

НОВОСИБИРСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»

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»

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Карabanов П.С.

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск - 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТИВОСКОЛЬЗЯЩИХ СВОЙСТВ ОБУВИ	11
1.1 Анализ противоскользящих устройств и приспособлений обуви....	12
1.1.1 Съёмные приспособления для обуви.....	13
1.1.2 Несъёмные устройства и приспособления для обуви.....	15
1.1.3 Подошвы из фрикционных материалов.....	19
1.2 Особенности фрикционного взаимодействия обуви с опорной поверхностью.....	24
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	30
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	32
2.1 Методы и средства оценки фрикционных свойств подошвенных материалов.....	32
2.2 Разработка физической модели обледенелой опорной поверхности.....	39
2.3 Влияние плотности подошвенных материалов на их фрикционные характеристики при скольжении по обледенелой опорной поверхности.....	47
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ	55
3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЛЬЕФА С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ	56
3.1 Исследование фрикционного взаимодействия элементов ходовой части подошв с опорной поверхностью	56
3.2 Исследование контактного взаимодействия подошвенных материалов со множеством выступов на опорной поверхности....	67

3.3	Моделирование фрикционного взаимодействия ходовой части подошв с опорной поверхностью.....	73
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ.....		81
4	ПОВЫШЕНИЕ АНТИСКОЛЬЗЯЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДОШВ.....	83
4.1	Анализ требований к рельефу ходовой поверхности подошв и к его разновидности.....	83
4.2	Концепция создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв.....	89
4.3	Разработка противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв.....	94
ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ.....		108
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....		110
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....		113
ПРИЛОЖЕНИЕ		128

ВВЕДЕНИЕ

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 противоскользящих 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 антискользящего 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 антискользящего 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 антискользящего 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., Карабанов 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 опорной поверхности;
- проведен анализ требований к рельефу ходовой поверхности подошв и к его разновидностям;
- сформулирована концепция создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв;
- разработан антискользящий рельеф ходовой поверхности подошвы.

Исследования проводились на кафедре технологии и конструирования изделий из кожи и упаковочного производства в рамках «Плана научно-исследовательских работ НТИ (филиала) МГУДТ» на 2014-2018 гг., проблема 5 «Повышение технологических и эксплуатационных характеристик материалов и изделий из кожи», Тема 1.3 «Экспериментальное исследование противоскользящих характеристик ходовой поверхности подошв», на 2019-2021гг., проблема 7 «Повышение технологических и эксплуатационных

характеристик материалов и изделий из кожи», Тема 1.1 «Повышение противоскользящих свойств обуви на базе развития основ трибологии обувных материалов».

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 разработки 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/м³;

- 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 и 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.)

Полученные в диссертационной работе результаты прошли промышленную апробацию на предприятии по производству повседневной и специальной обуви ООО «Фабрика С-ТЕП», что подтверждено актом.

Отдельные результаты теоретических исследований, полученные в диссертации, включены в курсы лекций по дисциплинам «Безопасность обуви и инновационные материалы ее производства», «Проектирование специальной и спортивной обуви», читаемым на кафедре ТКККиУП «НТИ (филиал) РГУ им. А.Н. Косыгина», что отражено в соответствующем акте.

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.

1 ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТИВОСКОЛЬЗЯЩИХ СВОЙСТВ ОБУВИ

Практически на всей территории России в зимний период, который в северных регионах может длиться более полугода, устанавливается снежный покров [4], а при перепадах температур и стечении определенных погодных факторов на поверхности дорог и тротуаров образуется наледь. Ходьба по обледенелой поверхности, в особенности пожилых людей, может повлечь проскальзывание подошвы обуви, падение и получение травмы. Например, за зимний сезон 2020-2021г. только в городе Новосибирске от гололеда пострадало 4980 человек, без учета тех, кто за медицинской помощью не обратился [5]. Виной тому возможно были не только обледенелые опорные поверхности, но и обувь, не отвечающая требованиям безопасности. Так, падению пешеходов могли способствовать следующие факторы:

- отсутствие или недостаточная глубина протектора подошвы;
- изменяющиеся фрикционные характеристики материала подошвы вследствие перепада температур;
- компоновка элементов рельефа ходовой части подошвы не носит антискользких функций или недостаточно их выполняет.

Очевидно, что устранением наледи на дорожных поверхностях должны заниматься дорожные коммунальные службы и управляющие компании, а решением задач по обеспечению обуви антискользкими характеристиками - обувная промышленность. Именно создание обуви с повышенными фрикционными свойствами поможет избежать падений пешеходов на скользкой поверхности дорог и тротуаров. При создании такой обуви необходимо учитывать достоинства и недостатки уже имеющихся противоскользких устройств и приспособлений, а также факторы, влияющие на фрикционное взаимодействие ходовой поверхности подошвы с различными опорными поверхностями. Данным аспектам и посвящена первая глава диссертационной работы.

1.1 Анализ противоскользящих устройств и приспособлений обуви

Анализ литературных источников свидетельствует, что устройства и приспособления, предохраняющие от скольжения, разделяются по следующим характеристикам [1, 6]:

- укрепленные на каблуках;
- укрепленные на подошвах;
- откидные шипы для хождения по льду;
- шипы, встроенные в подошву;
- антискользящие приспособления из металлических плетеных материалов;
- узкие съемные антискользящие пластинки;
- захваты с зубцами;
- с поворачивающимися наружу шипами.

Имеется класс подошв, антискользящие характеристики которых достигаются за счет фрикционных материалов, из которых изготовлен ходовой слой подошвы, наличия абразивных компонентов в составе материала подошвы или конструкции рельефа его ходовой поверхности.

Перечисленные средства для повышения фрикционных характеристик обуви можно разделить на три группы:

- съемные приспособления, которые надеваются и при необходимости снимаются с обуви;
- несъемные (встроенные) приспособления, которые внедряют в формованную подошву на стадии ее производства или соединения с верхом обуви;
- подошвы, обладающие фрикционными характеристиками за счет свойств модифицированного подошвенного материала, конструкции рельефа ходовой поверхности, комбинирования элементов материалами разной плотности.

Все группы также можно разбить на множество подгрупп в зависимости от используемых материалов, принципа их действия, способа надевания приспособления на подошву, крепления устройства и его расположения внутри

подошвы или на ее поверхности и т.д. Основной объединяющий их принцип эффективного фрикционного действия заключается в использовании металлических шипов, закрепляемых на подошве разными способами, и выполняющих роль механических зацепов за неровности грунта. Примечательно, что идея применения шипов в качестве антискользящих для обуви пришла из автомобильной промышленности, где шипы встраивают в поверхность зимних шин для повышения их сцепления с обледенелыми дорожными покрытиями [7].

До недавнего времени только применение металлических шипов обеспечивало устойчивость обуви при скольжении, и лишь в 2015-2016 гг. появились новые материалы и технологии, позволившие улучшить не только антискользящие свойства обуви, но и ее внешний вид.

Рассмотрим подробнее антигололедные средства для обуви.

1.1.1 Съёмные приспособления для обуви

Съёмные антискользящие приспособления закрепляют на подошве обуви при выходе на улицу. Они представляют собой галошу или пластину с рабочей поверхностью под голеностопную и/или пяточную область подошвы, выполненную из термопластичных эластомеров или абразивного водостойкого материала, также имеют фиксаторы для закрепления на обуви в виде петель, ремешков, липучек. Рабочая поверхность снабжена противоскользящими элементами разного вида: металлические шипы, стальные пружины, гранулы абразивного материала [8-14] и т.д. Цель применения съёмных приспособлений заключается в повышении безопасности передвижения пешеходов по обледенелым участкам дорог и тротуаров за счет зацепления выступающих элементов рабочей поверхности приспособлений за неровности грунта. Преимуществом съёмных приспособлений для обуви перед несъёмными является возможность их снятия при необходимости или замена съёмного приспособления в случае износа его противоскользящих элементов.

Наиболее широким спросом пользуются съемные антискользящие приспособления, так называемые «ледоходы», представляющие собой эластичные пластины с петлевыми фиксаторами, ходовая поверхность которых содержит металлические шипы, обеспечивающие прекрасное сцепление обуви с обледенелой поверхностью [15-21]. Однако, их недостатком является постепенное стачивание металлических шипов при движении по участкам дорог и тротуаров, очищенных от льда, при этом возникает существенное уменьшение площади контакта «ледохода» с твердой поверхностью, что влечет угрозу потери равновесия и возможное падение.

Примеры съемных приспособлений для обуви, в частности, «ледоходы» представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1. Съемные противоскользящие приспособления для обуви [22]

Также существуют приспособления, ходовая поверхность которых содержит зерна карбида кремния, бора или оксида алюминия, обладающих высокой абразивной способностью, большой твердостью, прочностью [23]. Но при использовании на заснеженной дороге или посыпанной песком, их рельефная часть быстро забивается снегом и мелкими камешками, тем самым снижая тормозящие качества обуви. Также гранулы абразива стачиваются и

выкрашиваются при использовании данных приспособлений вне обледенелых участков грунта.

Антигололедные устройства и приспособления достаточно эффективны при условии их использования на обледенелых участках дорог и тротуаров, но есть в их применении и неудобства. Так, при каждом входе в помещение возникает необходимость снятия противоскользящего приспособления, так как шипы, встроенные в носочную и/или пяточную части пластины, могут повредить покрытие пола. Также неудобством считается пачкание рук при каждом снятии приспособления, так как обувь зимой загрязняется от реагентов и песка, которыми посыпают дороги и тротуары коммунальные службы. Еще одним недостатком является внешний вид съёмных приспособлений, что ограничивает сферу их использования среди женщин и деловых мужчин.

1.1.2 Несъемные устройства и приспособления для обуви

Несъемные устройства и приспособления постоянного действия встраиваются в подошву на этапе ее соединения с верхом обуви или во время изготовления самой подошвы, а также по желанию заказчика устанавливаются индивидуально. К антигололедным устройствам постоянного действия относятся самоклеящиеся наклейки из вулканизированного каучука или полиуретана на липкой основе, жесткие пластины с встроенными шипами, которые приклеиваются на ходовую поверхность подошвы [24,25], а также накладные протекторы и металлические шипы, запрессованные или вмонтированные в подошву обуви [26-28]. Примером последнего варианта служит спортивная обувь, а также специальная обувь для производственных работ на открытом воздухе. Для подошв повседневной, прогулочной обуви, обуви для туризма или трекинга, в основном, используются технологии, которые могут работать опционно, т.е. это могут быть перекидывающиеся или поворотные системы шипов, которые выставляются в рабочее положение на требуемый период, а затем прячутся в полости подошвы [29-31]. Так, широким спросом у покупателей пользуется обувь, снабженная системой OC-System,

разработанной и запатентованной итальянской фирмой AL.PI [32, 33]. OS-System представляет собой специальную вставку из полиуретана, на которой жестко закреплены металлические шипы, выполняющие роль антискользящих элементов. В режиме обычной эксплуатации вставка спрятана в специальные пазы на подошве, позволяя пешеходу заходить с улицы в помещение без выполнения каких-либо манипуляций с обувью, как в случае со съёмными приспособлениями. В период гололеда достаточно привести в рабочее положение вставку с шипами при помощи специального ключа путем ее извлечения из пазов в подошве. OS-System выпускается в двух вариантах: TIPPER и ROTOR (рисунок 1.2). Под вставку системы TIPPER на ходовой поверхности подошвы имеется два паза, при этом включение и выключение вставки происходит путем ее перемещения из одного паза в другой поворотом на 180°. Для вставки системы ROTOR на подошве имеется один паз. Для приведения вставки с шипами в рабочее положение достаточно ее извлечь из паза, перевернуть и зафиксировать в паз обратно. В обоих случаях ношение специального ключа является неудобством для владельца подобной обуви, как и использование системы OS-System в целом пожилыми людьми, к тому же регулярное перемещение вставки с шипами в положение «вкл. –выкл.» приводит к выходу креплений из строя. Недостатком же системы TIPPER является возможность засорения одного из двух пазов под вставку [32].



Рисунок 1.2. Несъемные приспособления для обуви периодического действия [32, 34]

Есть несъемные устройства и приспособления, принцип работы которых основан на дистанционном управлении шипами. Механизмы устройств смонтированы в полости подошвы и приводятся в действие с брелка. Принцип работы таких механизмов заключается в том, что управляющий блок, расположенный в полости подошвы, дистанционно улавливает радиосигнал с брелка, преобразовывает принятый сигнал в управляющий и передает его двигателю, который через передаточные механизмы приводит в движение шипы [35-37]. Примерная схема подошвы с дистанционно управляющим перемещением шипов устройством представлена на рисунке 1.3.

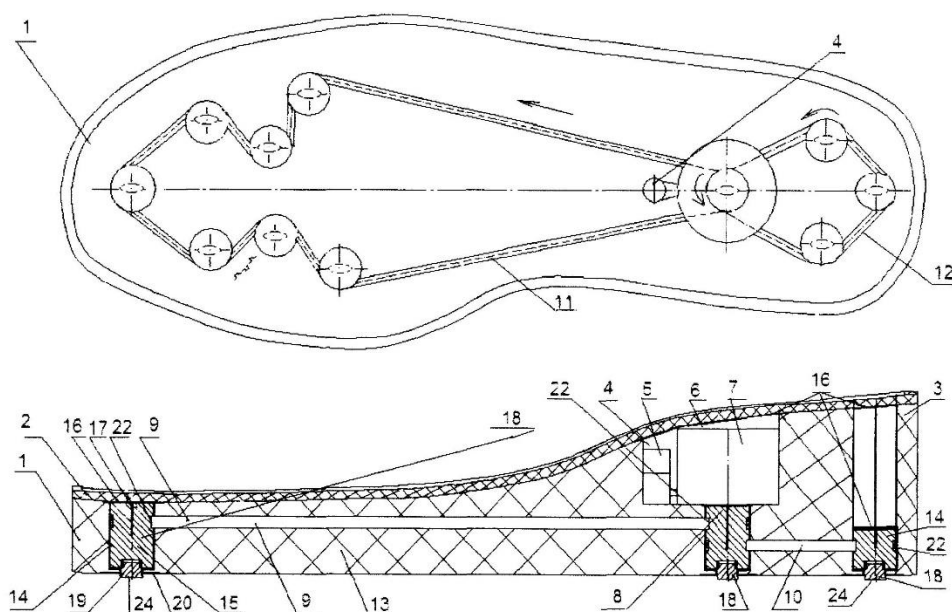


Рисунок 1.3. Схема устройства противоскользящей подошвы обуви с дистанционным управлением перемещением шипов [37]:

- 1 – подошва; 2 – стелька; 3 – каблучная часть подошвы; 4, 6, 11, 12 – полости в подошве; 5 – принимающее устройство сигнала; 7 – шаговый двигатель; 8 – шкив; 9, 10 – зубчатые ремни; 13 – носочно-пучковая часть подошвы; 14 – функциональный блок; 15 – шкив-гайка; 16 – пластина; 17 – ось; 18 – шип; 19 – нижняя часть шипа; 20 – опорная пластина; 21 – верхняя часть шипа; 22 – профилированная выточка шипа; 23 – несквозное отверстие шкива-гайки; 24 – рабочие поверхности шипов

Очевидно, что устройство, представленное на рисунке 1.3 в качестве примерного, как и другие подобные ему, предлагаемые авторами многочисленных патентов и свидетельств, сложны в изготовлении, требуют дополнительные трудозатраты, начиная проектированием и заканчивая сборкой.

К тому же для производства подобных антискользящих подошв необходимо дополнительное оборудование, материалы, что в совокупности ведет к удорожанию обуви. В случае выхода из строя рабочего механизма, обувь теряет свои антискользящие свойства, а ремонт возможен только после демонтажа подошвы.

Подошвы саморегулируемого действия рассчитаны на выдвижение шипов из полостей подошвы под действием собственного веса [38] или перепада температур. Для второго варианта внутри подошвы имеются камеры, которые, как правило, заполнены водой. При выходе на улицу под действием низких температур вода замерзает, расширяет камеру, которая в свою очередь выталкивает противоскользящий шип наружу. При входе в теплое помещение через 5-10 мин лед тает, камера принимает изначальные размеры и шип прячется обратно в паз [39, 40].

