

На правах рукописи



**Харина Виктория Анатольевна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ХОДОВОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ПОДОШВ И ПОВЫШЕНИЕ АНТИСКОЛЬЗЯЩИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ОБУВИ**

**Специальность 05.19.05 –  
«Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных  
изделий»**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Новосибирск – 2022**

Работа выполнена в Новосибирском технологическом институте (филиале) Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) на кафедре Технологии и конструирования изделий из кожи и упаковочного производства

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии и конструирования изделий из кожи и упаковочного производства Новосибирского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»  
**Карбанов Петр Степанович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Конструирования, технологий и дизайна Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области  
**Прохоров Владимир Тимофеевич**  
кандидат технических наук, ведущий модельер-конструктор АО «РАЛЬФ Рингер», г. Москва  
**Рощупкина Дарья Вячеславовна**

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург

Защита состоится «28» июня 2022г. в 12.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.144.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им А.Н. Косыгина») по адресу: 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им А.Н. Косыгина» и на официальном сайте вуза <https://kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета Д 212.144.01



Мезенцева Т.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** Безопасность обуви определяется главным образом отсутствием в материалах и ее конструкции веществ и элементов, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на стопу или организм человека. Наряду с этим безопасность при ходьбе в значительной степени зависит от фрикционных свойств деталей изделий – их способности противостоять скольжению.

Для обеспечения противоскользких характеристик обуви разработаны многочисленные съемные и встраиваемые в подошву устройства и приспособления. Многие из них, особенно содержащие острые шипы, доказали свою эффективность при ходьбе по скользкой опорной поверхности. Однако они не нашли широкого практического применения из-за необходимости их одевания-снятия или «включения-отключения», а также из-за усложнения конструкции обуви. Более практичным направлением следует считать разработку антискользкого рельефа ходовой поверхности подошв. Такие подошвы не требуют от носчика дополнительных манипуляций перед переходом на обледенелую поверхность или при входе в помещение.

При реализации этого направления разработаны многочисленные виды антискользкого рельефа подошв, но анализ геометрических параметров элементов рельефа и их компоновки на ходовой поверхности подошв приводит к выводу об отсутствии системного подхода к проектированию рельефа. Кроме того, недостаточно данных о взаимодействии ходовой части подошвы с опорными поверхностями, в особенности, с обледенелыми, а те, что представлены в литературных источниках, количественно различаются. Это обстоятельство объясняется тем, что условия экспериментальных определений сил трения скольжения материалов, проводящихся даже по одной и той же методике, различаются.

В связи с изложенным исследование закономерностей фрикционного взаимодействия элементов рельефа ходовой части подошв с опорной поверхностью и разработка на базе полученных результатов концепции создания антискользкого рельефа формованных подошв является актуальной проблемой, имеющей социальное значение и соответствует основным направлениям совершенствования обуви.

### **Степень научной разработанности проблемы.**

Существенный вклад в решение проблем развития и совершенствования проектирования и технологии производства обуви, методы и средства оценки ее эксплуатационных характеристик внесли Зыбин Ю.П., Фукин В.А., Костылева В.В., Горбачик В.Е., Кочеткова Т.С., Карabanов П.С., Александров С.П. и др.

Диссертационная работа отвечает формуле специальности 05.19.05 - «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий» – «...сложившаяся область науки и техники, включающая в себя изучение и теоретическое обоснование сущности и способов изготовления изделий легкой промышленности, обладающих необходимыми эксплуатационными и эстетическими свойствами».

В части области исследований диссертационная работа соответствует п. 12 «Разработка теоретических основ проектирования обуви, кожгалантереи и других изделий из кожи, в том числе автоматизированного» паспорта научной специальности 05.19.05 – «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно- галантерейных изделий».

**Объект исследования** – конструкции подошв обуви, материалы низа обуви, опорная поверхность.

**Предмет исследования** – свойства материалов подошв, методы и средства оценки их фрикционных свойств, конструкции противоскользящих устройств и приспособлений обуви.

**Цель диссертационной работы** - повышение противоскользящих свойств обуви на основе исследования фрикционных характеристик подошвенных материалов и моделирования фрикционного взаимодействия подошв с опорной поверхностью.

В соответствии с поставленной целью в диссертации:

- проведен анализ:
  - противоскользящих средств обуви;
  - особенностей фрикционного взаимодействия обуви с опорной поверхностью;
  - средств оценки фрикционных свойств подошвенных материалов;
- **разработаны** модели обледенелой опорной поверхности и средств оценки сил трения скольжения;
- **исследовано** влияние плотности подошвенных материалов на их фрикционные свойства;
- исследовано контактное взаимодействие элементов рельефа подошвы с различными видами опорных поверхностей;
- получены расчетные эмпирические соотношения для оценки тормозящих воздействий выступов опорной поверхности на элементы рельефа подошв;
- предложена математическая модель трения скольжения элементов рельефа подошв из материалов различной эластичности по выступам на опорной поверхности;
- проведен анализ требований к рельефу ходовой поверхности подошв и к его разновидности;
- **сформулирована** концепция создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв;
- **разработан** антискользящий рельеф ходовой поверхности подошвы.

**Методы и средства исследования.** В работе использованы теоретические основы трибологии, биомеханики человека, методы математической статистики, технологии и конструирования изделий из кожи. Информационно-теоретической базой диссертации послужили труды отечественных и зарубежных ученых по исследуемой и смежной проблемам, энциклопедическая и справочная литература. Исследования проведены в соответствии с нормативно-технической документацией.

