактной линии валка

Для наглядного представления о характере влияния факторов на формы контактной линии валка на рис. 2 приведены их графики при различных изменяющихся параметрах.

Полученные системы уравнений (4) и (5) описывают формы контактных линий валков в обобщенном двухвалковом модуле, в случае, когда деформационные свойства контактирующих тел заданы реологическими моделями Кельвина - Фойгта. Сравнительный анализ системы уравнений (4) и (5) с математическими моделями, полученные для случая, когда деформация контактирующих тел заданы эмпирическими формулами, показал, что они имеют идентичный вид. Исходя из этого, можно сказать, что формы контактных линий при взаимодействии слоя материала с парами валков, не зависят от способов задания деформационных свойств контактирующих тел.

Используя полученные в системах (4) и (5) уравнения контактных линий валков найдены выражения для расчета длины контактных линий валков:

– длина нижнего валка

$$l_1 = \frac{R_1}{3(1+k_{11}\lambda_{11})} \sin(\varphi_{11} + \gamma_1)(3(1+k_{11}\lambda_{11}) + \sin^2(\varphi_{11} + \gamma_1)) + \frac{R_1}{3(1+k_{12}\lambda_{12})} \sin(\varphi_{12} + \gamma_1)(3(1+k_{12}\lambda_{12}) + \sin^2(\varphi_{12} + \gamma_2)); \quad (7)$$

– длина верхнего валка

$$l_2 = \frac{R_2}{3(1+k_{21}\lambda_{21})} \sin(\varphi_{21} - \gamma_1)(3(1+k_{21}\lambda_{21}) + \sin^2(\varphi_{21} - \gamma_1)) + \frac{R_1}{3(1+k_{22}\lambda_{22})} \sin(\varphi_{22} - \gamma_1)(3(1+k_{22}\lambda_{22}) + \sin^2(\varphi_{12} - \gamma_2)). \quad (8)$$

В теории контактного взаимодействия в валковых парах принято, в общем случае на контактных линиях валков имеются три разные по кинематике зоны – скольжения отставания, прилипания и скольжения опережения.

Считаем, что контактной линии нижнего валка имеются зоны скольжения отставания, прилипания и скольжения опережения. Зона прилипания состоит из двух участков, где участок находится на участке сжатия, а участок восстановления.

Используя полученные в системах (4) и (5) уравнения контактных линий валков найдены выражения для расчета величины длины скольжения отставания, прилипания и скольжения опережения, а также углов, разделяющие зоны прилипания от зон скольжения:

– для нижнего валка

$$S_{\text{отст}} = \left( \frac{R_1(1+k_{11}\lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1))}{1+k_{11}\lambda_{11}} - \frac{v_m}{\omega_1} \right) \left( \frac{\varphi_{11} + \gamma_1}{\varphi_{11}} \right) \frac{(\varphi_{11} - \varphi_{15})}{2}, \quad (9)$$

$$S_{\text{он}} = \left( \frac{R_2(1+k_{12}\lambda_{12} \cos(\varphi_{12} + \gamma_2))}{1+k_{12}\lambda_{12}} - \frac{v_m}{\omega_1} \right) \left( \frac{\varphi_{12} + \gamma_2}{\varphi_{12}} \right) \frac{(\varphi_{12} - \varphi_{15})}{2}, \quad (10)$$

$$l_{\text{им}} = l_1 - (S_{\text{отст}} + S_{\text{он}}), \quad (11)$$

$$\zeta_{11} = \left( 1 - \frac{v_m(1+k_{11}\lambda_{11})}{\omega_1 R_1(1+k_{11}\lambda_{11}\cos(\varphi_{11}+\gamma_1))} \right) \frac{(\varphi_{11}-\varphi_{15})}{2}, \quad (12)$$

$$\zeta_{21} = \left( 1 - \frac{v_m(1+k_{12}\lambda_{12})}{\omega_1 R_1(1+k_{12}\lambda_{12}\cos(\varphi_{12}+\gamma_2))} \right) \frac{(\varphi_{12}-\varphi_{15})}{2}, \quad (13)$$

где  $\varphi_{15}$  – нейтральный угол нижнего валка;