В литературных источниках не найдено данных о фрикционной эффективности несъемных устройств и приспособлений, а те, что представлены интернет-порталами, можно ставить под сомнение из-за отсутствия научно-исследовательского подхода к определению сил трения. Об эффективности работы устройств можно судить по отзывам потребителей, и они не однозначны. Так, наряду с положительными отзывами, есть такие, по утверждению которых механизм «включения» и «отключения» встроенных антигололедных устройств часто выходит из строя по причине поломки пускового механизма или при засорении отверстий на ходовой поверхности подошв, предназначенных для выхода шипов, мокрым снегом, кусочками льда, песком или мелкими камешками, из-за чего подошва обуви теряет свои антигололедные качества. Возможно заклинивание шипов во включенном состоянии по причине, описанной выше, что делает некомфортным или неприемлемым использование такой обуви в помещении. Недоверие покупателей к надежности работы механизмов, сдерживают продажи подобной обуви.

Таким образом съемные и несъемные устройства и приспособления при своей практической эффективности содержат недостатки и эксплуатационные

неудобства, не позволяющие им конкурировать с обувью, подошвы которых имеют высокие антискользящие характеристики за счет специальной их конструкции и фрикционных материалов.

1.1.3 Подошвы из фрикционных материалов

Для повышения сопротивления скольжению по опорным поверхностям подошва должна обладать повышенными антискользящими характеристиками, которые достигаются путем комбинирования ходового слоя подошвы материалами разной плотности, применением фрикционных материалов, а также созданием противоскользящего рельефа подошвы.

Комбинированная подошва используется для зимней повседневной, спортивной (для активного отдыха), специальной обуви.

Комбинирование подошв позволяет получить легкую, гибкую подошву и, если толщина монолитного ходового слоя и пористых вставок одинакова, то и долговечную. Возможность получения материалов с обширным диапазоном плотности и требуемыми физико-механическими свойствами, а также правильное их сочетание при производстве подошвы, позволило качественно повысить эксплуатационные характеристики обуви.

Ходовая часть такой подошвы выполняется из монолитного материала, а вставки – из пористого. Чаще всего для ходового слоя зимней подошвы используют специальные виды резин, термоэластопласт (ТЭП) или термопластичный полиуретан (ТПУ), а для вставок - микропористые полиуретановые эластомеры (МЛПУ), этиленвинилацетаты (ЭВА) плотностью 200-400 кг/м³ [41]. Такое разделение обусловлено комплексом свойств этих материалов, которые должны удовлетворять требованиям износостойкости, сопротивлением скольжению, легкости, комфортным условиям эксплуатации обуви [41]. Подошва, комбинированная ПУ и ТПУ, способна оказывать повышенное сопротивление скольжению, обладает низкой теплопроводностью, морозоустойчива, имеет малый вес и устойчива к истиранию. Применение спецполиуретана или резиноподобного полиуретана (СПУ), обладающего

высокой плотностью и вязкостью, в сочетании с другими материалами, наделяют подошву хорошей морозостойкостью, устойчивостью к истиранию и скольжению по обледенелой поверхности. [42]. Подошва должна выдержать не только вес человека, но и удары, приходящиеся на ходовую и боковые ее части [43], помимо этого обладать хорошей теплоизоляцией и долговечностью. Поэтому пористый материал для ходовой поверхности применяется, в основном, только в качестве вставок и отдельных неотчетственных элементов рельефа, для уменьшения веса обуви и повышения ее фрикционных характеристик. Пористые материалы, применяемые для ходовой части подошвы, должны обладать плотностью от 500-700 кг/м³ [41].

Существуют способы повышения антискользящих свойств обуви путем добавления в состав полимерной подошвенной композиции абразивных наполнителей. Так, например, фрикционные свойства подошв из литевых полиуретанов, которые обладают невысокой устойчивостью к скольжению, можно значительно повысить за счет введения в полиуретановую литевую систему специальных ингредиентов (антискользящих) [44-46].

Идея получения подошв с абразивными гранулами в их составе родилась благодаря автомобильной промышленности. Изначально технология введения специальных гранул в состав резины была разработана компанией Green Diamond Technology для создания всесезонных автомобильных шин в 90-х годах 20 в. [7]. Технология получила огромный успех в странах Европы и США. Китайская обувная компания заинтересовалась идеей создания подошв обуви по запатентованной технологии автомобильной компании, и в октябре 2001 года заключила договор об исключительных правах с патентообладателем Green Diamond granule tire. В этом соглашении китайской обувной компании предоставляется право на использование фирменного наименования и товарного знака для разработки и реализации гранул в подошвах для обувной промышленности [47].

В настоящее время Green Diamond Technology Co., Ltd выпускает большой ассортимент повседневной и специальной обуви с подошвами, в структуре

которых имеются абразивные частицы (алмазные гранулы), что придает отличное сцепление обуви с обледенелой поверхностью (рис.1.3).



Рисунок 1.4. Обувь с подошвами, в ходовую поверхность которых включены абразивные частицы [47]

Однако, по итогам исследования противоскользких свойств различных подошв, проведенного в лаборатории университета здравоохранения (UHN, Торонто, Канада) в 2016г, сделано заключение, что подошвы Green Diamond, по причине крупных размеров абразива, оставляют царапины на напольных покрытиях [7]. При этом, исследователями Канадского университета была положительно выделена Южно-Корейская обувная компания “Treksta”, использующая похожую технологию применения абразива в составе подошвы [7]. Гранулы абразива имеют более тонкую структуру и обувь с такой подошвой, обладая повышенным сцеплением с обледенелой поверхностью, практически не царапает напольные покрытия.

Другой метод повышения фрикционных свойств обуви предполагает запрессовывание в подошву на стадии литья мелкой металлической стружки [48]. Но и такой метод не применим для повседневной обуви из-за порчи подошвой напольных покрытий в помещении.

Не так давно появилась обувь с подошвой, вставки на ходовой поверхности которой образованы из электростатически интегрированных микроволокон стекла, собранных в группы [7]. Такая подошва идеально подходит для ходьбы по льду, покрытому тонким слоем воды. В этом случае, микростолбики

стекловолокон разрушают поверхностную пленку воды, тем самым обеспечивая сцепление подошвы обуви с опорной поверхностью (коэффициент трения скольжения $f = 0,47$). Высокие фрикционные показатели были получены при скольжении этой подошвы и по сухому льду ($f = 0,41$) [7]. Стоит уточнить, что согласно ГОСТ Р 56965-2016 (ISO/TR 20880:2007), сопротивление скольжению для обуви любого назначения должно быть не менее 0,30 (для плоской части подошвы) и не менее 0,28 (для каблука) [49].

Из всех перечисленных средств повышения антискользких свойств обуви, без сомнения лидирующие позиции занимает специальный рельеф ходовой поверхности подошвы. Так, А.А. Авиловым, Б.А. Сафраем и З.А. Гриценко экспериментально установлено, что только глубокий рисунок ходовой поверхности подошв значительно способен повысить фрикционные характеристики обуви [50]. При этом согласно другим литературным источникам, мелкий рисунок ходовой поверхности подошв обеспечивает лучшую устойчивость на поверхности грунта за счет выдавливания рифами тонкой пленки воды, но на льду своих функций не выполняет из-за уменьшения опорной поверхности [3]. Не каждый подошвенный материал в силу своих свойств позволяет получить требуемую глубину рифлений. Так, для фрикционных подошв с глубоким рифлением подходят все виды резин, кроме кожеподобной, термоэластопласты (ТЭП), термопластичные полиуретаны (ТПУ) [51]. По мнению же канадских исследователей, рельеф подошвы никак положительно не влияет на фрикционные свойства обуви [7]. По их утверждению хорошее сцепление подошвы с опорной обледенелой поверхностью возможно только при применении фрикционных подошвенных материалов.

Обобщение всех перечисленных средств повышения фрикционных характеристик обуви представлено в работе [1] в виде классификации, принцип построения которой основан на анализе конструкций и принципе их действия. Классификация приведена на рисунке 1.5, согласно которой антискользкие свойства обуви повышают за счет дополнительных устройств и приспособлений

или без них. В схеме отражены все способы повышения, рассмотренные нами выше.

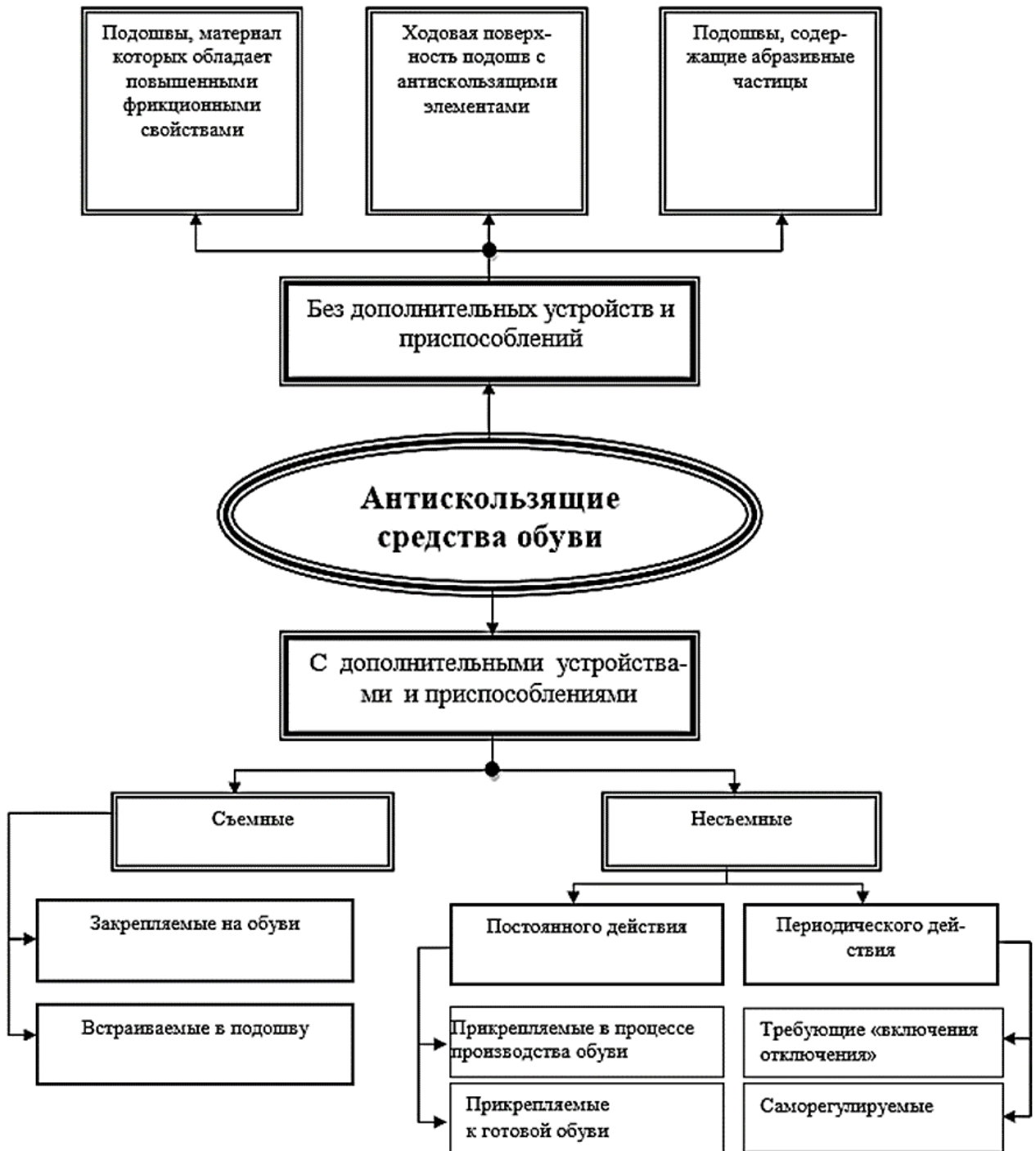


Рисунок 1.5. Классификация антигололедных устройств и приспособлений обуви [1]

В заключение отметим, что при наличии антискользящих устройств и приспособлений для обуви проблема безопасного перемещения по скользким

поверхностям остается не решенной. Поэтому поиск решений по увеличению фрикционных свойств обуви является актуальным и имеет в равной степени как экономический, так и социальный эффект. Разработка подошв с повышенными антискользящими свойствами позволит отказаться от необходимости применения различных устройств и приспособлений и значительно снизить риск травматизма. При этом подошва обуви не должна вызывать неудобства при ходьбе по нескольким поверхностям. Для этого в следующем подразделе рассмотрим факторы, влияющие на устойчивое сцепление обуви с поверхностью

1.2 Особенности фрикционного взаимодействия обуви с опорной поверхностью

Удовлетворительное сцепление обуви с опорной поверхностью зависит от эластичности материала подошвы, рисунка рельефа ее ходовой поверхности, вида и состояния грунта, а также ряда других факторов. При этом, биомеханика ходьбы человека также оказывает большое влияние на характер сцепления подошвы обуви с опорной поверхностью. В процессе ходьбы происходит распределение давления на разные участки подошвы, что влияет на площадь фактического контакта ходовой части подошвы с поверхностью грунта, а значит, на сохранение равновесия человеком во время ходьбы.

Обычную ходьбу человека условно можно разделить на три фазы (рассмотрим только опорную ногу): 1 фаза - стопа становится на опорную поверхность пяткой; 2 фаза - стопа с пятки перекачивается на всю плантарную поверхность; 3 фаза – стопа с плантарной поверхности переходит на опорную поверхность пальцев ноги для выполнения следующего шага. Отметим, что в первой фазе, когда пяточная часть подошвы контактирует с поверхностью грунта только по грани каблука, наиболее велика вероятность проскальзывания ноги по направлению движения пешехода. В третьей фазе, возможно проскальзывание ноги в противоположном направлении движению пешехода из-за того, что в этот момент подошва контактирует с поверхностью грунта только носочной частью [52, 53]. Поэтому, при проектировании ходовой поверхности подошвы

необходимо такие особенности учитывать, чтобы минимизировать потерю равновесия на обледенелых участках.

В статическом и динамическом состояниях вес человека распределяется на стопы по-разному [54]. Так, по данным Горбачика В.Е., при стоянии в обуви без каблука 47-49 % от массы тела (в расчете на одну ногу) приходится на пяточную часть стопы, 13% - на геленочную и 38-39 % - на переднюю часть. При увеличении каблука от 0 до 6 см возможен (зависит от индивидуальных анатомических особенностей самого человека) перенос нагрузки с пяточного на передний отдел стопы с незначительный увеличение нагрузки на 8-10% [55].

При ходьбе в обуви на каблуке давление на носочный отдел стопы увеличивается в 8-10 раз по сравнению со статикой, на геленочную часть - в 2 раза и в 4 раза – на пяточную. [55]. Меньше всего наблюдается давление в плюсневом отделе из-за свода стопы. Вот почему при плоскостопии не рекомендуется носить обувь на высоком каблуке.

Наряду с изменением давления стопы на опору в зависимости от фазы шага, также изменяются линейные размеры самой стопы. Так, при ступании на носок стопа удлиняется на 17,5-21 мм за счет увеличения переднего отдела, а задний в это время укорачивается на 5,5 мм, что объясняется выгибанием свода и сокращением мышц [56]. Поэтому для свободного движения стопы, подошва должна обладать необходимой гибкостью, а обувь - впорностью, так как тесная обувь, подошва у которой к тому же плохо гнется, влечет за собой изменение длины шага, нарушает распределение давления стопы на подошву и, соответственно, снижает устойчивость при ходьбе по опорной поверхности.

Во время ходьбы при контактном взаимодействии подошвы обуви с опорной поверхностью возникает сила трения скольжения, направленная противоположно движению носчика и препятствующая их взаимному перемещению. При этом внутри деформируемого в результате движения по опорной поверхности ходового слоя подошвы возникает внутреннее трение.

Трение необходимо человеку для начала движения и для остановки. В первой фазе, когда пяточная часть подошвы касается грунта, за счет трения

происходит торможение, затем сцепление всей ходовой поверхности подошвы с грунтом во второй фазе. Позже, в конце третьей фазы, когда носовая часть подошвы вот-вот готова оторваться от поверхности грунта, сила трения толкает тело вперед.