**Научную новизну работы** составляют следующие результаты:

- физическая модель обледенелой опорной поверхности, обеспечивающая определение фрикционных характеристик подошвенных материалов и элементов рельефа подошв с достаточно высокой воспроизводимостью и точностью результатов;
- закономерности влияния эластичных свойств подошвенных материалов на их коэффициент трения скольжения по шероховатой опорной поверхности;
- расчетные эмпирические соотношения для оценки тормозящих воздействий выступов опорной поверхности на элементы рельефа подошв;
- математическая модель трения скольжения элементов рельефа подошв из материалов различной эластичности по опорной поверхности, имеющей выступы разного количества и размеров;
- концепция создания противоскользящей ходовой поверхности подошв, включающая рекомендации по проектированию антискользящих элементов рельефа, их тормозящие характеристики и компоновку элементов на ходовой части подошв.

**Практическую значимость работы составляют:**

- рекомендации для проектирования рельефа ходовой поверхности подошв с повышенными антискользящими характеристиками;
- рельеф ходовой поверхности подошвы, обладающий повышенными антискользящими свойствами (патент № 2695974 РФ, МПК А43С 15/14).

**Теоретическую значимость работы составляют:**

- модели обледенелых опорных поверхностей;
- теоретические положения фрикционного взаимодействия материалов разной плотности с шероховатой опорной поверхностью;
- математическая модель трения скольжения элементов рельефа ходовой поверхности подошв по опорной поверхности с выступами различных размеров;
- концепция создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, базируется на согласованности аналитических и экспериментальных результатов, соответствии выводов диссертации данным, полученным предшественниками, применении современных технических средств исследований, и подтверждена в ходе апробации в научной периодической печати, конференциях, а также на предприятии ООО «Фабрика С-ТЕП».

**На защиту** выносятся следующие научные **положения:**

- зависимость фрикционных характеристик подошвенных материалов от их плотности, которая имеет экстремальный характер с максимумом коэффициента трения скольжения материала по опорной поверхности при плотности материала 450-580 кг/м<sup>3</sup>;

- метод расчета тормозящего воздействия со стороны выступа опорной поверхности, которое определяется размерами выступа и условным модулем упругости подошвенного материала;
- модель фрикционного взаимодействия в системе «подошва-опорная поверхность», которая позволяет установить коэффициент трения скольжения в зависимости от условного модуля упругости подошвенного материала, размера и количества выступов на опорной поверхности;
- концепция разработки рельефа ходовой части подошв, позволяющая проектировать конструкции обуви с высокими антискользящими характеристиками.

**Личный вклад автора.** Автором сформулированы цель и основные задачи исследования, проанализированы различные конструкции подошв с противоскользящими свойствами, разработаны методики, проведены экспериментальные исследования, обработаны и интерпретированы полученные результаты.

**Апробация и реализация результатов работы.** Основные положения и результаты диссертации докладывались и получили положительную оценку на научно-практической конференции в рамках Дня науки НТИ (филиал) РГУ им. А.Н. Косыгина (Новосибирск, 2017г.), международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018)» (Москва, 2018г.), национальной научно-практической конференции «Инновации и современные технологии в индустрии моды» (Новосибирск, 2018г.), II Всероссийской научно-практической конференции (НТИ (филиал) РГУ им. А.Н. Косыгина) (Новосибирск, 2018г.), международной научно-практической конференции «Вестник научных конференций. Наука, образование, общество» (Тамбов, 2019г.), международной научно-практической заочной конференции «Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий» (Москва, 2020г.), III Всероссийской научно-практической конференции «Инновации и современные технологии в индустрии моды» (Саратов, 2020г.). IV Всероссийской научно-практической конференции «Инновации и современные технологии в индустрии моды» (Саратов, 2021г.)

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 15 печатных работах, 4 из которых в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, получен 1 патент на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** По своей структуре диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, списка использованных источников. Работа изложена на 131 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 8 таблиц. Список литературы включает 122 библиографических и электронных источников.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность научных исследований фрикционных характеристик подошвенных материалов и разработки способов повышения антискользящих характеристик обуви, обозначены цели

и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** рассмотрена проблема повышения противоскользящих свойств обуви при хождении по скользким и обледенелым поверхностям, проведен анализ применяемых для этого методов и средств и отмечены недостатки при их практическом применении, отмечены особенности фрикционного взаимодействия обуви с опорной поверхностью, и уточнены цель и задачи диссертационной работы.

Из анализа литературных источников следует, что известные разновидности рельефа ходовой поверхности подошв не удовлетворяют заявляемым характеристикам, что объясняется отсутствием четкой концепции проектирования рельефа и отсутствием расчетных или экспериментальных методов оценки тормозящих воздействий на обувь. В этой связи в первой главе диссертационной работы сформулирован комплексный план проведения исследований для решения поставленных задач.

**Во второй главе** рассмотрены методы и средства оценки фрикционных свойств подошвенных материалов, установлена зависимость коэффициента трения  $f$  от плотности подошвенных материалов при их скольжении по обледенелой опорной поверхности.

Для исследования фрикционных характеристик подошвенных материалов использован метод определения силы трения при заданном нормальном грузе на образец, который регламентирован ГОСТом 12.4.083-80. Исследования проведены на стенде, разработанном на кафедре «Технология и конструирование изделий из кожи и упаковочное производство» НТИ (филиала) РГУ им. А.Н. Косыгина.