– для нижнего валка

$$S_{2отк} = \left( \frac{R_2(1+k_{21}\lambda_{21}\cos(\varphi_{21}-\gamma_1))}{1+k_{21}\lambda_{21}} - \frac{v_m}{\omega_2} \right) \left( \frac{\varphi_{21}-\gamma_1}{\varphi_{21}} \right) \frac{(\varphi_{21}-\varphi_{25})}{2}, \quad (14)$$

$$S_{2он} = \left( \frac{R_2(1+k_{22}\lambda_{22}\cos(\varphi_{22}-\gamma_2))}{1+k_{22}\lambda_{22}} - \frac{v_m}{\omega_2} \right) \left( \frac{\varphi_{22}-\gamma_2}{\varphi_{22}} \right) \frac{(\varphi_{22}-\varphi_{25})}{2}, \quad (15)$$

$$l_{2ин} = l_2 - (S_{2отк} + S_{2он}), \quad (16)$$

$$\zeta_{21} = \left( 1 - \frac{v_m(1+k_{21}\lambda_{21})}{\omega_2 R_2(1+k_{21}\lambda_{21}\cos(\varphi_{21}-\gamma_2))} \right) \frac{(\varphi_{21}-\varphi_{25})}{2}, \quad (17)$$

$$\zeta_{22} = \left( 1 - \frac{v_m(1+k_{22}\lambda_{22})}{\omega_2 R_2(1+k_{22}\lambda_{22}\cos(\varphi_{22}-\gamma_2))} \right) \frac{(\varphi_{22}-\varphi_{25})}{2}, \quad (18)$$

где  $\varphi_{25}$  – нейтральный угол верхнего валка.

Анализ расчетов по этим формулам показал:

– зоны скольжения асимптотически уменьшается до нуля с увеличением угла наклона материала к линии центров;

– увеличение радиусов валков и проекции внешних сил на ось  $Oy$  приводит к увеличению зоны скольжения и уменьшению зоны прилипания;

– уменьшение проекции внешних сил на ось  $Ox$  приводит к увеличению зоны скольжения и уменьшению зоны прилипания.

Центральной задачей теории контактного взаимодействия слоя материала с парами валков является математическое моделирование закономерностей распределения нормальных и касательных напряжений по контактными линиям валков. В решении этой задачи основными факторами являются модели напряжений трения, связывающие касательные и нормальные напряжения, а также модели формы контактных линий валков.

Используя для математических моделей напряжений трения, разработанной Ш.Р.Хуррамовым, а также математические модели формы контактных линий валков, определяющие системами уравнений (4) и (5), найдены закономерности распределения контактных напряжений:

– для нижнего валка

$$n_{11} = B_{11} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{11} + \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)} (E_1 + \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma)) \right), \quad (19)$$

$$t_{11} = B_{11} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{11} + \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)} (E_1 + \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma - \psi_{11} + \xi_1), \quad (20)$$

где  $B_{11} = \frac{\sigma_{1\max}}{E_1(1 - \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)) - \mu_1 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{11} + \gamma_1)}$ ;

$$n_{12} = B_{12} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{\cos(\theta_{12} + \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{12} + \gamma)) \right), \quad (21)$$

$$t_{12} = B_{12} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{\cos(\theta_{12} + \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\theta_{12} + \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{12} + \gamma - \psi_{12} + \xi_1), \quad (22)$$

где  $B_{12} = \frac{\sigma_{1\max}}{E_2(1 - \cos(\varphi_{12} + \gamma_2)) + \mu_2 \omega_1 \operatorname{tg}(\varphi_{12} + \gamma_2)}$ ;  $\xi_2 = \operatorname{arctg} \frac{F_2}{Q_2}$ ;

– для верхнего приводного валка

$$n_{21} = B_{21} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\cos(\theta_{21} - \gamma)} (E_2 + \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma)) \right), \quad (23)$$

$$t_{21} = B_{21} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\cos(\theta_{21} - \gamma)} (E_2 + \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma - \psi_{21} + \xi_2), \quad (24)$$