Работу трения можно представить с позиции молекулярно-механической теории трения твердых тел. Разработками в этой области занимались такие ученые как Дерягин Б.В., Крагельский И.В., Боуден, Тейбор, Томлинсон и др. [57-59]. Теория подразумевает, что трение состоит из молекулярной (адгезионной) и механической (деформационной) составляющих

$$F = F_m + F_\delta, \quad (1.1)$$

где F_m и F_δ – соответственно молекулярная (адгезионная) и механическая (деформационная) составляющие силы трения.

Молекулярная составляющая обусловлена сопротивлением разрыву молекулярных связей, возникающих между взаимодействующими поверхностями тел при перемещении одного тела относительно другого [60]. Механическая составляющая обусловлена сопротивлением упругого тела выступам на опорной поверхности, по которым это тело перемещается. В результате такого взаимодействия происходит деформация подошвенного материала, существенно повышающая силу торможения [61].

Еще одна особенность фрикционного взаимодействия ходовой части подошвы с поверхностью грунта заключается в том, что при ходьбе контакт опорной поверхности с подошвой возникает на участках, которые могут содержать выступы. Они подразделяются на микровыступы, высота которых $h < 1,0$ мм, и макровыступы высотой $h > 1,0$ мм [62]. В другом источнике неровности на дороге предложено именовать микрошероховатостью при высоте неровности 0,2...0,3 мм и макрошероховатостью при высоте более 0,3 мм [63]. В источнике [64] указано, что микровыступы не оказывают существенного влияния на силу трения скольжения подошвенных материалов. Крупные же выступы, образуемые песчинками или мелкими камешками, способны оказывать

значительные тормозящие воздействия при скольжении по ним образцов подошвенных материалов. Однако, в работе [65] экспериментально доказано, что рельефное исполнение ходовой поверхности подошвы противоскользящими элементами позволяет повысить сцепление с обледенелым грунтом.

На каждой фазе шага происходит взаимодействие между рельефом подошвы и опорной поверхностью на площади, равной площади фактического контакта [66]. Она представляет собой суммарную площадь, на которой происходит контакт микронеровностей, образующих шероховатость поверхностей. Площадь фактического контакта в ненагруженном состоянии составляет 0,01...0,1 % от номинальной площади, а при больших нагрузках 1–10%, но не превышает 40% от номинальной [57]. После снятия нагрузки 30–70% площади контакта исчезает благодаря эластичным характеристикам материала.

На величину площади фактического контакта влияет рисунок рельефа ходовой поверхности подошвы, эластичность подошвенного материала, сила давления на стопу во время ходьбы, вид и состояние опорной поверхности. Так, площадь фактического контакта увеличивается с повышением нагрузки на подошву и уменьшением неровностей на опорной поверхности, и уменьшается с увеличением модуля упругости подошвенных материалов [67].

В статическом состоянии (состояние покоя) ходовая часть подошвы взаимодействует с выступом на опорной поверхности по линии или в точке, что согласуется с теорией Герца [68]. Однако возникновение даже небольшой нагрузки приводит к деформации подошвенного материала вокруг выступа с образованием области касания (рисунок 1.6). На область касания влияет упругость подошвенного материала и размер выступа на опорной поверхности. Согласно теории Герца, можно предсказать не только форму области контакта, но и закономерности ее роста при увеличении нагрузки, а также закономерности ее роста при увеличении нагрузки, а также величины и распределения поверхностных нормальных усилий, передаваемых через поверхность контакта.

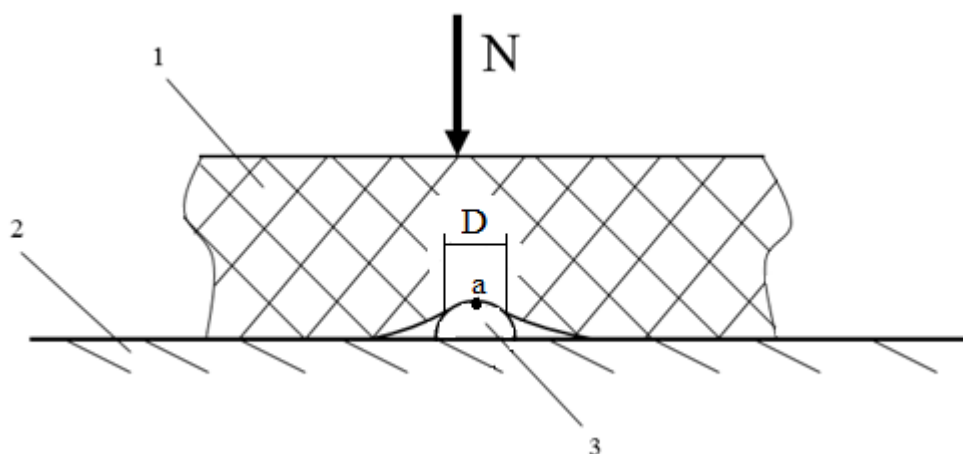


Рисунок 1.6. Взаимодействие подошвенного материала с выступом:
 1 – подошвенный материал; 2 – опорная поверхность; 3 – выступ; а – начальная точка касания; D – область касания в результате действия нагрузки N

Оговоримся, что для эластичных полимерных подошвенных материалов полученные данные могут быть недостаточно точными, так как теория Герца в большей степени применима к металлическим телам, нагруженным в пределах упругой деформации.

Фрикционное взаимодействие подошвы обуви с опорной поверхностью характеризует коэффициент трения скольжения. Этот показатель зависит от плотности материала, рисунка рельефа ходовой поверхности подошвы, вида и состояния опорной поверхности [69]. Особый интерес представляет определение коэффициента трения по обледенелым поверхностям, по причине их нестабильного состояния, а также возможной травмоопасности при ходьбе по их поверхности [70].

При ходьбе важным фактором, влияющим на качество устойчивого сцепления подошвы с опорной поверхностью, является скорость, с которой передвигается пешеход, так как от нее зависит продолжительность отдельных фаз движения. Увеличение скорости ходьбы влияет на укорочение фазы шага и, соответственно, на безопасность ходьбы [71]. Так, установлено, что при опоре на пятку (первая фаза шага), при котором наблюдается торможение, или на носок (третья фаза шага), способствующий увеличению скорости, сцепление с опорной поверхностью различно. Согласно литературному источнику [52], при

длительности двойного шага в 1 секунду, период опоры на разные отделы стопы имеет следующие соотношения: на пятку - 7 % от всего опорного периода, на всю стопу - 33 % и 60 % - на передний отдел.

На рисунке 1.7 изображены зависимости коэффициента трения от скорости ходьбы по опорной поверхности [71].

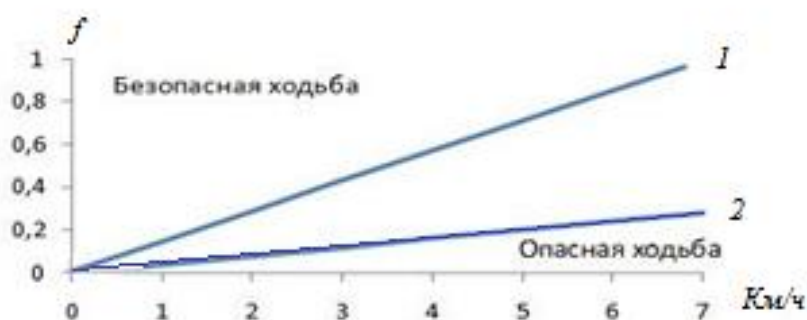


Рисунок 1.7. Зависимости коэффициента трения f в пяточной (1) и носочной (2) части от скорости ходьбы [71]

Верхняя зона над линиями 1 и 2 при высоких значениях коэффициента трения соответствует безопасной ходьбе, нижняя зона под линиями 1 и 2 является опасной из-за низкого сцепления с дорогой. Зависимости позволяют прогнозировать скорость передвижения пешехода в зависимости от фрикционных характеристик материала ходовой части подошвы.

Установлено, что коэффициент трения между стопой и опорой должен быть при обычной ходьбе не менее 0,25, а при быстрой ходьбе — не менее 0,35 [72].

При увеличении скорости ходьбы увеличиваются вертикальные и горизонтальные силы, действующие на поверхность грунта. Для безопасного передвижения поверхность грунта должна обладать коэффициентом трения достаточным для противодействия возросшим нагрузкам. В зимний период, когда поверхность асфальта чередуется с обледенелой поверхностью, коэффициент трения скольжения подошвенных материалов резко снижается: для полиуретанов от 0,45 до 0,18; для пористых резин от 0,82 до 0,2; для кожеподобных резин от 0,65 до 0,07; для подошвенных кож от 0,25 до 0,03 [69].

Такие изменения объясняются увеличением твердости материалов, что способствует уменьшению их площади контакта с опорной поверхностью.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе анализа литературных и патентных материалов, а также обобщения опыта ходьбы по скользкой опорной поверхности сформулированы задачи, решение которых обеспечит существенное повышение антискользких характеристик обуви.

1. Исследование влияния плотности подошвенных материалов на их фрикционные свойства.

Известно, что пористые подошвенные материалы имеют более высокий коэффициент трения при скольжении по обледенелым опорным поверхностям, чем монолитные [3]. Однако отсутствуют закономерности влияния плотности материалов на их фрикционные свойства. К тому же представленные в разных литературных источниках показатели фрикционных свойств подошвенных материалов при их скольжении по обледенелым поверхностям существенно различаются [3, 64]. Это обусловлено неодинаковыми условиями проведения экспериментальных определений сил трения скольжения. Так, многократное скольжение образцов по обледенелой опорной поверхности приводит к образованию водяной пленки, что значительно снижает силу трения. Кроме того, технически сложно поддерживать стабильную температуру трущихся тел. Поэтому в работе ставится задача по выявлению влияния плотности подошвенных материалов на их фрикционные характеристики в условиях, позволяющих получить наиболее точные результаты.

2. Исследование контактного взаимодействия элементов рельефа подошвы с различными видами опорных поверхностей.

Известно, что поверхности дорог и тротуаров содержат макро- и микронеровности, которые способны оказывать существенное тормозящее воздействие на обувь [63]. Работа над созданием модели взаимодействия ходовой поверхности подошв с грунтом позволит оценить фрикционные

свойства элементов подошвы. Основываясь на полученных данных возможно прогнозирование фрикционных характеристик подошв еще на стадии разработки, что позволит сократить время и уменьшить расходы на их проектирование. Выпуск обуви с повышенными антискользящими свойствами поможет привлечь покупателей, желающих отказаться от использования неудобных антискользящих приспособлений.

3. Разработка антискользящего рельефа ходовой поверхности подошвы.

Для обеспечения высоких антискользящих свойств обуви к подошвенным материалам предъявляются многочисленные и часто противоречивые требования [41]. Так, для повышения тормозящего действия подошв при их контакте с крупными (высотой $h > 1,0\text{мм}$) выступами грунта, следует ходовую поверхность выполнять из высокоэластичных материалов, впрочем, она практически не взаимодействует с мелкими ($h < 1,0\text{ мм}$) выступами, количество которых значительно превышает число крупных [62]. Тем не менее мелкие выступы опорной поверхности могут оказывать заметное тормозящее действие при их скольжении по эластичным участкам ходовой стороны подошв. Поэтому, в работе ставится задача создания ходовой поверхности подошв с повышенными противоскользящими свойствами из материалов разной плотности.

4. Разработка концепции создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв.

К настоящему времени разработаны многочисленные типы антискользящего рельефа подошв. Однако отсутствие системного подхода к его проектированию, разработка которого основывается, в основном, на эмпирических данных и умозрительных заключениях о характере взаимодействия элементов рельефа с опорной поверхностью, не позволяет в полной мере обеспечивать противоскользящие свойства подошв. Поэтому, в работе ставится задача разработки единой концепции создания антискользящего рельефа подошв с указанием на основные его элементы и рекомендации по их расположению на ходовой части подошвы.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анализ проблем обеспечения противоскользящих свойств обуви и особенностей контактного взаимодействия подошв с опорной поверхностью показал, что съемные и встраиваемые в обувь устройства и приспособления, а также известные антискользящие рельефы ходовой поверхности подошв не соответствуют заявленным показателям. В настоящей главе представлен сравнительный анализ известных литературных данных о фрикционных свойствах подошвенных материалов, иллюстрирующих существенные погрешности их определения. Для решения поставленных в диссертационной работе задач разработана физическая модель опорной поверхности, изложены методика и модернизированные средства измерения сил трения скольжения, обеспечивающие достаточную точность измерений. На этой базе проведены экспериментальные исследования коэффициента трения скольжения подошвенных материалов, результаты которых выявили четкую закономерность.

2.1 Методы и средства оценки фрикционных свойств подошвенных материалов

Известны многочисленные методы оценки фрикционных свойств материалов, применяемых в разных отраслях промышленности [2, 73]. Эти свойства определяют в лабораторных условиях путем имитирования реальных условий эксплуатации материала или изделий из него. Однако для подошвенных материалов применимы только некоторые методы оценки, связанные с определением силы трения при скольжении по различным опорным поверхностям. Это объясняется особенностями деформации подошвы, возникающей при эксплуатации обуви, свойствами применяемых материалов, а также сложностью воздействий на подошву при ходьбе [2].

Методы, применяемые для оценки фрикционных свойств подошвенных материалов, условно можно разделить на две группы.

В первую группу входят методы определения коэффициента трения по тангенсу угла наклона плоскости, на которой установлен испытуемый образец материала. Суть метода заключается в изменении угла наклона γ опорной поверхности таким образом, чтобы образец подошвенного материала массой m_k начал перемещаться. После этого вычисляют силу тангенциального сопротивления T_o и силу нормального давления N [74]:

$$T_o = m_k \sin \gamma; N = m_k \cos \gamma. \quad (2.1)$$

Коэффициент трения определяют по формуле:

$$f = T_o / N = (m_k \sin \gamma) / (m_k \cos \gamma) = \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.2)$$

Следует учесть, что при ходьбе возникает не только динамическое трение, но и статическое (трение покоя), поэтому для оценки возможного проскальзывания подошвы по обледенелой поверхности целесообразно применять коэффициент устойчивости, метод определения которого предложен А.Д. Зайончковским и В.П. Плотниковым [2]. Коэффициент устойчивости определяется отношением коэффициентов динамического и статического трения, выраженных в процентах.

Во вторую группу входят методы определения силы трения при заданной нормальной нагрузке. Коэффициент трения скольжения материала по опорной поверхности, в этом случае, равен отношению силы трения к величине нормальной нагрузки, оказываемой на материал. Эти методы позволяют определить сопротивление скольжению специальной обуви по разным поверхностям (кроме обуви, оборудованной шипами, металлическими шпильками и т.д.), которые регламентируется ГОСТ Р ИСО 13287-2017 [75]. Преимуществом метода является возможность испытания всей подошвы обуви, находящуюся в положении и под нагрузкой при условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации. Однако испытания по

ГОСТ Р ИСО 13287-2017 можно провести в европейских лабораториях из-за отсутствия технической базы в России [76].

Во вторую группу также входит метод определения коэффициента трения скольжения материалов, регламентированный ГОСТ 12.4.083-80 [77]. Этот стандарт распространяется на подошвенные материалы и формованные подошвы для специальной антискользящей обуви. Метод позволяет определять силу трения скольжения F опытного образца, находящегося под действием нормального давления N при перемещении с постоянной скоростью по опорной поверхности.

Метод предназначен для проведения испытаний по различным опорным поверхностям (дерево, тротуарная плитка, асфальт, лед и т.д.) в любом их состоянии (мокрые, сухие, со смазкой). Согласно стандарту, размер опорных поверхностей должен быть не менее 200x70 мм.

Испытанию подвергают образцы, вырубленные из носочно-геленочной или пяточной частей подошвы, либо вулканизированные в режиме, соответствующем нормативно-технической документации. Подготовленные для проведения опытов образцы должны иметь размеры $(50 \times 50) \pm 1$ мм. Данный стандарт устанавливает величину нормальной силы N , действующей на образец 98 Н (10 кгс) и скорость перемещения образца по опорной поверхности (200 ± 20) м/мин [77].