Предварительная оценка сил трения скольжения образцов подошвенных материалов по обледенелым поверхностям асфальта, тротуарной плитки и льду показала существенный разброс полученных данных при параллельных измерениях, что недопустимо для решения поставленных в диссертационной работе задач. Детальный анализ условий измерения сил трения скольжения показал, что указанный разброс результатов обусловлен изменением состояния контактируемых поверхностей и трудностями поддержания строго стабильной температуры, что существенно изменяют фрикционные свойства поверхностей.

Для получения стабильных результатов экспериментальных измерений фрикционных характеристик в работе предложена физическая модель обледенелой опорной поверхности. Она представляет собой пластины из политетрафторэтилена (ПТФЭ), что обеспечивает следующие методически важные положения:

- коэффициенты трения скольжения ПТФЭ и льда близки между собой;
- повторные скольжения образцов материалов и возможные колебания температуры при экспериментальных измерениях не влияют на состояние модельной опорной поверхности;

- поверхность пластин из ПТФЭ имеет более регулярную микрошероховатость, чем поверхность льда или обледенелого грунта, что снижает разброс значений измеряемых параметров.

Исследование закономерностей влияния плотности подошвенных материалов на их фрикционные характеристики проводили на примере композиции на основе этиленвинилацетата (ЭВА) и обувной резины на базе каучука СКС-30. Выбор этих материалов обусловлен их широким применением для деталей низа обуви, а также возможностями получения образцов широкого диапазона плотности. Результаты исследования представлены на рисунке 1.

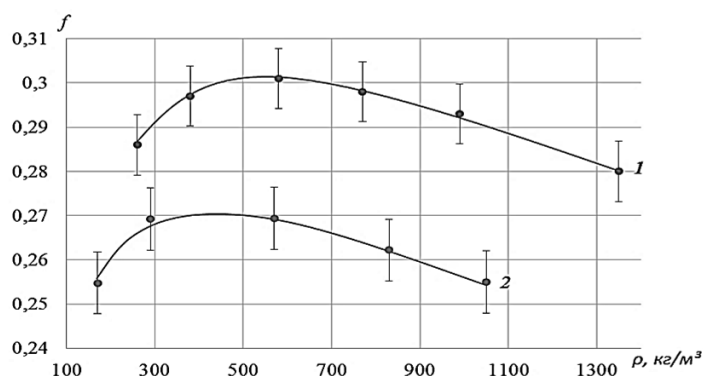


Рисунок 1. Зависимость коэффициента трения от плотности подошвенных материалов из резины (1) и ЭВА (2)

Представленные закономерности можно объяснить с позиций молекулярно-механической теории, согласно которой сила трения скольжения складывается из механической и молекулярной составляющих. Применительно к скольжению эластичных подошвенных материалов по твёрдой поверхности первая составляющая возникает из-за деформации поверхностного слоя материала при контактах с неровностями опорной поверхности, а вторая— вследствие разрушения адгезионной связи в зонах соприкосновения тел.

Замечено, что при прочих равных условиях механическая составляющая силы трения скольжения определяется величиной условного модуля упругости  $E$  подошвенных материалов, а молекулярная – фактической площадью контакта трущихся тел, которую удобно характеризовать введенным нами безразмерным параметром  $\omega$ . При этом очевидно, что с повышением плотности  $\rho$  материалов, параметр  $E$  возрастает, а  $\omega$  наоборот, снижается. Поэтому экстремальный характер зависимостей  $f$  от  $\rho$  объясняется противоположным воздействием на силу трения скольжения модуля упругости материала и фактической площади контакта трущихся тел.

Для подтверждения этого предположения определены зависимости модуля упругости  $E$  подошвенных материалов и параметра  $\omega$  от плотности  $\rho$  образцов. Зависимость параметра  $E$  от плотности  $\rho$  устанавливалась в соответствии с ГОСТ 270-75, при относительном растяжении образцов из ЭВА, равном  $\varepsilon = 100\%$ . На рисунке 2 представлена эта зависимость (кривая



2), из которой следует, что с повышением плотности  $\rho$  материала его условный модуль упругости также возрастает.

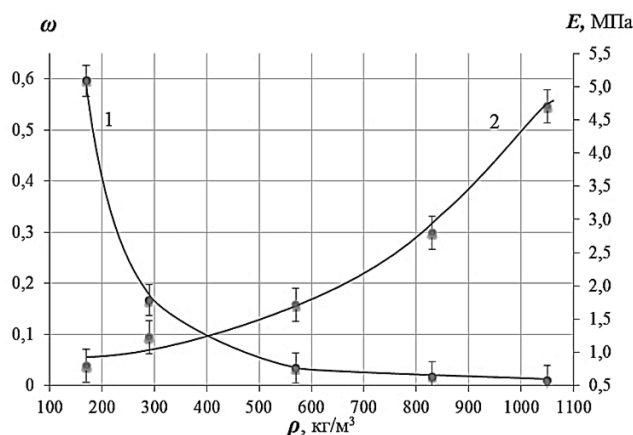


Рисунок 2. Влияние плотности подошвенных материалов на параметр  $\omega$  (кривая 1), и модуль упругости  $E$  (кривая 2)

Параметр  $\omega$ , характеризующий площадь фактического контакта материала с опорной поверхностью, определяли следующим образом. Выступы шероховатой поверхности моделировали полусферами, образованными стальными шариками диаметром от 1,0 до 4,5 мм, которые внедряли на глубину их радиуса в пластины из ПТФЭ. Образцы подошвенных материалов разной плотности устанавливали на отдельно взятую полусферу и прижимали их к поверхности пластин грузом 10 кгс. На рисунке 3 представлена схема контактного взаимодействия подошвенного материала на основе ЭВА с полусферой на опорной поверхности из ПТФЭ.