где  $B_{21} = \frac{\sigma_{2\max}}{E_1(1 - \cos(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)}$ ;

$$n_{22} = B_{22} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{\cos(\theta_{22} - \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma)) \right), \quad (25)$$

$$t_{22} = B_{22} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{\cos(\theta_{22} - \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma - \psi_{22} + \xi_2), \quad (26)$$

где  $B_{22} = \frac{\sigma_{2\max}}{E_2(1 - \cos(\varphi_{22} - \gamma_2)) + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)}$ ;  $\xi_2 = \operatorname{arctg} \frac{F_2}{Q_2}$ ;

– для верхнего свободного валка

$$t_{21} = -B_{21} \left( (E_1 - \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{21} - \gamma_1)) - \frac{\cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\cos(\theta_{21} - \gamma)} (E_2 + \mu_1 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma)) \right) \times \\ \times \operatorname{tg}(\theta_{21} - \gamma - \psi_{21} - \xi_2), \quad (27)$$

$$t_{22} = -B_{22} \left( (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)) - \frac{\cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{\cos(\theta_{22} - \gamma)} (E_2 + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma)) \right) \times \operatorname{tg}(\theta_{22} - \gamma - \psi_{22} - \xi_2), \quad (28)$$

где  $B_{22} = \frac{\sigma_{2\max}}{E_2(1 - \cos(\varphi_{22} - \gamma_2)) + \mu_2 \omega_2 \operatorname{tg}(\varphi_{22} - \gamma_2)}$ .

Для анализа характера распределения контактных напряжений по контактной линии вала особые значения имеют две точки, лежащие на этой кривой. Первая – точка  $\varphi_{16}$ , в которой нормальная напряжения равна максимуму, то есть точка максимума нормального напряжения. Вторая – точка  $\varphi_{15}$ , в которой касательная напряжения равна нулю, то есть нейтральная точка.

Они имеют вид:

– для нижнего вала

$$\varphi_{16} = \frac{\mu_1 \omega_1 \varphi_{11}^2}{E_1(\varphi_{11} + \gamma_1)^2}, \quad \varphi_{15} = \frac{\varphi_{11}^2 (1 + k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1))}{(\varphi_{11} + \gamma_1)^2} \cdot \frac{F_1}{Q_1},$$

– для верхнего приводного вала

$$\varphi_{26} = \frac{\mu_1 \omega_2 \varphi_{21}^2}{E_1(\varphi_{21} - \gamma_1)^2}, \quad \varphi_{25} = \frac{\varphi_{21}^2 (1 + k_{21} \lambda_{21} \cos(\varphi_{21} - \gamma_1))}{(\varphi_{21} - \gamma_1)^2} \cdot \frac{F_2}{Q_2},$$

– для верхнего свободного вала

$$\varphi_{26} = \frac{\mu_1 \omega_2 \varphi_{21}^2}{E_1(\varphi_{21} - \gamma_1)^2}, \quad \varphi_{25} = -\frac{\varphi_{21}^2 (1 + k_{21} \lambda_{21} \cos(\varphi_{21} - \gamma_1))}{(\varphi_{21} - \gamma_1)^2} \cdot \frac{F_2}{Q_2}.$$

На основе анализа расчетов полученным моделям и графиков эпюр распределения контактных напряжений выявлены:

– максимальное значение нормальных напряжений и точка их максимума распределения, при различных значениях угла наклона обрабатываемого материала относительно линии центров, имеет различные значения;

– с увеличением величины  $m_1 = \frac{\mu}{E}$  при прочих одинаковых параметрах максимальное значение нормального и касательного напряжения растут;

– величина  $m_2 = \frac{F}{Q}$  оказывает значительное влияние на эпюру распределения касательных напряжений. Чем больше  $m_2$ , тем левее (правее) в приводном (свободном) валке от линии центров нейтральная точка. Увеличение  $m_2$  приводит к увеличению положительных касательных напряжений;

– величина  $m_2$  не влияет на эпюры распределения нормальных напряжений, как в приводном, так и в свободном валке;

– при статическом взаимодействии вала с обрабатываемым материалом угол максимума (соответственно точка максимума) нормального напряжения находится на линии центров.