Сопоставляя рассмотренные методы оценки фрикционных свойств подошвенных материалов следует заключить, что для решения задач диссертационной работы наиболее приемлем метод по ГОСТ 12.4.083-80. Этот метод отличается простотой, адекватно соответствует условиям проскальзывания подошвы по скользкой поверхности, а удельное давление на образцы материала с некоторым приближением можно считать близким к давлениям, возникающим при эксплуатации обуви. Действительно, если считать, что площадь фактического контакта подошвы с опорной поверхностью составляет 2...3 % от площади ходовой поверхности подошвы [52], то при испытании по ГОСТ 12.4.083-80 удельное давление составляет

$(1,3...2,0)10^5$ Па, что можно считать удовлетворительным приближением к фактическому давлению, которое в соответствии с данными работы [52] лежит в диапазоне $(2,0...7,0)10^5$ Па.

Однако рекомендуемый ГОСТом 12.4.083-80 метод измерения силы трения с помощью разрывной машины не позволяет достаточно точно измерять малые величины силы трения, получаемые при скольжении подошвенных материалов по обледенелым поверхностям. Поэтому для получения более точной оценки фрикционных свойств подошвенных материалов на кафедре «Технология и конструирование изделий из кожи и упаковочного производства» НТИ (филиала) РГУ имени А.Н. Косыгина был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, общий вид которого представлена на рисунке 2.1 [78].



Рисунок 2.1. Стенд для экспериментального определения фрикционных характеристик подошвенных материалов по различным опорным поверхностям:

1 – модель опорной поверхности из ПТФЭ; 2 – каретка с тросиком для фиксации образца;
3 – груз; 4 – термостатирующая камера; 5 – монитор компьютера

Конструктивное исполнение стенда позволяет проводить исследования при стабильных отрицательных температурах, а средства для записи сил трения позволяют фиксировать достаточно малые значения измеряемых величин (до

0,01 Н), тем самым повышая точность и достоверность получаемых результатов. К тому же выводимые на монитор компьютера фрикционные характеристики образцов подошвенных материалов по моделям опорных поверхностей дают возможность для детального их изучения.

Конструкция экспериментального стенда и принцип измерения сил трения скольжения поясняется рисунком 2.2.

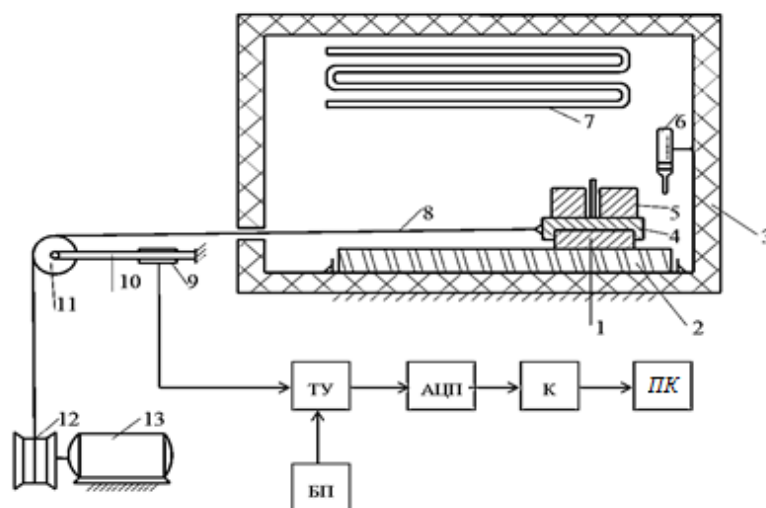


Рисунок 2.2. Схема стенда для экспериментального определения фрикционных характеристик подошвенных материалов по различным опорным поверхностям [78]:

- 1 – образец подошвенного материала; 2 – модель опорной поверхности;
 3 – термостатирующая камера; 4 – каретка; 5 – груз; 6 – термометр; 7 – холодильный термостат; 8 – гибкий тросик; 9 – тензорезистор; 10 – балка; 11 – ролик; 12 – шкив;
 13 – мотор-редуктор; ТУ – тензоусилитель; БП – блок питания; АЦП – аналого-цифровой тензоусилитель; К – контролер; ПК – персональный компьютер

Стенд состоит из термостатирующей камеры 3, в которой закреплен холодильный термостат для понижения температуры 7 до -14°C . Температура в камере контролируется термометром 6. Для проведения эксперимента образец подошвенного материала 1 вставляют в каретку 4 и устанавливают на модель опорной поверхности 2. На каретку с образцом помещают груз с постоянным весом (10 кгс). Каретка соединена гибким тросом 8 со шкивом 12, который закреплен на выходном валу мотор-редуктора 13 с двигателем постоянного тока. Двигатель подключен к источнику питания через регулятор напряжения, что позволяет варьировать скорость вращения шкива и таким образом регулировать

линейную скорость скольжения образца по опорной поверхности в интервале от 100 до 400 мм/мин. Гибкий трос опирается на ролик *11*, шарнирно закрепленный на балке *10* с наклеенными на нее тензорезисторами *9*, которые соединены по мостовой схеме и подключены к тензоусилителю ТУ с блоком питания БП.

При вращении шкива тянущее усилие передается через трос, который изгибает балку, в результате чего на тензоусилитель передается сигнал разбалансировки мостовой схемы, пропорциональный силе сопротивления скольжению образца по опорной поверхности. Этот сигнал усиливается тензоусилителем ТУ, преобразуется в цифровую форму аналого-цифровым преобразователем АЦП и через контролер *K* подается персональному компьютеру ПК. Измеряемые параметры записываются в память ПК и с помощью графического редактора отображаются на экране монитора в виде диаграммы. При этом на оси абсцисс фиксируется перемещение *l* (мм) образца по опорной поверхности, а на оси ординат - параметр *U* (мВ), характеризующий силу трения скольжения (рисунок 2.3).

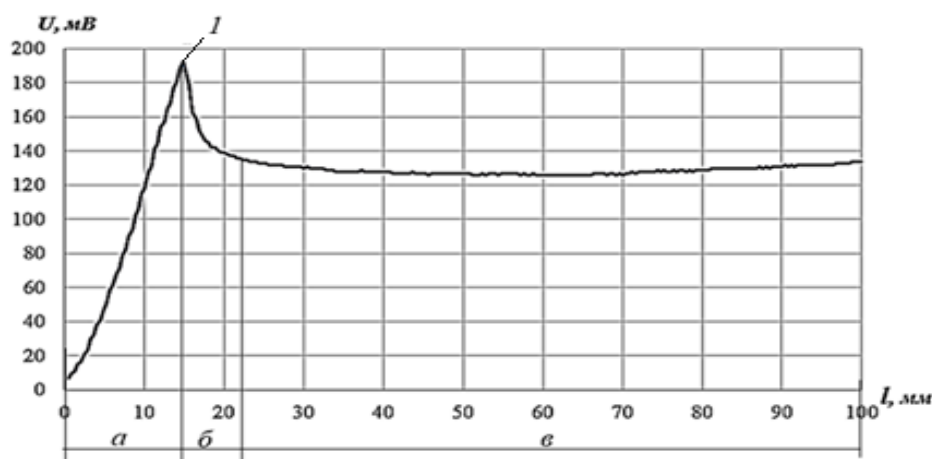


Рисунок 2.3. Типовая диаграмма измерения параметра *U*, характеризующего силу трения при скольжении подошвенного материала по опорной поверхности:

1 – максимальное значение параметра *U*; *a* – участок, характеризующий предварительное смещение образца; *б* – участок начала движения образца; *в* – скольжение образца по опорной поверхности

Отметим, что участок *a* характеризует предварительное смещение образца подошвенного материала с его начального положения на опорной поверхности.

Резкое устремление кривой вверх на этом участке объясняется тем, что тянущая сила, приложенная к образцу подошвенного материала, преодолевает статическое трение, т.е. трение покоя. Причем, с увеличением тянущей силы повышается сила трения покоя, совместные действия которых приводят к деформации образца. Когда тянущая сила преодолевает сопротивление силы трения покоя (участок 1 диаграммы на рис. 2.3), образец подошвенного материала начинает движение, при этом статическое трение преобразуется в динамическое, при этом уменьшается деформация материала и снижается параметр U (участок б). Участок в соответствует скольжению образца подошвенного материала по опорной поверхности, на котором сила трения скольжения изменяется незначительно.

Параметр U для образцов подошвенных материалов различной плотности определяли по результатам шести параллельных измерений, что обеспечивало доверительную ошибку среднего показателя не более 10% (при доверительной вероятности 95%). Полученные зависимости параметра U , характеризующего силу трения скольжения, от расстояния l , пройденного образцом подошвенного материала по модели обледенелой опорной поверхности, обрабатывали следующим образом. По результатам каждого параллельного измерения определяли среднее значение параметра U_{cp} и проводили статистическую обработку для исключения грубых ошибок [79].

Полученное в результате статистической обработки среднее значение параметра U_{cp} преобразовывали в значение силы трения F по формуле

$$F = K_m U_{cp}, \quad (2.3)$$

где K_m – коэффициент тарировки, численно равный отношению веса контрольных грузов P , прикрепленных к каретке, к значению параметра U , возникающему при перемещении каретки.

Таким образом разработан экспериментальный стенд, позволяющий измерять и записывать силы трения скольжения подошвенных материалов по образцам опорной поверхности, в том числе их малые (до 0,01 Н) значения. Однако предварительные измерения сил трения скольжения подошвенных

материалов по обледенелым поверхностям показали существенный разброс получаемых результатов. Указанный разброс обусловлен нестабильными условиями фрикционного взаимодействия материалов с обледенелой поверхностью, состояние которой в процессе экспериментальных измерений трудно поддерживать неизменным. Поэтому для проведения дальнейших исследований с требуемой точностью необходима разработка физической модели обледенелой поверхности, состояние которой не зависело бы от изменяющихся условий внешней среды.

2.2 Разработка физической модели обледенелой опорной поверхности

В зимних городских условиях обледенелыми опорными поверхностями являются асфальт и тротуарная плитка, покрытые наледью. Довольно часто встречаются участки из спрессованного снега и льда. Фрикционные характеристики обледенелых поверхностей требуют изучения, так как они влияют на безопасность передвижения пешеходов. К тому же интерес в изучении их характеристик возникает из-за нестабильной поверхности льда вследствие циклов подтаивания и замораживания при определенных погодных условиях, кроме того возможно изменение верхнего слоя льда из-за частиц песка, а также продавливания и царапания его поверхности подошвами обуви, когтями животных и колесами транспорта.

Поэтому для исследования фрикционных характеристик подошвенных материалов в условиях, имитирующих реальные, в качестве опорных поверхностей применяли фрагменты асфальта, тротуарной плитки, чистый лед, а также лед, поверхность которого покрыта мелким песком (рисунок 2.4).



а



б



в

Рисунок 2.4. Фрагменты опорных поверхностей:

а) асфальт; б) тротуарная плитка; в) лед

Фрагменты асфальта и тротуарной плитки выдерживали в морозильной камере при температуре -10°C до появления на их поверхности обледенения. Выбор температуры обусловлен данными литературных источников [3, 80-82], по утверждению которых наименьшее значение коэффициента трения материалов достигается при скольжении по поверхности льда при температуре -10°C . Скольжение по мокрому льду при температуре -4°C делает сцепление с обледенелой поверхностью еще ниже не только из-за тонкой в несколько мкм пленки воды, но и из-за особой формы граней кристаллов льда. Так, при температуре от 0 до -4°C кристаллы приобретают пластинчатую форму, от -4 до -10°C образуются призмы, спирали и иглы, от -10 до -20°C кристаллы принимают форму толстых гексагональных пластин и дендритов, а от -20 до -35°C – полых столбиков. Отмечено, что основные изменения формы кристаллов наблюдаются при температурах -4°C , -10°C , и от -20 до -22°C [80]. И.Н. Ювенальев отмечает, что при температуре воздуха минус $55\text{—}60^{\circ}$ по своей

структуре снег напоминает порошок, а коэффициент трения настолько велик, что даже «ни лыжи по снегу, ни коньки по льду не скользят» [82].

Поверхность чистого льда получали путем замораживания воды в специальной форме, следя за отсутствием образования пустот и неровностей на ее поверхности (рисунок 2.4, в). Для получения обледенелой поверхности, имитирующей поверхность дороги, покрытую наледью и присыпанную песком, на поверхность уже подготовленного льда тонким ровным слоем распределяли песок фракцией 1,0-1,5 мм, закрепляя его на поверхности льда методом регулярного сбрызгивания водой и замораживания. Подготовленные опорные поверхности затем помещали в термостатирующую камеру стенда, температура в которой п в пределах $-10-14^{\circ}\text{C}$ и проводили измерения силы трения скольжения подошвенных материалов. При этом образцы подошвенных материалов перед испытанием также подвергались предварительному охлаждению в морозильной камере до достижения ими температуры -10°C .

Предварительные экспериментальные измерения коэффициента трения скольжения подошвенных материалов разной плотности, представленные в таблице 2.1, показали значительный разброс значений, что недопустимо для точной оценки фрикционных характеристик.

Таблица 2.1. Результаты значений коэффициента трения скольжения подошвенных материалов по обледенелым поверхностям

Опорная поверхность	Плотность подошвенного материала на основе ЭВА, кг/м ³			
	170	290	570	1050
Обледенелый асфальт	0,45	0,31	0,57	0,27
Обледенелая тротуарная плитка	0,19	0,24	0,23	0,17
Лед	0,13-0,19	0,12-0,20	0,12-0,17	0,10-0,11
Лед с песком	0,44-0,62	0,61-0,79	0,53-0,67	0,24-0,35

При анализе обледенелых поверхностей, основанном на наших наблюдениях, установлено, что подобный разброс значений коэффициентов трения скольжения обусловлен следующими причинами:

- при каждом повторном испытании поверхность скольжения образцов отличается от состояния при предыдущем измерении из-за их контактного взаимодействия, которое изменяет параметры шероховатости соприкасающихся тел;
- при проведении параллельных измерений образцы материала скользят по неодинаковым трассам на опорной поверхности, что вносит различия в получаемые результаты;
- при скольжении образцов по обледенелым поверхностям поддержание строго стабильной температуры испытаний не всегда было осуществимо.

Здесь уместно заметить, что даже незначительные колебания температуры приводят к изменениям состояния обледенелой поверхности, в том числе к замораживанию или подтаиванию её поверхностного слоя. Поэтому получаемые экспериментальные значения фрикционных свойств одних и тех же материалов существенно различаются.

Добавим, что аналогичные различия результатов исследования фрикционных свойств имеются и в различных литературных источниках. Поэтому провели сопоставление коэффициентов трения скольжения подошвенных материалов по данным разным литературных источников, представленное в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Сопоставление коэффициентов трения скольжения подошвенных материалов по данным литературных источников

Вид подошвенного материала	Плотность подошвенного материала, кг/м ³	Вид и состояние опорной поверхности при температуре T, °C	Коэффициент трения скольжения <i>f</i>	Литературные источники
1	2	3	4	5
Резина непористая	1300-1550	асфальт сухой	0,75 0,50	[83] [84]

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5
Резина непористая	1300-1550	асфальт мокрый	0,47	[84]
		керамическая плитка сухая	0,55 0,29	[83] [84]
		керамическая плитка мокрая	0,26	[84]
		лед	0,14	[84]
Резина пористая	500-700 300-500	асфальт сухой	0,82	[3]
			0,90	[3]
			0,86	[69]
			0,86	[84]
		асфальт мокрый	0,82	[3]
			0,75	[69]
			0,75	[84]
		керамическая плитка сухая	0,78	[3]
			0,51	[69]
			0,51	[84]
керамическая плитка мокрая	0,46	[84]		
	0,46	[69]		
лед	0,27	[84]		
лед при $t -4^0$	0,09	[3]		
лед при $t -10^0$	0,17	[3]		
Резина кожеподобная	-	асфальт сухой	0,65	[3]
			0,43	[6]
		асфальт мокрый	0,70	[3]
0,33	[69]			
		керамическая плитка сухая	0,65 0,25	[3] [69]
Резина кожеподобная	-	керамическая плитка мокрая	0,23	[69]
	-	лед при $t -4^0$	0,07	[3]
	-	лед при $t -10^0$	0,07	[3]
Термоэласто- пласт ДСТ-30	-	лед при $t -4^0$	0,3...0,4	[3]
Подошвенная кожа	-	асфальт сухой	0,25	[3]
			0,40-0,79	[84]
		асфальт мокрый	0,73	[3]
0,43-0,87	[84]			
		керамическая плитка сухая	0,12 0,21-0,41	[3] [84]

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5
Подошвенная кожа	-	керамическая плитка мокрая	0,23-0,45	[84]
		лед	0,09-0,16	[84]
		лед при $t -4^0$	0,02	[3]
		лед при $t -10^0$	0,05	[3]
Пластикат ПВХ непористый	1200	асфальт сухой	0,34	[85]
		асфальт мокрый	0,41	[3]
		керамическая плитка сухая	0,12	[3]
Полиуретан литьевой непористый	1100	асфальт сухой	0,45	[3]
		асфальт мокрый	0,60	[3]
		керамическая плитка сухая	0,38	[3]
		лед при $t -4^0$	0,12	[3]
		лед при $t -10^0$	0,18	[3]
Капрон	1100	асфальт мокрый	0,26	[3]

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости разработки модели опорной поверхности, состояние которой не подвергалось бы влиянию окружающей среды и не изменялось при проведении многочисленных параллельных скольжений образцов подошвенных материалов. Для этого в диссертации предложено использовать в качестве физической модели опорной поверхности пластины из политетрафторэтилена (ПТФЭ), что обеспечит следующие преимущества.