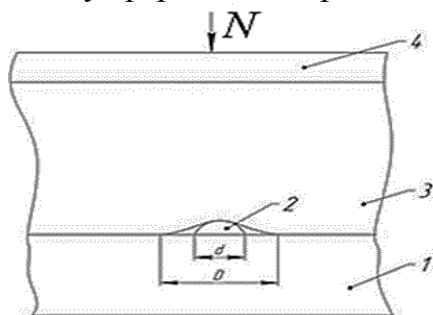


Рисунок 3. Схема деформации подошвенного материала при контакте с полусферой на опорной поверхности: 1 – опорная поверхность из ПТФЭ; 2 - стальной шарик; 3 – подошвенный материал; 4 – металлическая пластина

Из рисунка следует, что вокруг полусферы образуется круговое кольцо, в пределах которого контакт подошвенного материала с опорной поверхностью отсутствует. Обозначив внешний диаметр кольца  $D$ , а внутренний  $d$ , получим

$$\omega = \frac{d^2}{D^2 - d^2} \cdot \quad (1)$$

Этот параметр позволяет характеризовать величину фактического контакта взаимодействующих поверхностей. При этом высокое значение параметра  $\omega$  указывает на большую площадь контакта подошвенного

материала с собственно опорной поверхностью, а при снижении этого параметра площадь контакта снижается.

**В третьей главе** представлены экспериментальные исследования фрикционных взаимодействий элементов рельефа подошв с опорной поверхностью, содержащей как единичный выступ, так и их множество. Предложены расчетные соотношения для оценки возникающих при этом тормозящих воздействий на обувь и представлена модель взаимодействия системы «подошва-опорная поверхность».

Для проведения исследований выступы имитировали стальными шариками диаметром от 1 до 6 мм, углубленных наполовину в пластины из ПТФЭ, поскольку такое приближение наиболее часто применяется при решении различных задач, связанных с необходимостью учета шероховатости поверхности.

С целью выявления характера взаимодействия упругих подошвенных материалов с твердым выступом проводили видеосъемку скольжения образцов подошвенного материала по поверхности с перекатом через имитатор выступа. Полученная картина иллюстрирует общий характер фрикционного взаимодействия эластичного материала с опорной поверхностью при зацепах за выступы и указывает ориентировочное направление составляющей силы трения скольжения, создающей тормозящее воздействие.

Схема экспериментального измерения силы трения скольжения подошвенного материала по поверхности с выступом и типовая диаграмма ее определения представлены на рисунке 4.

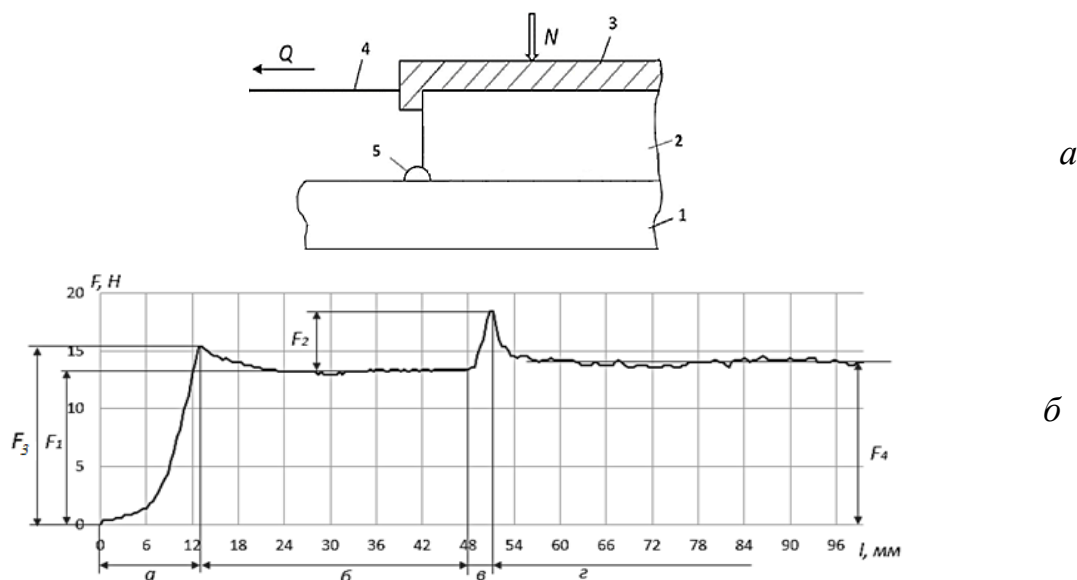


Рисунок 4. Схема экспериментального измерения силы трения скольжения подошвенного материала по поверхности с выступом (а) и типовая диаграмма ее определения (б): 1 – модель опорной поверхности; 2 – образец подошвенного материала; 3– кассета; 4 – трос; 5 – выступ;  $N$  – груз;  $Q$  – тянущее усилие;  $a$  – предварительное смещение образца;  $б$  – скольжение по участку без выступа;  $в$  – контактное взаимодействие с выступом;  $г$  – скольжение по выступу;  $F_1$  – сила трения скольжения по обледенелой поверхности;  $F_2$  – сила торможения;  $F_3$  – сила трения покоя;  $F_4$  – сила трения скольжения по поверхности с выступом

Из представленных иллюстраций следует, что тормозящим усилием, действующим на образец подошвенного материала, является сила  $F_2$ . Ее величина определена экспериментально в зависимости от высоты  $R$  выступа и модуля упругости  $E$  подошвенного материала (рисунок 5).