Полученные расчетные данные и графики свидетельствуют о том, что нормальные и касательные контактные напряжения по линиям контакта валков распределяются неравномерно:

– нормальные напряжения в начале и в конце зоны контакта валков равны нулю и достигают максимума в точке, лежащей влево от линии центров (в сторону начало зоны контакта валков). Точка максимума эпюр нормальных контактных напряжений всегда находится или в зоне прилипания или в зоне отставания и не совпадает с нейтральной точкой.

– касательные напряжения меняют свои знаки в нейтральной точке, которая в приводном валке находится в зоне сжатия кривого контакта вала, а в свободном – в зоне восстановления.

Перечисленные выше выводы вполне согласуются с теоретическими моделями и с экспериментальными эпюрами, полученные в других исследованиях. Этот факт свидетельствуют о том, что полученные математические модели достаточной степени отражают действительные законы распределения контактных напряжений в двухвалковых модулях.

На основе разработанных математических моделей формы кривых контакта валков и распределения контактных напряжений найдены аналитические решения для расчета энергосиловых параметров контактного взаимодействия слоя материала с парами валков, когда деформационные свойства контактирующих тел заданы реологическими моделями Келвина - Фойгта.

Третья глава диссертации под названием **«Исследования взаимодействия кожполуфабриката с парами валков»** посвящена к реализации теоретических моделей в реальный процесс.

Реализация теоретических моделей в реальный процесс сопровождаются их оценкой экспериментальными и производственными испытаниями. В качестве примера взято одной из случаев взаимодействия в валковых парах – взаимодействия кожполуфабриката с отжимными валками.

Полученные теоретические математические модели позволяют определить основные параметры контактного взаимодействия в валковых парах. Полученные модели в первую очередь зависят от деформационного свойства кожполуфабриката после хромового дубления, которого можно установить только экспериментальным путем.

Остаточная влажность при валковом отжиге определяются не линейным давлением (интенсивности нагрузки), а удельным давлением, которая определяется как отношение линейного давления к длине контактной линии вала. Поэтому для определения остаточной влажности кожполуфабриката необходимо кроме теоретической модели длины контактных линий и ее экспериментальная модель.

В связи с этим разработка экспериментальных моделей деформационных свойств кожполуфабриката и длины контактных линий являются целью проводимых экспериментальных исследований.

Объектом исследования служил кожполуфабрикат крупного рогатого скота, обработанной по технологии производства хромовых кож, после хромового дубления и пролежки.

После обработки опытных данных методом наименьших квадратов, получены следующие решения моделей Кельвина – Фойгта:

в сжатии

$$\varepsilon = 0,293a(1 - e^{-0,054t}), \text{ когда } W = 55\%;$$

$$\varepsilon = 0,460a(1 - e^{-0,05t}), \text{ когда } W = 65\%;$$

$$\varepsilon = 0,680a(1 - e^{-0,046t}), \text{ когда } W = 75\%;$$

в восстановлении

$$\varepsilon = 0,291be^{-0,007t}, \text{ когда } W = 55\%;$$

$$\varepsilon = 0,457be^{-0,0065t}, \text{ когда } W = 65\%;$$

$$\varepsilon = 0,676b(1 - e^{-0,046t}), \text{ когда } W = 75\%,$$

где  $a, b$  – коэффициенты, характеризующие топографические особенности кожполуфабриката.

На основе теоретического анализа и априорной информации длина контактной линии  $L$  изучен с учетом трех факторов:  $Q$  – интенсивности нагрузки,  $kH/m$ ;  $D$  – диаметры валков,  $m$ ;  $V$  – скорости валков  $m/c$ .

В результате решения поставленной задачи методом наименьших квадратов получены следующие зависимости

$$L = 0,032Q^{0,221}D^{0,74}V^{-0,09}.$$

Анализ расчетов, выполненные по этой зависимости, показал:

– с ростом интенсивности нагрузки длина контактной линии валка увеличивается, и асимптотически приближается к некоторой величине;

– при прочих постоянных параметрах длина контактной линии валка линейно уменьшается с увеличением скорости валка;

– при определенных значениях скорости валка и интенсивности нагрузки длина контактной линии валка с увеличением радиуса валка линейно увеличивается;

– с ростом удельного давления остаточная влажность кожполуфабриката уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине.