Во-первых, коэффициенты трения скольжения ПТФЭ и льда близки между собой. Согласно литературному источнику [86], коэффициент трения льда по льду при температуре между 0 и -20^0C находится в интервале от 0,05 до 0,1 и ПТФЭ по ПТФЭ – от 0,04 до 0,1. Указанные значения подтверждаются и нашими предварительными исследованиями. Так, при скольжении образца пористого подошвенного материала на основе ЭВА по поверхности ПТФЭ среднее значение коэффициента трения оказалось лежащим в пределах 0,25-0,27, а при

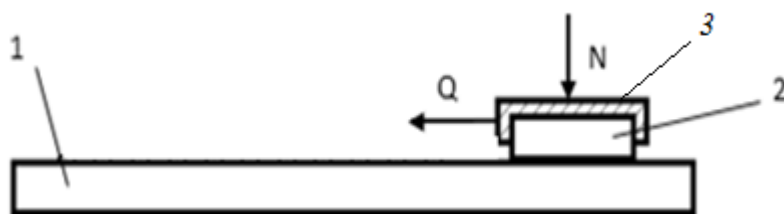
скольжении того же материала по поверхности льда при температуре -10°C находился в интервале от 0,17 до 0,20. Более близкие значения коэффициента трения подошвенного материала по льду и ПТФЭ были получены при предварительном охлаждении пластины ПТФЭ до температуры -10°C ($f_{\text{ПТФЭ}}=0,18-0,22$). Кроме того, у ПТФЭ самый низкий коэффициент трения среди всех твердых материалов. Поэтому ПТФЭ используют там, где требуется обеспечить свободное скольжение частей друг относительно друг без использования смазок (например, сухой лед для крытых ледовых арен).

Во-вторых, повторные скольжения образцов материалов и возможные колебания температуры при экспериментальных измерениях не влияют на состояние модельной опорной поверхности. И, наконец, поверхность пластин из ПТФЭ имеет более регулярную шероховатость, чем поверхность льда или обледенелого грунта, что снижает разброс значений измеряемых параметров, из-за различия трасс скольжения образцов по опорной поверхности. Эти преимущества модельной поверхности значительно облегчают проведение экспериментальных измерений, повышают точность определяемых параметров и позволяют проводить исследования при комнатной температуре.

Модель обледенелой опорной поверхности из ПТФЭ изготавливали размерами 230x75 мм, что соответствует размерам опорных поверхностей согласно ГОСТ 12.4.083-80. Фотография и схема модели обледенелой опорной поверхности и размещенной на ее поверхности кареткой с образцом подошвенного материала представлены на рисунке 2.5.



а



б

Рисунок 2.5. Модель облещенной опорной поверхности (а) и ее схема (б):

1 – опорная поверхность; 2 – образец подошвенного материала; 3 – каретка; 4 – груз;
5 – тянувший трос; Q – тянущая сила (H); N – груз

Таким образом для решения поставленных в диссертационной работе задач имеем модернизированный экспериментальный стенд, способный регистрировать малые силы трения скольжения и адекватную физическую модель скользкой опорной поверхности. Для проведения исследований следует подобрать подошвенные материалы разной эластичности и химической природы для выявления полной картины их фрикционного взаимодействия с опорной поверхностью. Наиболее целесообразным путем такого подбора следует считать изготовление материалов разной плотности, которые позволяют получить образцы разной эластичности при неизменном содержании в композиции остальных ингредиентов, способных повлиять на фрикционные свойства материала. Исследование фрикционных характеристик пористых материалов представляет и самостоятельный интерес, поскольку в литературных источниках отсутствуют количественные данные о влиянии плотности материала на его

фрикционные свойства.

2.3 Влияние плотности подошвенных материалов на их фрикционные характеристики при скольжении по обледенелой опорной поверхности

Для изготовления низа обуви применяются различные виды подошвенных материалов, плотность которых варьируется от 200 кг/м³ до 1600 кг/м³ [41]. Для адекватной оценки фрикционных свойств подошвенных материалов требуются подошвенные материалы широкого диапазона плотности при их неизменном композиционном составе. На обувном предприятии ООО «Фабрика С-ТЕП» удалось подобрать подошвенные материалы на основе сополимеров этиленвинилацетата (ЭВА) и резины на основе каучука СКС-30 разной пористости. Выбор этих материалов обусловлен и тем, что они широко применяются для изготовления обуви и из них могут быть получены образцы широкого диапазона плотности.

Плотность образцов подошвенных материалов определяли методом обмера [87], а для дополнительной характеристики эластических свойств подошвенных материалов измеряли их твердость по Шору [88]. Характеристика образцов подошвенных материалов приведена в таблице 2.3

Таблица 2.3. Характеристика исследуемых подошвенных материалов

Наименование подошвенного материала	Плотность, кг/м ³	Твердость по Шору, ус.ед.
Композиция на основе ЭВА марка Yixin Plastic	170	31
	290	43
	570	59
	830	72
	1050	91
Резина на основе каучука СКС-30	260	39
	300	50
	580	57
	770	71
	990	79
	1350	87

После подготовки опытных образцов подошвенных материалов разной плотности из ЭВА и резины, проводили по шесть параллельных измерений их силы трения по модели обледенелой опорной поверхности. Методика определения силы трения и расчетов коэффициента трения скольжения изложена в подразделе 2.1 настоящей главы. Результаты экспериментальных измерений представлены на рисунке 2.6, анализ которых позволяет сформулировать следующие выводы.

Во-первых, коэффициент трения скольжения резин существенно выше, чем материала на основе ЭВА. Высокие фрикционные свойства резин отмечены во многих литературных источниках [89], которые указывают на высокую адгезионную составляющую силы трения резин и каучуков в целом. Во-вторых, зависимости для обоих материалов идентичны и представляют собой экстремальные кривые, что свидетельствует об общей закономерности влияния плотности подошвенных материалов на их фрикционные свойства. При этом максимумы коэффициента трения скольжения имеют место при $\rho = 450 \text{ кг/м}^3$ для материала на основе ЭВА и при $\rho = 580 \text{ кг/м}^3$ для резины.

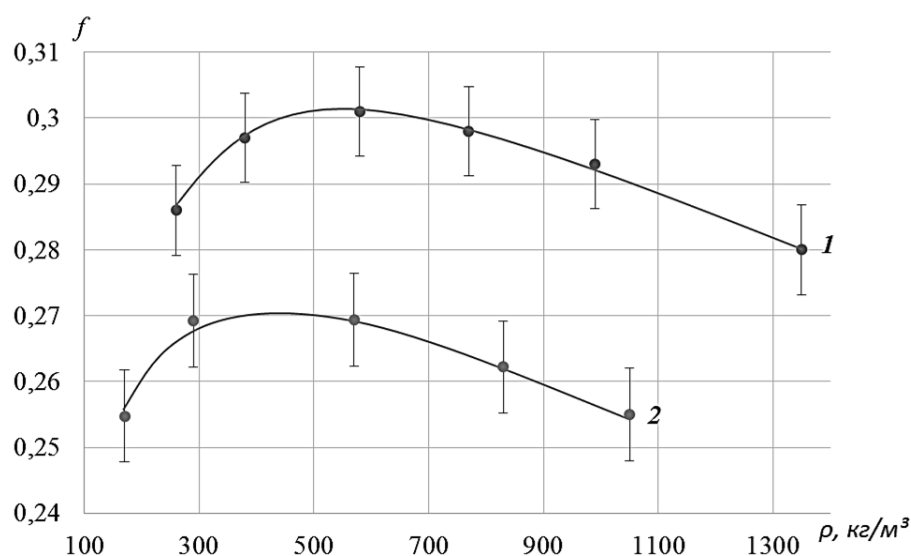


Рисунок 2.6. Зависимость коэффициента трения подошвенных материалов из резины (1) и ЭВА (2) от их плотности

Представленные закономерности можно объяснить с позиций молекулярно-механической теории трения твердых тел, согласно которой сила трения скольжения складывается из механической и молекулярной

составляющих [90]. Применительно к скольжению эластичных подошвенных материалов по твёрдой шероховатой поверхности механическая составляющая возникает из-за деформации поверхностного слоя материала при контактах с неровностями опорной поверхности, а молекулярная составляющая – вследствие разрушения адгезионной связи в зонах соприкосновения тел.

Способность материала деформироваться под действием внешней нагрузки характеризовали условным модулем упругости [91]. Действительно, при фрикционном взаимодействии эластичных подошвенных материалов с опорной поверхностью происходит вдавливание выступов и их зацепы за материал, вызывающие тормозящее воздействие на него. Очевидно, что материалы с низким модулем упругости легко деформируются, способствуя зацепам.

Определим зависимость условного модуля упругости от плотности материалов на основе ЭВА для оценки влияния этого показателя на фрикционные характеристики подошвенных материалов.

Условный модуль упругости определяли по ГОСТ 270-75 [92] при относительном удлинении образцов, равном 100 % [93]. Для этого определяли разрывные характеристики образцов материала в виде лопаток типа II при их удлинении.

Характерная кривая растяжения образцов материала на основе ЭВА представлена на рисунке 2.7, где также иллюстрируется определение величины нагрузки P_{100} при 100-процентном удлинении образцов. Имея эти показатели определяли условный модуль упругости по формуле

$$E = P_{100}/S, \quad (2.4)$$

где P_{100} – нагрузка при 100-процентном удлинении образцов;

S – площадь поперечного сечения образцов.

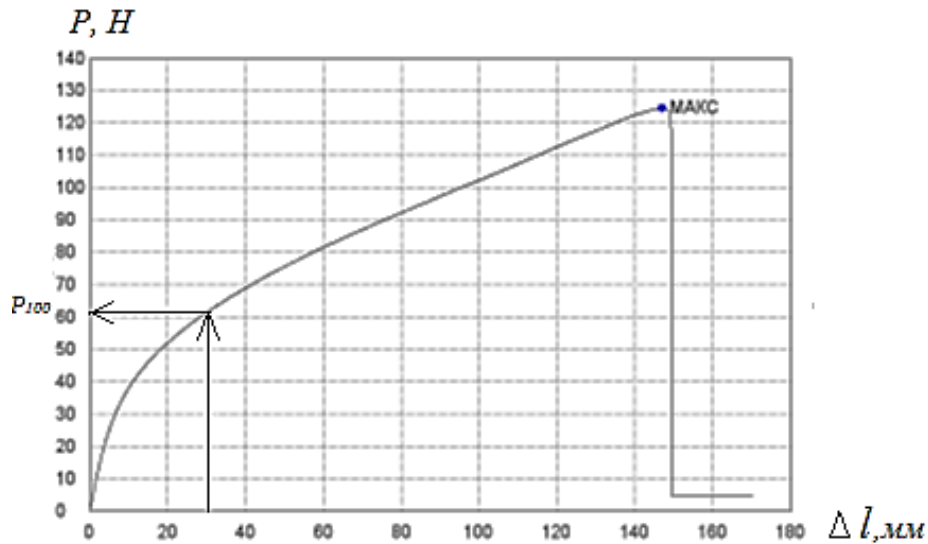


Рисунок 2.7. Зависимость нагрузки P от растяжения Δl образцов материала на основе ЭВА

Молекулярную составляющую сил трения скольжения характеризовали площадью фактического контакта эластичных материалов с твердыми выступами на опорной поверхности [91]. Прежде всего отметим, что фактический контакт ходовой части подошв существенно отличается от номинального. Так, в работе [94] показано, что фактический контакт подошв из пористой резины с опорой составляет не более 55 % от номинального, а подошв из кожи – всего 9,5 – 7,6 %. По этой причине антискользкие характеристики обуви на резиновой пористой подошве существенно выше, чем кожаных.

Проведем оценку площади фактического контакта материалов на основе ЭВА с опорной поверхностью. Для этого выступы опорной поверхности моделировали полусферами, образованными стальными шариками диаметром от 1,0 до 4,5 мм, которые внедряли на глубину их радиуса в поверхность пластин из ПТФЭ. Образцы подошвенных материалов разной плотности устанавливали на отдельно взятую полусферу и прижимали их к поверхности пластин грузом 10 кгс, который равен нормальному давлению N на образцы при определении их силы трения скольжения [48]. Полученные модели контактного взаимодействия подошвы с выступом на опорной поверхности фиксировали на фотоаппарат с

высоким разрешением. Общий вид и схематическое изображение контакта подошвы с выступом на опорной поверхности представлены на рисунке 2.8.

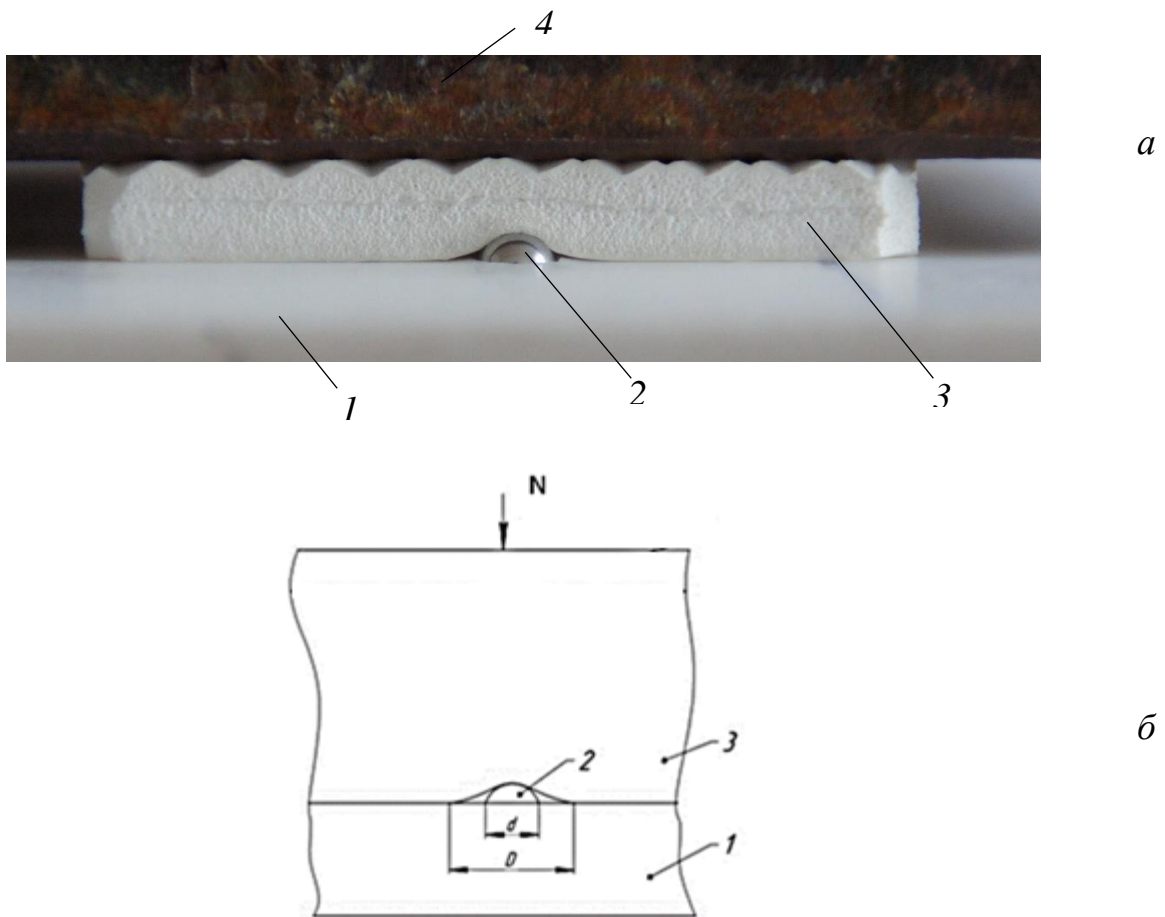


Рисунок 2.8. Общий вид (а) и схема (б) фрикционного контакта исследуемых поверхностей:

1 – опорная поверхность из ПТФЭ; 2 - полусфера; 3 – образец подошвенного материала; 4, N– груз;

Из рисунка 2.8, а следует, что вокруг полусферы формируется участок, в пределах которого контакт подошвенного материала с опорной поверхностью отсутствует. Этот участок представляет собой кольцо, внешний диаметр которого равен D , а его внутренний диаметр с небольшой погрешностью можно считать равным d . На рисунке 2.8, б также показана схема деформация подошвенного материала и кольцевая область отсутствия его контакта с опорной поверхностью.