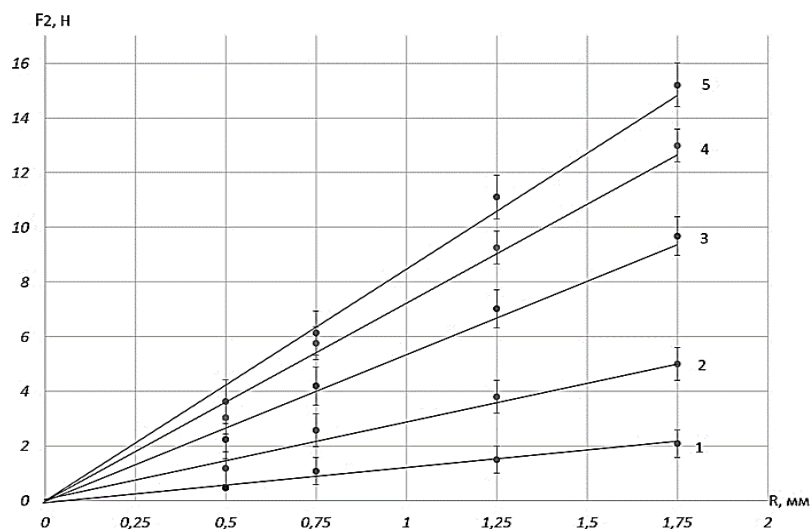


Рисунок 5. Зависимость тормозящего усилия  $F_2$  на элемент подошвы от высоты выступа  $R$ : 1 –  $E = 0,8$  МПа; 2 –  $E = 1,23$  МПа; 3 –  $E = 1,72$  МПа; 4 –  $E = 2,8$  МПа; 5 –  $E = 4,7$  МПа

При ходьбе по обледенелым опорным поверхностям возможно взаимодействие подошвы со множеством выступов. Очевидно, что характер возникающих при этом тормозящих воздействий отличается от картины взаимодействия с единичным выступом. Для выявления особенностей взаимодействия элементов рельефа подошв со множеством выступов проведены экспериментальные исследования. При подготовке экспериментов в пластины из ПТФЭ внедряли стальные шарики диаметром 1,0; 1,5; 2,5 и 3,5 мм, располагая их в шахматном порядке на расстоянии 20 мм между центрами имитаторов одного ряда.

В ходе экспериментальных измерений фиксировали силы трения скольжения образцов по опорной поверхности без выступов, затем по поверхности с выступами, количество которых увеличивалось по мере продвижения образцов и, наконец, по поверхности с равным количеством выступов, приходящихся на образец. Силу трения скольжения по поверхности с выступами определяли, как ее среднее значение при перемещении образцов по поверхности с равным количеством выступов.

Влияние модуля упругости подошвенных материалов на коэффициент трения скольжения по опорной поверхности со множеством выступов представлено на рисунке 6.

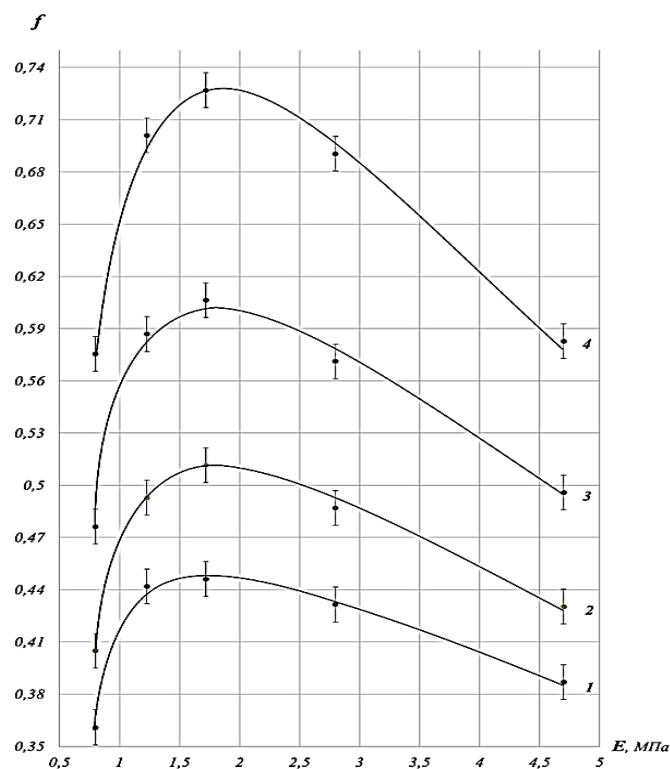


Рисунок 6. Влияние эластичности  $E$  подошвенного материала на коэффициент трения скольжения  $f$  по опорной поверхности с выступами радиусом  $R$ : 1 –  $R = 0,5$  мм; 2 –  $R = 0,75$  мм; 3 –  $R = 1,25$  мм; 4 –  $R = 1,75$  мм

Характер этих зависимостей идентичен кривым на рисунке 1, что свидетельствует о схожих механизмах возникновения сил трения скольжения, которые могут быть интерпретированы с позиций молекулярно-механической теории трения твердых тел. Следует отметить, что с возрастанием размеров выступов происходит существенный рост коэффициента трения скольжения, что можно объяснить зацепами подошвенного материала за твердые выступы.