Разработана методика расчета параметров валковых машин для отжима кожи, основанная к решению основной экстремальной задачи валкового отжима кожи, то есть задачу определения параметров валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката, обеспечивающая величину остаточной влажности, требуемой в техническом задании.

Установлено, что для достижения остаточной влажности кожи  $W_p = 57\%$ , валковая проходная отжимная машина должна иметь следующие основные параметры:

Параметры	Величина параметров
Ширина рабочего прохода, мм	1800
Скорость валков, м/с	0,18
Диаметры валков (с покрытием), м	0,220
Мощность электродвигателя, кВт (для шестеренчатой передачи)	3,84
Интенсивности нагрузки, кН/м	36

Расчеты параметров валковых машин для отжима кожполуфабриката по данной методике выполнены с учетом удельного давления. Это позволяет избежать необоснованных завышение или занижение их показателей, а также научно - обоснованно формировать параметров валкового отжима кожполуфабриката, и открывает новые возможности совершенствовании имеющихся в эксплуатации валковых отжимных машин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему «Исследование контактного взаимодействия в валковых парах для совершенствования процессов механической обработки листовых материалов» представлены следующие выводы:

1. На основе анализа геометрических условий в обобщенном двухвалковом модуле, получены выражения для расчета величины углов контакта в установившемся процессе и условия для оценки этих углов в случаях: когда в двухвалковом модуле оба валка приводные; когда в двухвалковом модуле верхний валок свободный, а нижний – приводной.

2. Результаты расчетов углов по полученным зависимостям, показал:

- с возрастанием радиуса верхнего валка углы контакта в начальный момент касания слоя материала и захвата в установившемся процессе нижнего валка увеличивается, а верхнего валка уменьшается;

- с уменьшением угла подачи слоя материала к линии центров углы контакта в начальный момент касания слоя материала и захвата в установившемся процессе нижнего валка уменьшается, а верхнего валка увеличивается;

- сумма углов контакта в начальный момент касания слоя материала и сумма углов захвата в установившемся процессе в валковых парах не



зависят от наклона подачи слоя материала к линии центров и от наклона верхнего валка относительно вертикали.

3. Найдены модели формы контактных линий в обобщенном двухвалковом модуле, когда деформация контактирующих тел заданы реологическими моделями. Сравнительный анализ полученных моделей с моделями, полученные для случая, когда деформация контактирующихся тел заданы эмпирическими формулами, показал, что они имеют идентичный вид.

4. Получены формулы для расчета длины контактных линий, а также протяженности зон скольжения и прилипания. Анализ расчетов по этим формулам показал:

- зоны скольжения асимптотически уменьшается до нуля с увеличением угла наклона материала к линии центров;

- увеличение радиусов валков и проекции внешних сил на ось  $Oy$  приводит к увеличению зоны скольжения и уменьшению зоны прилипания;

- уменьшение проекции внешних сил на ось  $Ox$  приводит к увеличению зоны скольжения и уменьшению зоны прилипания.

5. Найдены модели закономерностей распределения контактных напряжений по контактным линиям валков. На основе анализа графиков контактных напряжений, построенное по ним выявлено, что:

- нормальные напряжения в начале и в конце зоны контакта валков равны нулю и достигает максимума в точке, лежащей влево от линии центров (в сторону начало зоны контакта валков);

- касательные напряжения меняют свои знаки в нейтральной точке, которая в приводном валке находится в зоне сжатия кривого контакта валка, а в свободном – в зоне восстановления.

6. С применением полученных моделей формы контактных линий и закономерностей распределения контактных напряжений получены аналитические решения для расчета энергосиловых параметров обобщенного двухвалкового модуля.

7. На основе экспериментальных исследований разработаны модели:

- деформационных свойств кожполуфабриката после хромового дубления при сжатии и восстановлении в виде реологических моделей Кельвина-Фойгта;

- длины контактных линий валков в виде произведения степенных функций от интенсивности нагрузки, диаметров и скоростей валков.