Площадь кольца можно рассчитать по следующей формуле

$$S_k = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}. \quad (2.5)$$

Заметим, что увеличение или уменьшение площади кольца S_k влияет соответственно на уменьшение или увеличение площади фактического контакта S_ϕ соприкасающихся поверхностей. Введем в рассмотрение безразмерный параметр, которым удобно характеризовать площадь S_ϕ фактического контакта рассматриваемых контртел:

$$\omega = \frac{d^2}{D^2 - d^2}. \quad (2.6)$$

Имея результаты измерений внешнего диаметра кольца D при контактах материала разной плотности с полусферами разных размеров, получили значения параметра ω , характеризующего площадь фактического контакта материала с опорной поверхностью. Отметим, что по результатам многочисленных экспериментов оказалось, что плотность подошвенного материала оказывает влияние на площадь фактического контакта с опорной поверхностью не зависимо от величины выступа. Результаты этого влияния отражены и в наших работах [95-97].

Экспериментальные значения параметров E и ω материалов на основе ЭВА представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Условный модуль упругости E и параметр ω материала на основе ЭВА

ρ , кг/м ³	170	290	570	830	1050
E , МПа	0,80±0,20	1,23±0,17	1,72±0,25	2,80±0,22	4,70±0,30
ω	0,60±0,030	0,15±0,025	0,03±0,020	0,02±0,015	0,01±0,004

Сопоставление зависимостей параметра ω и модуля упругости E от плотности материала ρ представлено на рисунке 2.9.

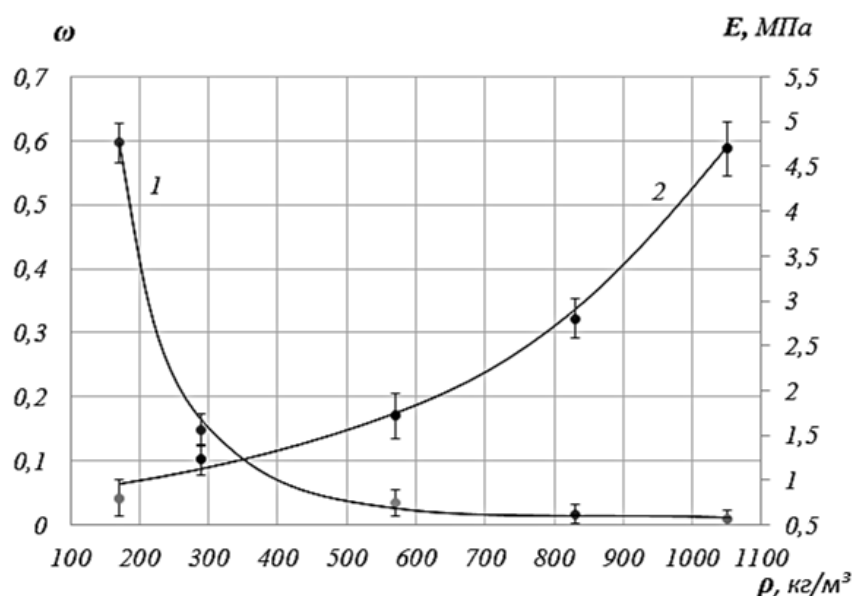


Рисунок 2.9. Влияние плотности подошвенных материалов на параметр ω (кривая 1) и модуль упругости E (кривая 2)

Очевидно, что плотность ρ подошвенного материала оказывает противоположное влияние на значения модуля упругости E и параметр ω . Так, значения параметра ω с увеличением плотности подошвенного материала снижаются, причем резкое их снижение наблюдается у материалов $\rho=170-550$ кг/м³. Повышение плотности от 550 до 1050 кг/м³ приводит к незначительному уменьшению параметра ω , в то время как модуль упругости E на этом интервале, наоборот, интенсивно возрастает. Характер зависимостей на рисунке 2.9 можно объяснить следующим образом. Материалы плотностью до 500-550 кг/м³ легко поддаются деформации из-за их большой эластичности. Такие материалы при взаимодействии с выступом на опорной поверхности «обволакивает» этот выступ, тем самым значительно повышая площадь фактического контакта с опорной поверхностью и, соответственно, тормозящую силу. Подошвенные материалы плотностью выше 550-600 кг/м³ взаимодействуют с выступами только по их вершинам, поэтому на тормозящую силу в большей степени влияют межмолекулярные связи между контактирующими поверхностями.

Таким образом установлено, что даже микровыступы на опорной поверхности оказывают заметное влияние на механическую составляющую

силы трения скольжения и, следовательно, на фрикционное взаимодействие в целом. Для характеристики микрошероховатой поверхности пластин из ПТФЭ проводили анализ профилограммы их поверхностей с помощью программы «ФемтоСкан Онлайн» [98]. Для сопоставления профилограммы с микро- и макровыступами в поверхность пластины внедряли стальной шарик диаметром 2,5 мм. Полученные профилограммы представлены на рисунке 2.10.

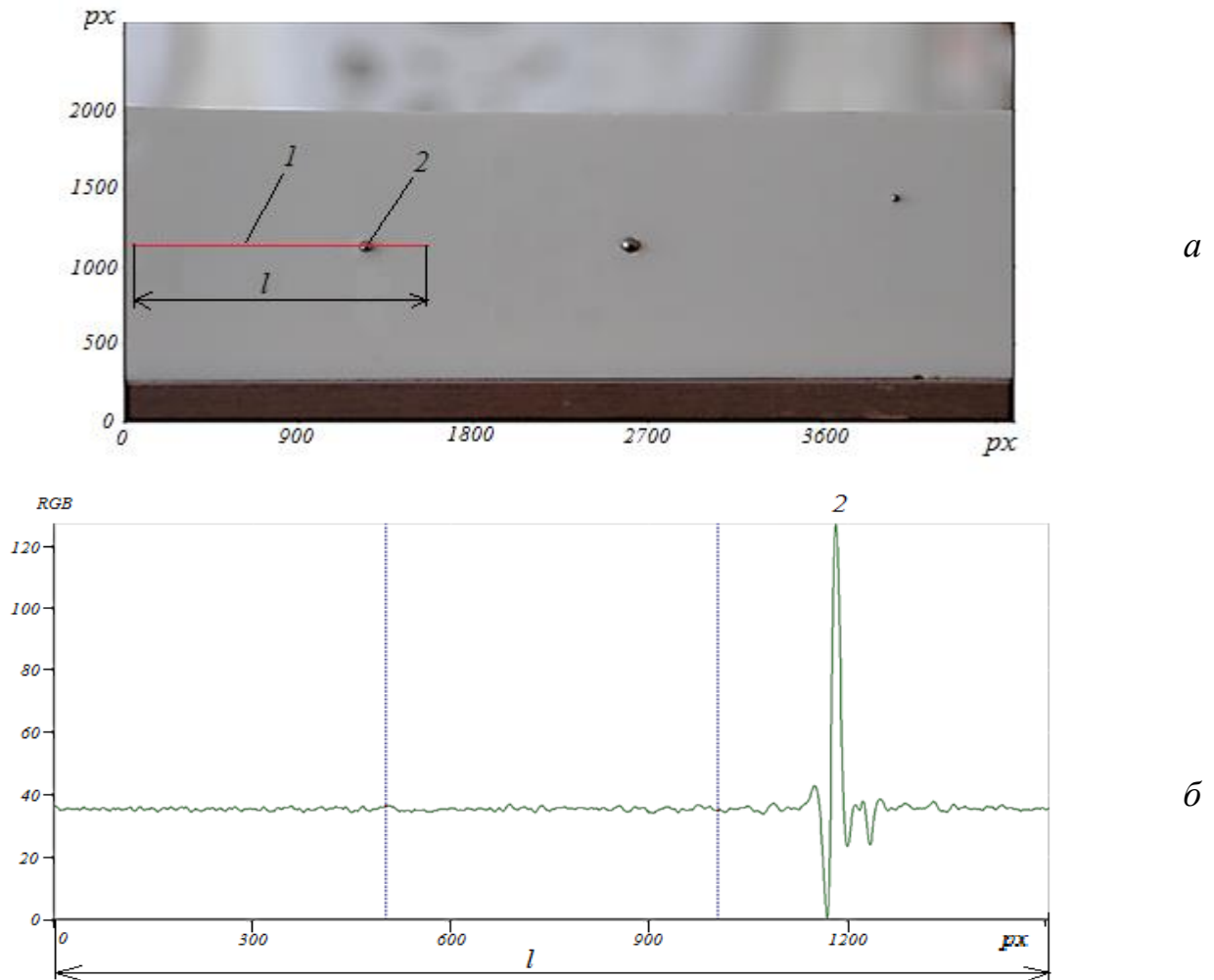


Рисунок 2.10. Поверхность пластины из ПТФЭ (а) и профилограмма по линии зонирования 1 (б):

l – длина линии зонирования; 2 – полусфера радиусом $R = 2,5$ мм и соответствующий ей пик на профилограмме

Анализ профилограмм подтверждает наличие на модельной поверхности регулярной шероховатости с высотой микровыступов, лежащей в интервале 0,03-0,08 мм. После выявления влияния микровыступов на характер фрикционного взаимодействия подошвенного материала с опорной

поверхностью возникает вопрос о закономерности влияния макровыступов на коэффициент трения скольжения эластичных подошвенных материалов и о величине тормозящей силы, возникающей при контакте образцов материала с выступом разного порядка. Исследованию этих вопросов посвящена третья глава диссертационной работы.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. На основе анализа проведенных в работе экспериментальных измерений установлено, что противоречивость полученных в диссертации и известных данных о фрикционных характеристиках подошвенных материалов при скольжении по обледенелым поверхностям тротуаров и дорог объясняются трудностями поддержания при измерениях стабильного состояния опорных поверхностей и температуры испытаний.

2. Предложена модель обледенелой опорной поверхности, представляющая собой пластины из политетрафторэтилена, фрикционные характеристики и микронеровность которых близки к соответствующим показателям льда и остаются практически неизменными даже при длительных скольжениях по ним и температурным колебаниям окружающей среды, что значительно повышает точность экспериментальных измерений сил трения скольжения.

3. Выявлена закономерность влияния плотности полимерных подошвенных материалов на их фрикционные свойства при скольжении по модели обледенелой поверхности, которая предсказывает максимальные значения коэффициентов трения скольжения при плотности 450...580 кг/м³.

4. Показано, что выявленная экстремальная зависимость фрикционных характеристик подошвенных материалов от их плотности обусловлена влиянием двух основных факторов – упругостью подошвенных композиций и площадью их контакта с опорной поверхностью, которые оказывают на силы трения скольжения противоположное воздействие, что хорошо согласуется с положениями молекулярно-механической теории трения твердых тел.

3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЛЬЕФА С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Противоскользящие свойства подошв определяются не только фрикционными характеристиками подошвенных материалов, но и видом рельефа ходовой части и шероховатостью опорной поверхности. В настоящей главе рассмотрены экспериментальные исследования фрикционных взаимодействий элементов рельефа подошв с опорной поверхностью, содержащей как единичный выступ, так и множество выступов. Предложены расчетные соотношения для оценки возникающих при этом тормозящих воздействий на обувь и представлена модель взаимодействия системы «подошва-опорная поверхность».

3.1 Исследование фрикционного взаимодействия элементов ходовой части подошв с опорной поверхностью

Из литературных источников [62, 63], а также наших наблюдений следует, что поверхности тротуаров и дорог содержат многочисленные выступы и впадины различных видов и размеров. Очевидно, что на силы трения скольжения оказывают влияние выступы, поэтому в дальнейшем, говоря о неровностях на опорной поверхности, будем подразумевать выступы.

Как правило, выступы имеют неправильную форму [99]. Для теоретических исследований и расчетов контактного взаимодействия с контртелами их форму представляют в виде правильных геометрических фигур цилиндров, пирамид, тетраэдров, полусфер. Однако в подавляющем большинстве приближений выступы представляют в виде полусфер, что позволяет получать расчетные соотношения, дающие адекватные расчетные результаты с допустимой погрешностью [73].

Для исследования сил трения скольжения элементов рельефа ходовой части подошв по скользкой поверхности, содержащей выступы, разработана

модель опорной поверхности. Она представляет собой пластину из ПТФЭ, в которую для симуляции выступов внедряли стальные шарики на глубину их радиуса. При этом подбирали шарики диаметром от 1,0 до 4,0 мм. Этот диапазон размеров шариков выбран нами из наблюдений состояния опорной поверхности тротуаров и дорог и обусловлен следующими обстоятельствами.

Во-первых, предварительные измерения сил трения скольжения образцов подошвенных материалов разной эластичности по модельной опорной поверхности показали, что шарики диаметром менее 1,0 мм не оказывают заметного влияния на измеряемые параметры. При этом различия сил трения скольжения по модели опорной поверхности с шариками и без них лежали в пределах погрешности измерений. Эти различия становились заметными лишь при диаметре шарика более 1,0 мм.

Во-вторых, наблюдения реальных опорных поверхностей, в том числе обледенелых и ледяных, показали, что выступы на них высотой более 3,0 мм встречаются довольно редко. По-видимому, образование таких крупных выступов связано со случайными обстоятельствами (дефекты поверхности, вмораживание в них крупных каменистых частиц и т.д.).

В качестве подошвенных материалов использовали композиции на основе ЭВА различной плотности. Таким образом при проведении исследований определяли силы трения скольжения образцов подошвенных материалов различной эластичности при их перемещении по модельной поверхности с последующим контактным взаимодействием с шариком, имитирующим выступ (рисунок 3.1).

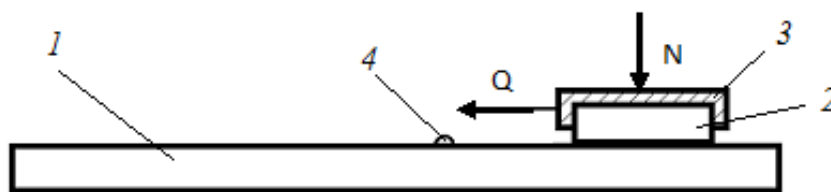


Рисунок 3.1. Схема модели обледенелой опорной поверхности с единичным выступом:

1 – пластина из ПТФЭ; 2 – образец подошвенного материала; 3 – каретка; 4 – выступ;
N – нормальное давление; Q – тянущая сила

На рисунке 3.2 представлена типовая диаграмма экспериментального измерения силы трения скольжения подошвенного материала по модели опорной поверхности, содержащей единичный выступ.