Для выявления закономерностей фрикционного взаимодействия подошв с опорной поверхностью разработана экспериментально-теоретическая модель совокупного влияния основных факторов трения скольжения обуви по шероховатой поверхности. Разработку модели проводили с использованием математических методов планирования и анализа эксперимента. При этом рассматривали три основных фактора, определяющих фрикционное взаимодействие исследуемых объектов – модуль упругости  $E$  подошвенного материала, высоту выступов  $R$  и их количество  $n$ . Обосновав диапазон варьирования факторов, и, убедившись в неадекватности линейной модели, составлена матрица планирования эксперимента 2-ого порядка. После проведения экспериментальных исследований в соответствии с матрицей и обработки полученных результатов получено уравнение регрессии вида  $f = \varphi(E, R, n)$ .

Общие закономерности фрикционного взаимодействия элементов рельефа подошв с шероховатой опорной поверхностью получены с помощью прикладного пакета программ «Maple - 17».

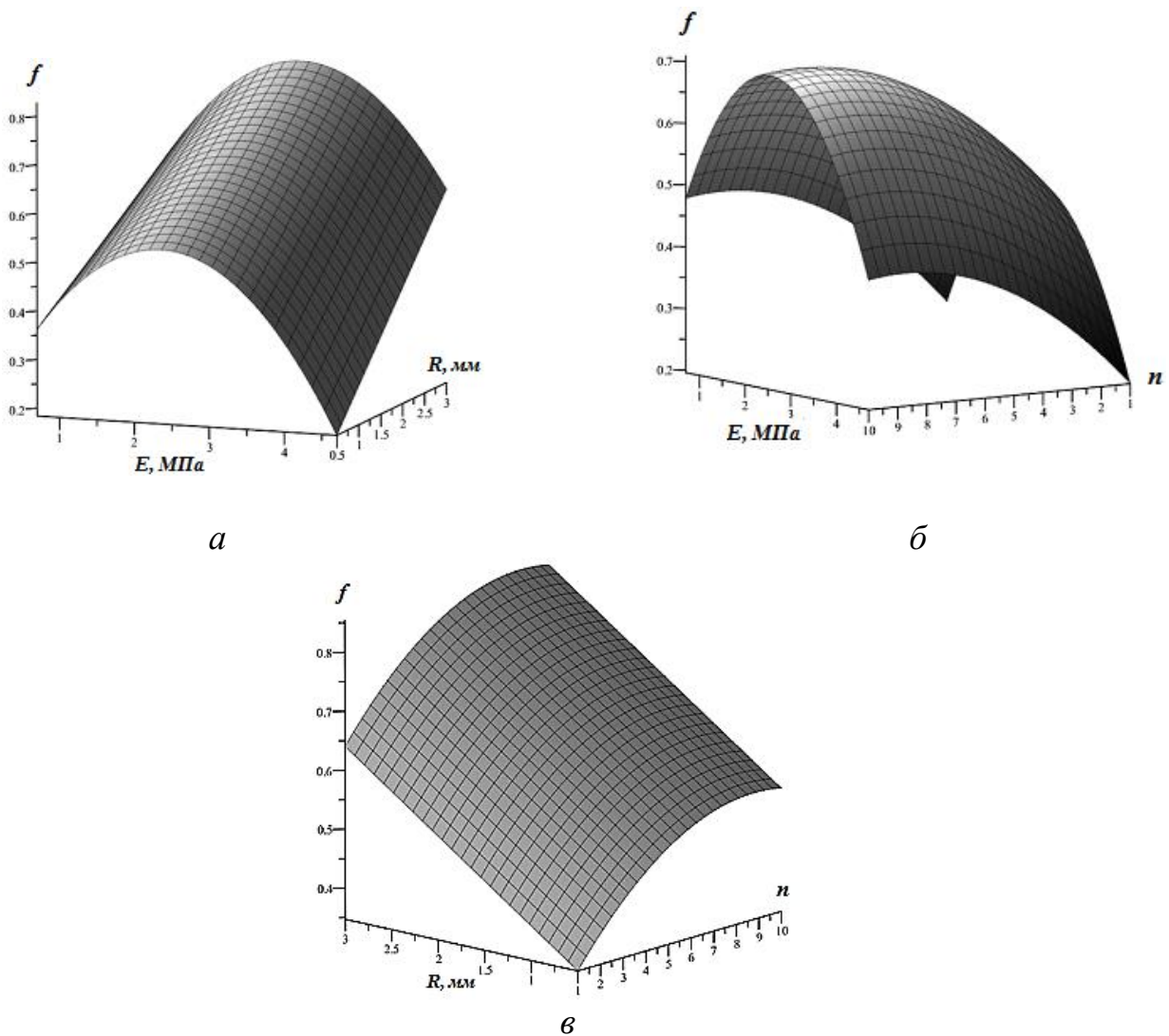


Рисунок 7. Зависимость коэффициента трения скольжения  $f$  от факторов  $E$  и  $R$  при  $n=6$  (а);  $E$  и  $n$  при  $R=1,75$  мм (б),  $R$  и  $n$  при  $E=2,7$  МПа (в)

Полученные модели согласуются с результатами исследований влияния на фрикционные характеристики подошвенных материалов отдельных факторов и могут быть использованы для прогнозирования фрикционных свойств обуви при ходьбе по различным видам опорных поверхностей.