8. Экспериментальным исследованием установлено:

- с ростом интенсивности нагрузки длина контактной линии валка увеличивается, и асимптотически приближается к некоторой величине, например, при скорости валка  $v = 0,10$  м/с: когда  $R = 50$  мм она приближается к величине 29 мм; когда  $R = 100$  мм – 48 мм; когда  $R = 150$  мм – 65 мм;

- при прочих постоянных параметрах длина контактной линии валка линейно уменьшается с увеличением скорости валка;

– при определенных значениях скорости валка и интенсивности нагрузки длина контактной линии валка с увеличением радиуса валка линейно увеличивается;

– с ростом удельного давления остаточная влажность кожполуфабриката уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине (например, при значениях  $R = 0,22$  м  $v = 0,18$  м/с к величине  $W = 57\%$ ).

9. Разработана методика расчета оптимальных параметров валкового отжима кожполуфабриката, в котором в качестве характеристики давления используется удельное давление. Она позволяет научно - обоснованно формировать параметров валкового отжима кожполуфабриката и открывает новые возможности совершенствования имеющихся в эксплуатации валковых отжимных машин.

При этом: уменьшение скорости валков с 0,19 м/с до 0,18 м/с, приводит к уменьшению замин и морщинов в процессе отжима в кожполуфабрикаты, что приводит к уменьшению расхода моншона в процессе (0,5%), а также к увеличению полезной площади 2%; снижение остаточной влажности кожполуфабриката до 57% приводит к увеличению сортности готовой кожи; увеличение интенсивности нагрузки и мощности электродвигателя приводит к незначительной увеличению затрат электроэнергии.

Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения в производство методика расчета параметров валкового отжима кожполуфабриката составляет 20168 тыс. сумов в год на одну машину.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.12.2019.T.66.01 AWARDED  
SCIENTIFIC DEGREES AT NAMANGAN INSTITUTE OF  
ENGINEERING AND TECHNOLOGY**

---

**TASHKENT INSTITUTE OF ARCHITECTURE AND CIVIL  
ENGINEERING**

**KURBANOVA FIRUZA ZARIPOVNA**

**RESEARCH OF CONTACT INTERACTION IN ROLLER  
PAIRS FOR IMPROVING THE PROCESSES OF  
MECHANICAL TREATMENT OF SHEET MATERIALS**

**05.02.03 –Technological machines. Robots, mechatronic and robotics systems**

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

**Namangan - 2021**

The theme of doctoral dissertation (Doctor of Philosophy) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2019.1.PhD/T1010.

The dissertation was prepared in the Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.namnti.uz](http://www.namnti.uz) and at informational and educational portal "Ziyonet" at address [www.zivonet.uz](http://www.zivonet.uz).

**Scientific adviser:** **Khurramov Shavkat**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Official opponents:** **Djuray Anvar**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Khojimatov Rasuljon**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Leading organization:** **Andijan Institute of Mechanical Engineering**

The defense of the dissertation will be held at 11<sup>00</sup> on «08» January 2022 year at the scientific council meeting No. PhD.03/30.12.2019.T.66.01 at the Namangan institute of engineering and technology (at the address: 160100, Namangan city, Kasansay Str. 7, administrative building, small conference hall, tel: (+99869) 228-76-68, 225-10-07, a fax: (+99869) 228-76-75, e-mail: [niei\\_nfo@edi.uz](mailto:niei_nfo@edi.uz)).

The dissertation is available at the Information-resource center of the Namangan institute of engineering and technology (registration number 435).

Address: 160100, Namangan city, Kasansay Str. 7 tel: (+99869) 228-76-68; Fax: (+99869)228-76-68, e-mail: [niei\\_nfo@edi.uz](mailto:niei_nfo@edi.uz)).

The abstract from the thesis is distributed «27» December 2021.  
(Mailing protocol No.59 on December «27», 2021).



**R.M. Muradov**  
Chairman of the scientific council for awarding of scientific degree, doctor of technical sciences, professor

**Kh. Bobojanov**  
Scientific secretary of scientific council awarding scientific degree, doctor of technical sciences, docent

**K. Khalikov**  
Chairman of the scientific seminar under the scientific council awarding scientific degree, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of Ph.D. dissertation)

**The aim of the study** is to improve the processes of mechanical treatment of materials by roller machines using scientifically grounded methods for optimizing their parameters, based on the study of contact interaction in roller pairs.