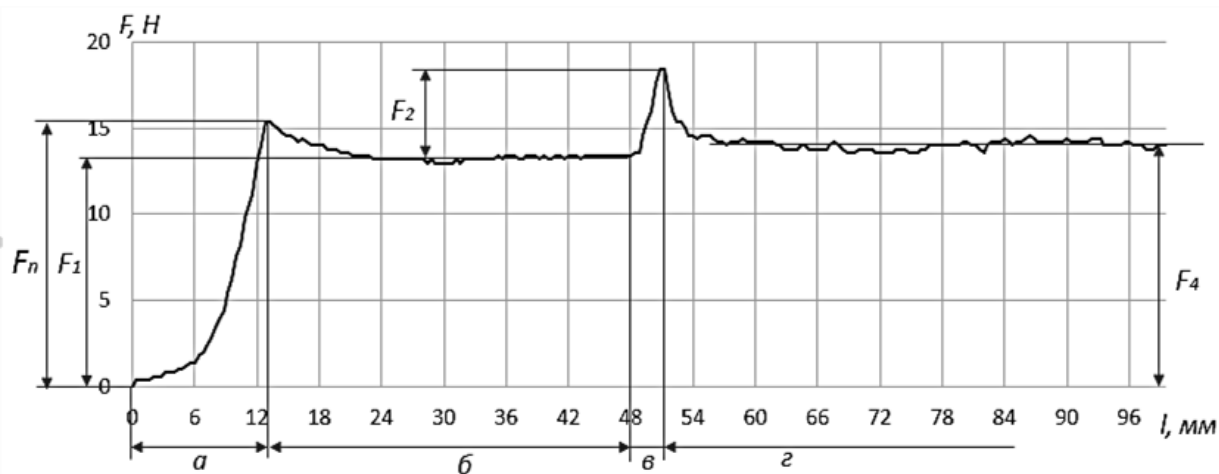


Рисунок 3.2. Типовая диаграмма определения силы трения скольжения F :
 a – предварительное смещение образца; b – скольжение по участку без выступа;
 $в$ – контактное взаимодействие с выступом; $г$ – скольжение по выступу на опорной поверхности; F_n – сила трения покоя; F_4 – сила трения скольжения по поверхности с выступом

По каждой полученной диаграмме определяли среднее значение силы трения F_4 при скольжении подошвенного материала по единичному выступу (участок $г$) и рассчитывали коэффициент трения скольжения.

Методика определения модуля упругости образцов подошвенных материалов изложена в главе 2, в результате которого получили значения модуля упругости материалов в пределах от 0,8 до 4,7 МПа. Силу трения скольжения подошвенных материалов проводили по ГОСТ 12.4.083-80 по методике, описанной в подразделе 2.1 главы 2. При проведении экспериментальных исследований силу трения скольжения определяли по результатам шести параллельных измерений, что обеспечивало доверительную ошибку среднего показателя не более 10% (при доверительной вероятности 95%).

После математической обработки экспериментальных результатов получены зависимости коэффициентов трения скольжения образцов подошвенных материалов по модельной опорной поверхности от модуля упругости E , которые представлены на рисунке 3.3.

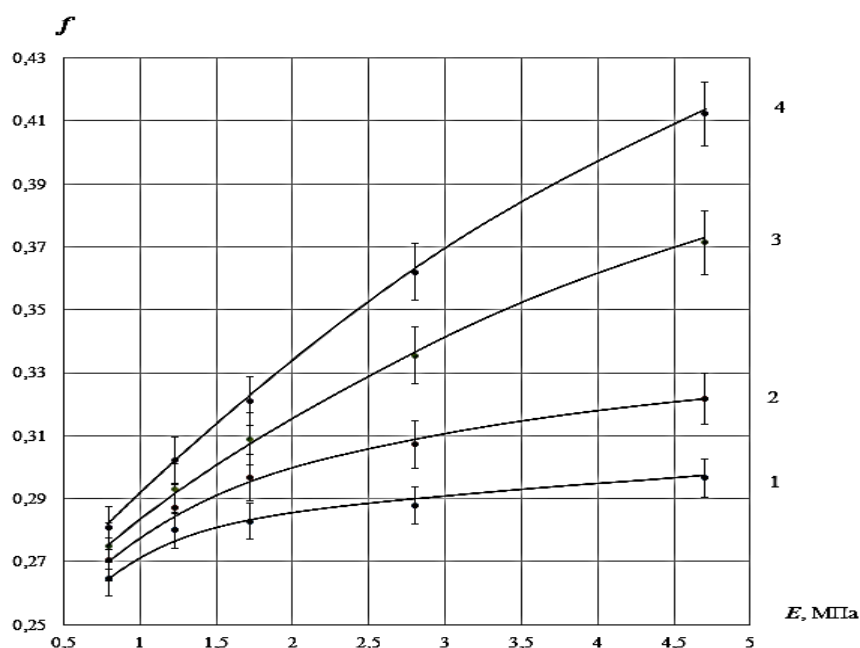


Рисунок 3.3. Зависимости коэффициента трения f подошвенных материалов от их условного модуля упругости E при скольжении по опорной поверхности с выступом разной высоты R :

1 – $R = 0,5$ мм; 2 – $R = 0,75$ мм; 3 – $R = 1,25$ мм; 4 – $R = 1,75$ мм

Очевидно, что зависимости имеют постоянный восходящий характер, что говорит о значительном влиянии на фрикционные характеристики подошвенных материалов их модуля упругости и высоты выступа на опорной поверхности.

Характер закономерностей обусловлен площадью фактического контакта подошвенного материала с собственно опорной поверхностью, которая сохраняется не зависимо от размера выступа, а также деформацией материала в месте взаимодействия с выступом. При этом пористые материалы деформируются в большей степени, чем монолитные, что позволяет им преодолевать выступ без существенного увеличения тормозящего действия. У материалов с высоким модулем упругости при скольжении по выступу возникают значительные деформации внутреннего слоя, характер которых представлен на рисунке 3.4. На высокие значения коэффициента трения скольжения также влияет межмолекулярное взаимодействие, которое возникает в зоне контакта материала с выступом, причем, чем больше зона контакта, тем сильнее будет это взаимодействие. Выступ также играет роль зацепа, внедряясь в толщу материала и оказывая тормозящее действие.

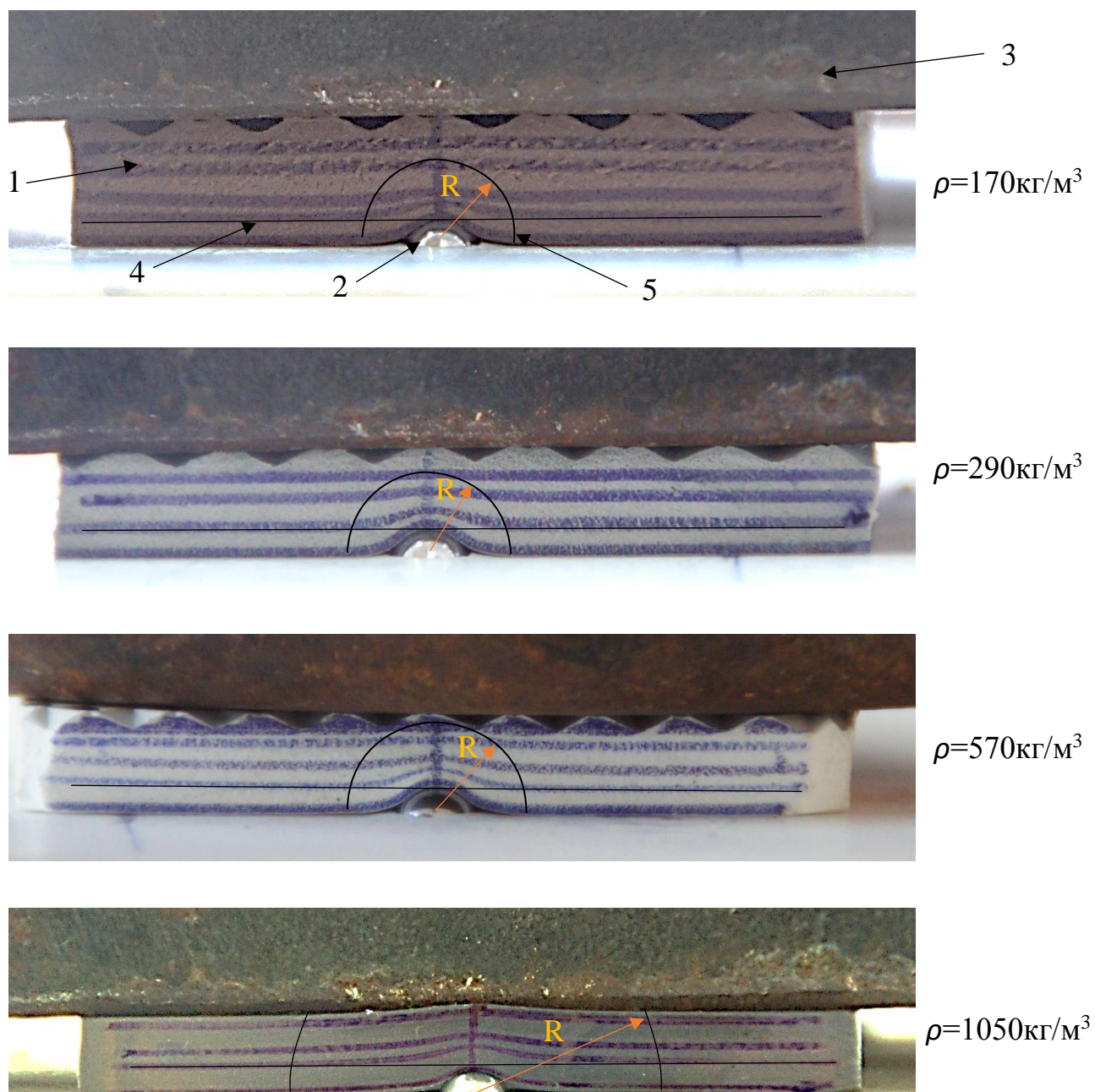


Рисунок 3.4. Фотографии контактного взаимодействия подошвенного материала (1) разной плотности с полусферой (2) радиусом $R=2,25$ мм: 3 – груз; 4 – контрольная линия; 5 – кривая, ограничивающая область деформации материала

Исследование деформации подошвенного материала в зоне его контакта с выступом проводили следующим образом. В пластину из ПТФЭ наполовину углубляли стальной шарик, имитирующий выступ, диаметром 4,5 мм. На полученную полусферу устанавливали образец подошвенного материала из ЭВА разной плотности таким образом, чтобы фиксировать на фотоаппарат выступ и

торцевую часть образца. Сверху образец прижимали грузом весом 10кг. Для точной визуализации деформации материала, на видимую торцевую часть подошвенного материала наносили параллельные друг другу и относительно плоскости образца тонкие линии, разделенные пополам поперечной полосой.

На фотографиях видно, что с увеличением плотности подошвенного материала и под действием полусферы, имитирующей выступ, деформация материала нарастает, причем, распространение деформационных сил происходит симметрично вокруг полусферы.

Обозначив распространение деформации через радиус R , вычисляли его значение по каждой полученной фотографии контактного взаимодействия подошвенного материала с полусферой на опорной поверхности. Зависимость радиуса распространения деформации R от плотности материала представлена на рисунке 3.5.

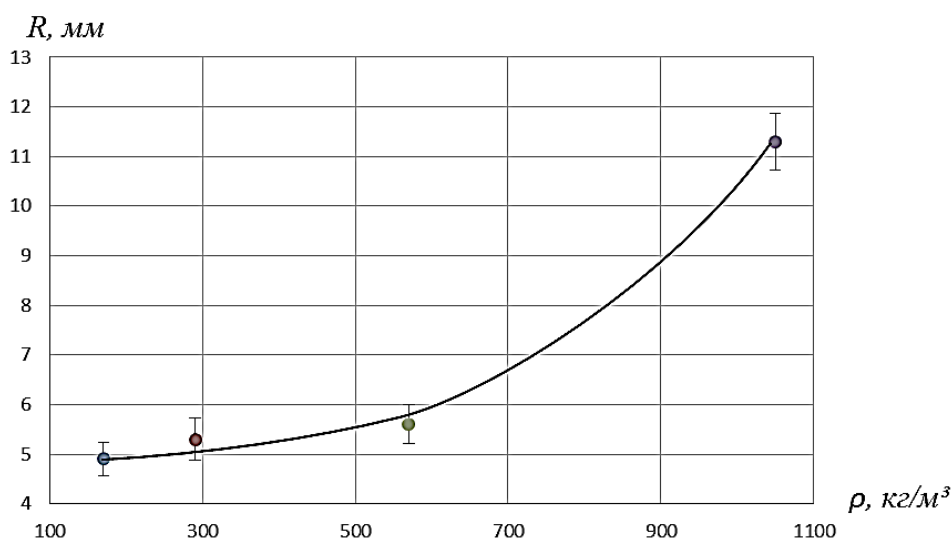


Рисунок 3.5. Зависимость радиуса распространения деформации R от плотности подошвенного материала

Характер зависимости на рисунке 3.5 подтверждает наше предположение о возрастании внутренней деформации материала, величина которой зависит от плотности материала и от высоты полусферы на опорной поверхности. Очевидно, что подошвенные материалы плотностью до 600-700 кг/м³ имеют меньший радиус деформации из-за своей пористой структуры. Так при контакте с выступом и под действием нагрузки, имеющиеся в материале мелкие поры

сминаются и материал «обволакивает» выступ, образуя большую площадь контакта между ними и собственно опорной поверхностью. Материалы плотностью от 700 кг/м^3 образуют значительный радиус внутренней деформации при контакте с выступом. Это происходит из-за плотной структуры подошвенных материалов и приводит к уменьшению площади их фактического контакта с выступом и собственно опорной поверхностью.

При проведении исследований фрикционного взаимодействия подошвы с выступом на опорной поверхности, нами было установлено и отображено в работах [100, 101], что при первоначальном контакте с выступом материал сначала притормаживает, зацепляясь за него, деформируется, а затем под действием прилагаемой силы скользит по выступу. На диаграммах (см. рис. 3.2.), заметен резкий скачек силы трения на участке ϵ , характеризующий начальное контактное взаимодействие подошвенного материала с выступом.

Для выявления и анализа деформационных характеристик подошвенных материалов, возникающих при взаимодействии с выступом, проводили видеосъемку картины деформации. С этой целью на торцевую поверхность образца наносили окружности диаметром 6 мм, а в поверхность пластин из ПТФЭ внедряли стальной шарик диаметром 4 мм (см. рис. 3.6). Выбор диаметра окружностей, наносимых на торцевую поверхность образца подошвенного материала, обусловлен принципом зрительного восприятия и толщиной материала. Так толщина материала, равная 8,0 мм, из-за рельефной части поверхности позволяет нанесение окружностей диаметром от 1,0 до 7,5 мм. На стадии апробирования видеосъемки установлено, что для хорошего зрительного восприятия картины деформации материала диаметр окружностей следует выбирать равным 6 мм. Выбор высоты выступа на опорной поверхности обусловлен также зрительским восприятием при проведении эксперимента и анализе полученных фотографий.