Анализ моделей показал, что при различных значениях факторов  $E$ ,  $R$  и  $n$  коэффициент трения скольжения изменяется в пределах от 0,2 до 0,8. При изготовлении обуви регулируемым фактором является лишь условный модуль упругости подошвенного материала, при величине которого в диапазоне 0,2...0,3 МПа обеспечивается существенное повышение антискользящих свойств обуви. Значения факторов  $R$  и  $n$  зависят от вида дорожного покрытия и погодных условий. Однако при любом состоянии опорной поверхности антискользящие характеристики подошв можно существенно повысить за счет специального рельефа ходовой части подошв.

**Четвертая глава** посвящена разработке концепции проектирования противоскользящего рельефа ходовой части формованных подошв и практическим аспектам создания антискользящих элементов рельефа. При разработке концепции использован эмпирический опыт проектирования

антискользящего рельефа, изложенного в литературных и патентных источниках, однако основные ее положения основаны на практических и теоретических результатах, полученных в настоящей работе.

Концепция предусматривает формирование рельефа ходовой части подошв из следующих основных элементов: протекторов, кювет с эластичными вставками, контурных бордюров и серповидных впадин. Опорные части этих элементов выполняются мелкорифлеными, а боковые стенки имеют V-образные выемки для создания условий заклинивания в них выступов при скольжении по опорной поверхности.

Важной частью концепции являются рекомендации по компоновке антискользящих элементов, которые разработаны с учетом основ биомеханики ходьбы человека. Эти рекомендации позволяют в максимальной степени обеспечивать тормозящее воздействие на обувь со стороны неровностей и выступов на опорной поверхности и таким образом снижать риски падений носчика.

Методические рекомендации по проектированию антискользящего рельефа ходовой части формованных подошв приняты к практическому применению на ООО «Фабрика С-ТЕП». Концептуальные положения проектирования антискользящего рельефа подошв реализованы при разработке конструкции формованных подошв из термоэластопластов. На предприятии отформована партия подошв, изготовлена обувь и проведена ее опытная носка, которая показала существенное повышение ее антискользящих характеристик, что отражено в соответствующих актах.

Результаты теоретических и практических исследований диссертационной работы, расширяющие современные представления о фрикционном взаимодействии упругих тел с твердой шероховатой поверхностью, используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Безопасность обуви и инновационные материалы ее производства» и «Проектирование специальной и спортивной обуви».

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ**

Обобщение полученных в диссертации теоретических и экспериментальных результатов позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1. Установлено, что экспериментальные значения фрикционных характеристик, известных из литературных источников и экспериментальных измерений, проведенных по традиционной методике, содержат значительные погрешности и часто противоречивы. Для повышения точности определения характеристик трения скольжения разработана модель опорной поверхности, представляющая собой пластины из политетрафторэтилена, фрикционные свойства и шероховатость которых близки к соответствующим показателям льда и остаются практически стабильными при проведении длительных экспериментальных измерений независимо от колебаний температуры окружающей среды.

2. Показано, что фрикционные характеристики при скольжении эластичных подошвенных материалов по обледенелым опорным

поверхностям определяются двумя основными факторами – упругостью подошвенных композиций и площадью их фактического контакта с опорной поверхностью, которые оказывают на силы трения скольжения противоположное влияние. Это предположение хорошо согласуется с положениями молекулярно-механической теории трения твердых тел и объясняет экстремальную зависимость коэффициента трения подошвенных материалов от их плотности с максимумом значения коэффициента трения при плотности 450-580 кг/м<sup>3</sup>.

3. Установлена картина деформации эластичного подошвенного материала при скользящем контакте с твердым выступом на опорной поверхности, которая иллюстрирует изменения направления вектора результирующей силы сопротивления, действующей на материал, и создает предпосылки для разработки расчетного метода определения тормозящего воздействия на подошву.

4. На основе экспериментальных исследований фрикционного скользящего контакта элемента рельефа подошв из материалов разной эластичности с твердым выступом на опорной поверхности предложена эмпирическая формула для расчета тормозящего воздействия на обувь в зависимости от условного модуля упругости материала и высоты выступа.

5. Выявлена закономерность влияния модуля упругости подошвенных материалов, скользящих по опорной поверхности с множеством выступов на фрикционные характеристики скольжения. Показано, что характер установленной закономерности отличается от соответствующей зависимости при скольжении по единичному выступу, что объясняется существенным снижением площади контакта с собственно опорной поверхностью, в результате чего контакт и скольжение подошвенного материала происходит преимущественно по поверхностям выступов.

6. Разработана модель фрикционного взаимодействия рельефа ходовой части подошв с опорной поверхностью, содержащей выступы различных размеров и разного количества, которая наглядно иллюстрирует качественную картину и количественные данные тормозящего воздействия на обувь при ходьбе по скользкой опорной поверхности. Предложенная модель согласуется с известными эмпирическими данными, а также расширяет современные представления о фрикционном взаимодействии подошв с шероховатой поверхностью и предоставляет дополнительные данные для разработки антискользкого рельефа подошв.

7. Сформулирована концепция создания антискользкого рельефа ходовой части подошв, включающая рекомендации по проектированию антискользких элементов рельефа и их компоновке, которая позволяет проектировать конструкции обуви, снижающих риски падений носчика на скользких поверхностях, что имеет важное социальное значение.