**The objects of the study** are roller pairs of machines for pressing leather.

**The subject of research** is the theory of contact problems in roller pairs and methods for calculating the parameters of roller technological machines.

**Research methods.** The dissertation considers the methods of the theory of contact interaction, mathematical modeling, and the theory of designing machines for light industry, mathematical analysis, mathematical statistics, and experiment planning.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

analytical expressions for angles of contact and conditions for their evaluation in asymmetric roller pairs were derived;

mathematical models of contact lines and the distribution patterns of contact stresses in roller pairs were developed, when the deformation properties of contacting bodies were set by rheological models;

analytical solutions were built for calculating the geometric and kinematic indices of the contact lines of the rollers and the energy-power parameters of the roller pairs, when the deformation properties of contacting bodies were set by rheological models;

experimental mathematical models of deformation properties of semi-finished leather products, the lengths of contact lines and residual moisture content in semi-finished leather products were developed, which allowed optimization of the parameters of roller pressing of semi-finished leather.

**The practical results of the study** consist:

in the development of a methodology for calculating the optimal parameters of the roller pressing of semi-finished leather products;

in determining the deformation properties of a semi-finished leather product after chrome tanning, allowing to reveal the essence of the phenomenon of contact interaction of a semi-finished leather product with roller pairs;

in the establishment of a number of patterns that improve the efficiency of the roller machines.

**Implementation of research results.** Based on the research obtained on contact interaction in roller pairs and the improvement of the parameters of roller pressing of semi-finished leather products:

theoretical results of the process of roller pressing of semi-finished leather, calculation formulas for determining the efficiency of roller pressing and the method of calculating the optimal parameters of roller pressing of semi-finished leather were introduced at the tanneries of the "UZCHARMSANOAT" Association, including LLC "QARSHI LEATHER", LLC "ULKAN-LAZOIZ" and LLC "CHARM FAYZ". As a result, opportunities were created for improving technological processes in genuine leather production at tanneries.

**Approbation of research results.** The results of this study were presented at 8 international conferences.

**Publication of research results.** 11 scientific articles were published on the topic of the dissertation, in journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of the dissertation, 6 of them were published in journals from the Scopus database.

**The structure and volume 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 120 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Бахадиров Г.А., Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Предельные углы захвата в двухвалковых модулях с одним приводным валком// Вестник Каракалпакского отделения АН РУз. – Нукус, 2019. – № 1(254). – С. 8 – 13. (05.00.00; №19).
2. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Особенности геометрических условий в двухвалковых модулях с одним приводным валком// Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2019. – №2 (23). – С.52–56. (05.00.00; №20).
3. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Исследование геометрических условий в двухвалковых модулях// Научно-технический журнал ФерПИ. – Фергана, 2019. – №3 (23). – С. 50–55. (05.00.00; №20).
4. Khurramov Sh.R, Khalturaev F.S., Kurbanova F.Z. Deformation and Filtration Characteristics of a Leather Semi-Finished Product. Cyber-Physical Systems: Design and Application for Industry 4.0. Studies in Systems, Decision and Control, vol 342. Springer, pp. 227-239. (Scopus).
5. Khurramov Sh. R, Abdukarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Moduling of firection forces in an asymmetric two-roll module// “ModTech 2020, IOP Conf. Series: Materials Seince and Engineering- Iace, Romania, 916 (2020) 012051 (02.00.00; №1 (Scopus)).
6. Khurramov Sh. R., Abdukarimov A., Khalturaev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling the Shape of the Roll Contact Curves in Two-Roll Modules// ICEMP 2021, Journal of Physics: Conference Series. - Istambul, Turkey, 2021. –1789 (2021) 012008 (Scopus).
7. Khurramov Sh. R., and Kurbanova F.Z. Distribution of contact voltages in asymmetric two-roll module// ICECAE 2020, IOP Conf. Series Earth and Environmental Science – Tashkent, 2020. –614 (2020) 012098. (02.00.00; №1 (Scopus)).
8. Kurbanova F.Z., Buriev E.S., Rasulev A. Analysis of forced gripping of material in a two-roll module// ICMSIT-II 2021, Journal of Physics: Conference Series. -Sankt Peturburg, Russia, 2021. –1889 (2021) 042032. (02.00.00; №1 (Scopus)).
9. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Теоретический анализ условий захвата в асимметричном двухвалковом модуле // Известия высших учебных заведений, Серия «технология текстильной промышленности» – Иванова, 2021. – №4 (394). – С. 159–163(Scopus).

## II бўлим (II часть; II part)

10. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З., Мусиров М.У. К решению некоторых контактных задач двухвалковых модулей// Вестник Тамбовского ГТУ. – Тамбов, 2019. – №3 (25). – С. 486–497.

11. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З., Мусиров М.У. Математические модели кривых контактов двухвалковых модулей// Вестник Технологического университета. – Казан, 2019. – №12 (22). – С. 102–106.

12. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З., Мусиров М.У. К вопросу о контактном взаимодействии в двухвалковых модулях// Сборник трудов XXXII международной конференции «Математические методы в технике и технологиях» – Санкт-Петербург, 2019. Том 9. – С. 78–83.

13. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З., Мусиров М.У. Форма кривых контакта в двухвалковых модулях// Сборник трудов международной XXXII конференции «Математические методы в технике и технологиях» – Санкт-Петербург, 2019. Том 9. – С. 84–87.

14. Хуррамов Ш.Р., Бахадиров Г.А., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Исследование контактного взаимодействия в двухвалковых модулях// Сборник трудов. XII Всероссийской съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики – Уфа, 2019. Том 3. – С. 1010–1012.

15. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Математические модели характера деформации кожевенного полуфабриката// Сборник трудов международной XXXIII конференции «Математические методы в технике и технологиях» – Санкт-Петербург, 2020. Том 6. – С. 64–67.

16. Хуррамов Ш.Р., Халтураев Ф.С., Курбанова Ф.З. Моделирование фильтрационных свойств кожевенного полуфабриката// Сборник трудов международной XXXIII конференции «Математические методы в технике и технологиях» – Санкт-Петербург, 2020. Том 7. – С. 7–10.

17. Хуррамов Ш.Р., Курбанова Ф.З., Аннаев Н.У. Распределение нормальных напряжений в асимметричном двухвалковом модуле// Сборник трудов международной XXXIV конференции «Математические методы в технике и технологиях» – Санкт-Петербург, 2021. Том 2. – С. 19–22.

18. Sh.Hurramov, G.Bahadirov, A.Abdukarimov and F.Kurbanova. Mathematical modeling of contact interactions in essential non-symmetrical two-roll module// Book of Abstracts. The 7<sup>th</sup> International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering. ModTech. – Romania, 2020. – p. 146.

19. Sh.Hurramov, F.Halturayev and F.Kurbanova. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module// Book of Abstracts. The 8<sup>th</sup> International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering. ModTech. – Romania, 2020. – p. 210.

20. G.Bahadirov, Sh.Hurramov, A.Abdukarimov, F.Halturayev and F.Kurbanova. Mathematical modeling process of rolling water spin // Book of Abstracts. The 8<sup>th</sup> International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering. ModTech. – Romania, 2020. – p. 183.



21. G.Bahadirov, Sh.Hurramov, A.Abdukarimov, F.Halturayev and F.Kurbanova. To solving contact tasks in the two-rolling module // Book of Abstracts. The 8<sup>th</sup> International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering. ModTech. – Romania, 2020. – p. 65.

22. Курбанова Ф.З. Исследование характера деформации кожевного полуфабриката // Международная научно-практическая конференция по теме: «Современные проблемы инновационного развития науки, образования и производства» – Андижон, 2020, С.237-242.





Автореферат «Наманган муҳандислик-технология институти илмий –техника  
журнали» таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги мантлари  
мослиги текширилди (24.12.2021й)

Босишга руҳсат этилди 24.12.2021 й.  
Бичими 60X84 1/16, “Times New Roman”  
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 3. Адади: 100. Буюртма: № 53  
НамМТИ босмаҳонасида чоп этилди  
Наманган шаҳри, кўча, 7-уй