8. На основе результатов диссертации на ООО «Фабрика С-ТЕП» изготовлены формованные подошвы с повышенными антискользкими характеристиками и опытная партия обуви, апробация которой показала положительные результаты, что отражено в актах о внедрении.

## РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Результаты работы рекомендуется использовать на предприятиях, выпускающих обувь, в том числе специальную, а также в учебном процессе вузов, осуществляющих подготовку бакалавров и магистров по направлениям «Технология изделий из кожи» и «Конструирование изделий легкой промышленности».

Перспективой дальнейшей разработки настоящей темы может быть исследование возможностей повышения антискользящих характеристик обуви за счет комбинирования упругих свойств подошвенного материала в соответствии с топографической неоднородностью удельного давления подошвы на опорную поверхность и особенностей фрикционного контакта в различных фазах ходьбы.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

#### *Патент на изобретение*

Патент № 2695974 Российская Федерация, МПК А43С 15/14 (2006.01).  
Ходовая поверхность подошвы с противоскользящими свойствами: № 2018122441: заявл. 20.06.2018: опубл. 29.07.2019/ Карабанов П.С., Харина В.А., Титов А.М., Юнг С.А.; заявитель ООО «Обувь России». – 19 с.: ил.

*Статьи в изданиях, входящих в «Перечень» ВАК при Минобрнауки России:*

1 Карабанов, П.С. Закономерности влияния плотности подошвенных материалов на их фрикционные свойства / П.С. Карабанов, Е.В. Заушицына, В.А. Харина // Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2019 - № 2 - С. 52- 55.

2 Карабанов, П.С. Фрикционное взаимодействие элементов ходовой части подошв с неровностями опорной поверхности // П.С. Карабанов, В.А. Харина, В.В. Костылева, И.Р. Татарчук // Дизайн и технологии. - 2019. - № 73 (115). - С. 37-41.

3 Карабанов, П.С. Концепция создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв / П.С. Карабанов, В.А. Харина, Г.А. Бороздина // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2019 - № 4 - С. 50-54.

4 Карабанов, П.С. Моделирование фрикционного взаимодействия ходовой части подошв с опорной поверхностью / П.С. Карабанов, В.А. Харина, Г.А. Бороздина // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2021-№ 3.

#### *Статьи в прочих изданиях:*

1 Карабанов, П.С. Основные положения создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв / П.С. Карабанов, В.А. Харина, Г.А. Бороздина // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): материалы международной научно-технической конференции. - Москва, 2018 - С.167-171.

2 Карабанов, П.С. Повышение противоскользящих свойств подошв комбинированием эластичности их ходовой поверхности / П.С. Карабанов,



Г.А. Бороздина, В.А. Харина // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы национальной научно-практической конференции. - Новосибирск, 2018 - С.92-95.

3 Харина, В.А. Фрикционные характеристики пористых подошвенных материалов / В.А. Харина, П.С. Карабанов, Г.А. Бороздина // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг: сборник научных трудов. - Шахты: ЮРГУЭС, 2018 - С. 278- 282

4 Карабанов, П.С. Фрикционные характеристики подошвенных материалов разной плотности / П.С. Карабанов, В.А. Харина, А.Д. Росляков // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы II Всероссийской научно-практической конференции (НТИ (филиал) РГУ им. А.Н. Косыгина). - Новосибирск, 2018 - С. 82- 85.

5 Карабанов, П.С. Влияние плотности подошвенных материалов на площадь их фактического контакта с опорной поверхностью: сборник научных трудов / П.С. Карабанов, В.А. Харина, Г.А. Бороздина // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг: сборник научных трудов. -Новочеркасск, Лик, 2019 – 286с.

6 Деформация подошвенного материала при фрикционном скольжении по неровностям на опорной поверхности / П.С. Карабанов, В.А. Харина [и др.] // Вестник научных конференций. Наука, образование, общество: материалы международной научно-практической конференции (30 сентября 2019г.). – Тамбов, 2019 - С. 63-66.

7 Харина, В.А. Площадь фактического контакта материала подошв с неровностями опорной поверхности / В.А. Харина, П.С. Карабанов, Г.А. Бороздина // Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической заочной конференции (РГУ им. А.Н. Косыгина, 25-27 марта 2020 г.). Часть 2 – Москва, 2020 – С.82-85.

8 Карабанов, П.С. Фрикционные характеристики подошвенных материалов при скольжении по неровностям опорной поверхности // П.С. Карабанов, Г.А. Бороздина, В.А. Харина // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (14.05.2020г.). - Саратов: Амирит, 2020 - С. 95-100.

9 Харина, В.А. Влияние эластичности подошвенных материалов на их фрикционные свойства // В.А. Харина, П.С. Карабанов, Г.А. Бороздина // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (14 мая 2020г.). – Саратов: Амирит, 2020 - С. 160-163.

10 Харина, В.А. Фрикционные свойства подошвенных материалов разной эластичности / В.А. Харина, П.С. Карабанов, А.Д. Росляков // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. - Саратов: Амирит, 2021- С. 172-175.

**ХАРИНА ВИКТОРИЯ АНАТОЛЬЕВНА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ХОДОВОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ПОДОШВ И ПОВЫШЕНИЕ АНТИСКОЛЬЗЯЩИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ОБУВИ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Тираж 80 экз.**

**Студия печати «ЦИФРА»  
630112, г. Новосибирск, ул. Красина, д. 54, офис 304.  
[www.cifra-nsk.ru](http://www.cifra-nsk.ru)**