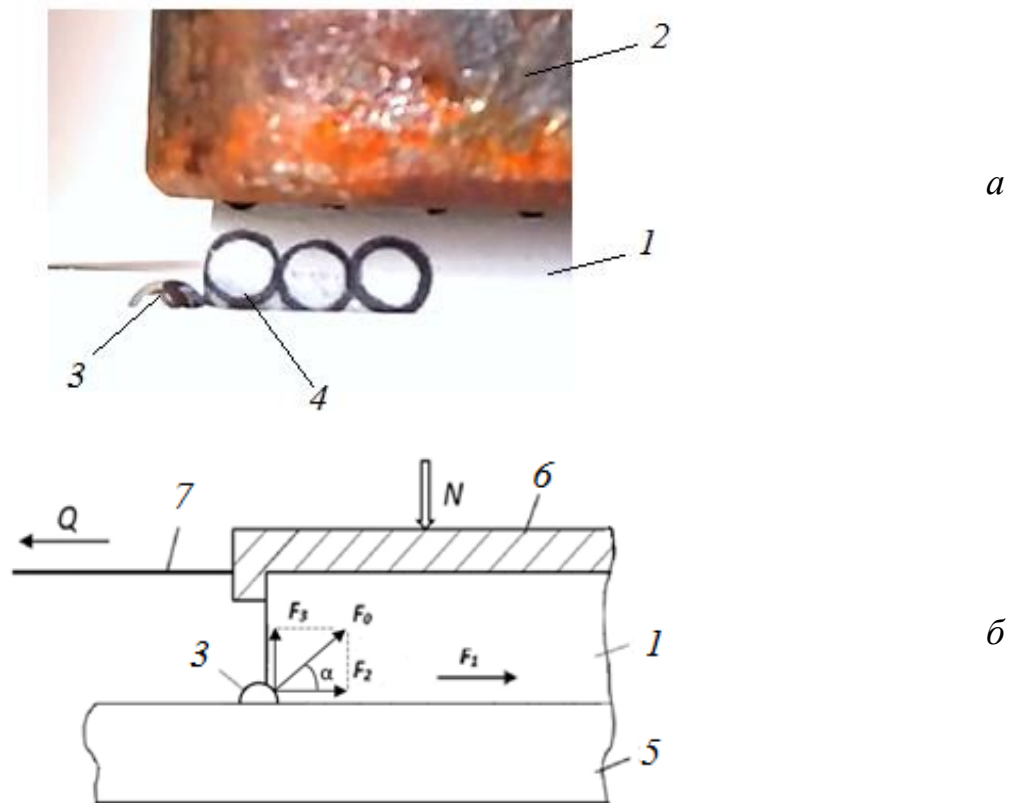


Рисунок 3.6. Кадр видеосъемки (а) и схема (б) перемещения образца подошвенного материала по опорной поверхности с единичным выступом: 1 – образец подошвенного материала; 2, N – груз; 3 – выступ; 4 – окружности; 5 – опорная поверхность; 7 – гибкий тросик; F_1 – сила трения скольжения; F_0 – воздействие полусферы на подошвенный материал, F_2 и F_3 – горизонтальные и вертикальные составляющие силы F_0 ; Q – тянущее усилие

Поясним, что элемент подошвенного материала, вставленный в каретку, прижимался к опорной поверхности грузом $N = 10$ кгс, что соответствует условиям измерения силы трения скольжения по ГОСТ 12.4.083-80. Скольжение образца по опорной поверхности, содержащей полусферу, осуществлялось путем перемещения кассеты тянущим тросиком.

При экспериментальных исследованиях образец подошвенного материала сначала перемещался по участку опорной поверхности без выступа, преодолевая силу трения F_1 . После того, как образец достигал выступ, имеющий форму полусферы, возникло силовое взаимодействие упругого подошвенного материала с твердой полусферой. Упрощенно это взаимодействие можно представить в виде действия на образец материала силы F_0 . Тогда

горизонтальная составляющая силы F_0 будет характеризовать тормозящее действие F_2 на образец подошвенного материала. На последнем этапе экспериментальных измерений образец скользил по полусфере и по опорной поверхности, при этом образец материала преодолевал силу трения скольжения F_4 (см. рис.3.2).

На рисунке 3.7 представлены этапы деформации окружностей при контакте образца с полусферой, которые вычерчены на основе анализа кадров видеосъемки. Эти схемы иллюстрируют последовательность и характер деформации подошвенного материала при контакте с полусферой и скольжении по ее поверхности. При этом следует заметить, что наибольшую деформацию испытывает сектор abc и прилегающие к нему зоны.

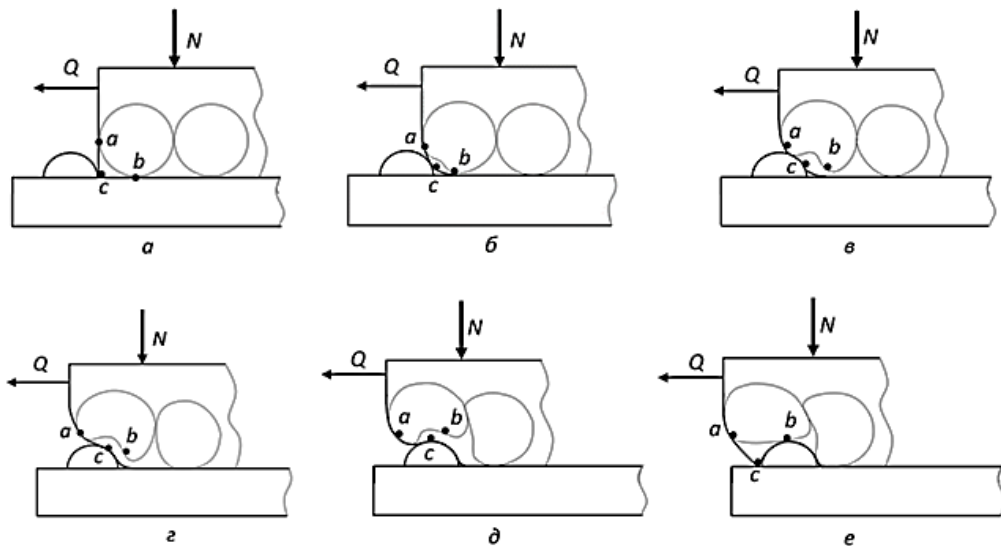


Рисунок 3.7. Этапы деформации материала при его контакте с полусферой:

N – нормальное давление (груз); Q – тянущее усилие; abc – угловой сектор

Рассмотренная картина деформации подошвенного материала позволяет установить качественный характер изменения величины и направления вектора силы F_0 (рис.3.6, б). Эта сила возникает при фронтальном контакте образца подошвенного материала с полусферой, затем увеличивается по мере продвижения образца и достигает своего максимума непосредственно перед сходом сектора abc с поверхности полусферы (рис.3.7, в).

Интенсивный рост усилия F_0 (следовательно, и F_2) происходит также благодаря воздействию боковой поверхности основания полусферы на сектор $авс$. Однако по мере продвижения сектора к вершине полусферы угол наклона α вектора силы F_0 увеличивается, что приводит к снижению ее горизонтальной составляющей F_2 . При этом исчезает контакт сильно сжатого сектора $авс$ с боковой поверхностью у основания полусферы, что также способствует снижению усилия F_2 . В результате сумма силы трения F_1 и тормозящего усилия F_2 трансформируется в силу трения скольжения F_4 по участку опорной поверхности, содержащему выступ в виде полусферы (рис.3.6, б).

Имея качественную картину силового взаимодействия элемента рельефа подошвенного материала с полусферой, определяли тормозящее усилие F_2 (см. рис. 3.2). Для этого проводили испытания по ГОСТ 12.4.083-80, используя в качестве модели опорной поверхности с единичным выступом пластины из ПТФЭ с внедренными в их поверхности стальными шариками разного диаметра. Полученные графики обрабатывали следующим образом: находили максимальные значения силы трения при контакте материала с выступом (участок $в$), из которых вычитали средние значения силы трения при перемещении материала по поверхности без выступов (участок $б$). Таким образом находили параметр F_2 , среднее значение которого определяли по результатам восьми параллельных измерений, что обеспечивало доверительную ошибку среднего показателя не более 10% (при доверительной вероятности 95%).

На рисунке 3.8 приведены зависимости тормозящего усилия F_2 от радиуса полусферы R , измеренного при скольжении образцов материала с разным модулем упругости E .

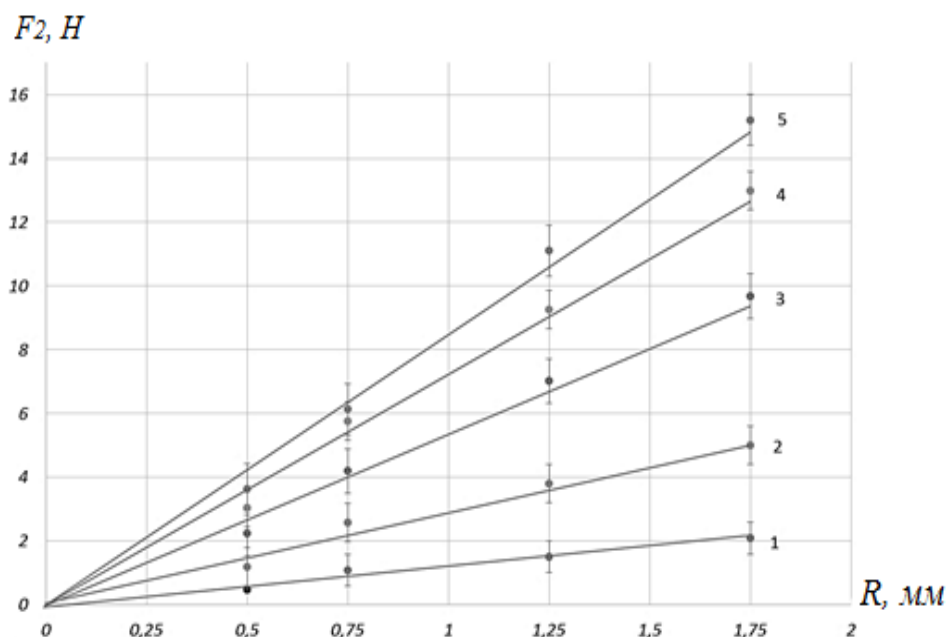


Рисунок 3.8. Зависимость тормозящего усилия F_2 подошвенного материала с разным модулем упругости E от радиуса полусферы R :

1 – $E = 0,8$ МПа; 2 – $E = 1,72$ МПа; 3 – $E = 2,8$ МПа; 4 – $E = 3,5$ МПа; 5 – $E = 4,7$ МПа

Из рисунка 3.8 следует, что зависимости тормозящего усилия F_2 от радиуса полусферы R являются линейными, которые могут быть представлены выражением

$$F_2 = kR, \quad (3.1)$$

где k – угловой коэффициент.

Определив коэффициенты k для материалов с разным условным модулем упругости, можно найти зависимость k от E , которая аппроксимируется формулой

$$k = 1,32E^{1,3}. \quad (3.2)$$

Подставив зависимость k от E (3.2) в выражение (3.1), получим следующую формулу для расчета тормозящего усилия F_2

$$F_2 = 1,32RE^{1,3}. \quad (3.3)$$

Формула (3.3) вполне приемлема для оценочных расчетов тормозящего усилия при проскальзывании подошвы по опорной поверхности, а также при проектировании антискользящего рельефа ходовой поверхности подошв.

Исследование фрикционных закономерностей подошвенных материалов при их скольжении по единичному выступу на опорной поверхности и получение большого объема значимых экспериментальных данных послужило основанием для выявления закономерностей контактного взаимодействия подошвенных материалов со множеством выступов на опорной поверхности.

3.2 Исследование контактного взаимодействия подошвенных материалов со множеством выступов на опорной поверхности

Для исследования фрикционных свойств подошвенных материалов при их скольжении по неровностям обледенелого грунта использовали модели опорных поверхностей с группами выступов, имеющих разные размеры. Полусферы располагали на опорной поверхности в шахматном порядке, как показано на рисунке 3.9, а также в нашей работе [102]. Подобное расположение обусловлено тем, что неровности на поверхности дорог и тротуаров расположены хаотично. Поэтому для построения модели группы выступов полагали, что они имеют шахматное расположение на поверхности ПТФЭ. Выбор количества выступов, приходящихся на образец подошвенного материала размером 50x50 мм (размер образца по ГОСТ 12.4.083-80) обусловлен наблюдаемой средней частотой их размещения на реальных поверхностях дорог и тротуаров. Такой подход показал, что на участке 50x50 мм располагается от 5 до 15 выступов разного размера. Исходя из сложности определения точного количества выступов, полагали, что с образцом подошвенного материала одновременно может контактировать 10 выступов. Здесь следует отметить, что при большем количестве выступов, приходящихся на образец подошвенного материала, контакт с собственно опорной поверхностью сводится к минимуму или прекращается вовсе [103]. При таком взаимодействии подошвенный материал скользит по вершинам выступов

(шариков), что приводит к совершенно иному типу фрикционного взаимодействия. Выступы на модели опорной поверхности располагали с учетом следующих параметров (рисунок 3.9, а): расстояние 20 мм между центрами полусфер одного ряда и 1,0 мм между осями, проходящими через центры полусфер соседних рядов. Таким образом исследования проводили для четырех видов опорных поверхностей с выступами разных размеров.

Схема модели опорной поверхности с группой выступов и установленным на нее образцом подошвенного материала представлена на рисунке 3.9, б.

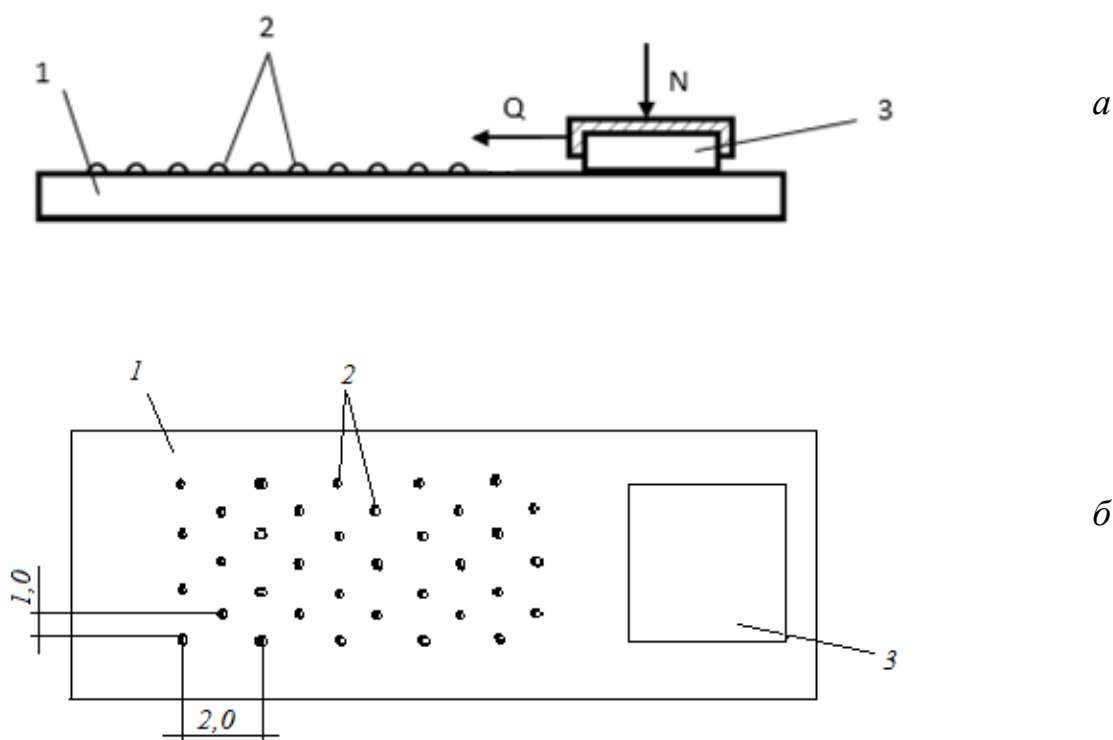


Рисунок 3.9. Схема модели опорной поверхности с группой выступов (а) и линейные размеры расположения выступов на поверхности (б):

1 – пластина из ПТФЭ; 2 – стальные шарики; 3 – образец подошвенного материала; N – груз;
 Q – тянущее усилие

С учетом вышесказанного проводили исследование зависимости коэффициента трения подошвенных материалов разной эластичности от размеров выступов, расположенных в группе. Определение эластичности образцов подошвенных материалов изложено в подразделе 2.3 главы 2, в

результате чего получили значения условного модуля упругости материалов в пределах от 0,8 до 4,7 МПа. Силу трения скольжения подошвенных материалов проводили по ГОСТ 12.4.083-80 по методике, описанной в подразделе 2.1 главы 2. При проведении экспериментальных исследований силу трения скольжения определяли по результатам шести параллельных измерений, что обеспечивало относительную ошибку среднего показателя не более 10% (при доверительной вероятности 95%). На рис.3.10 представлена типовая диаграмма записи силы трения скольжения F .

Поясним, что при измерениях силы трения скольжения F образцы скользили сначала по поверхности без выступов (участок \bar{b}), затем по участку $\bar{в}$, в пределах которого количество контактирующих с материалом выступов последовательно возрастает и, наконец, по участку $\bar{г}$ при максимальном и постоянном числе выступов, контактирующих с образцом.

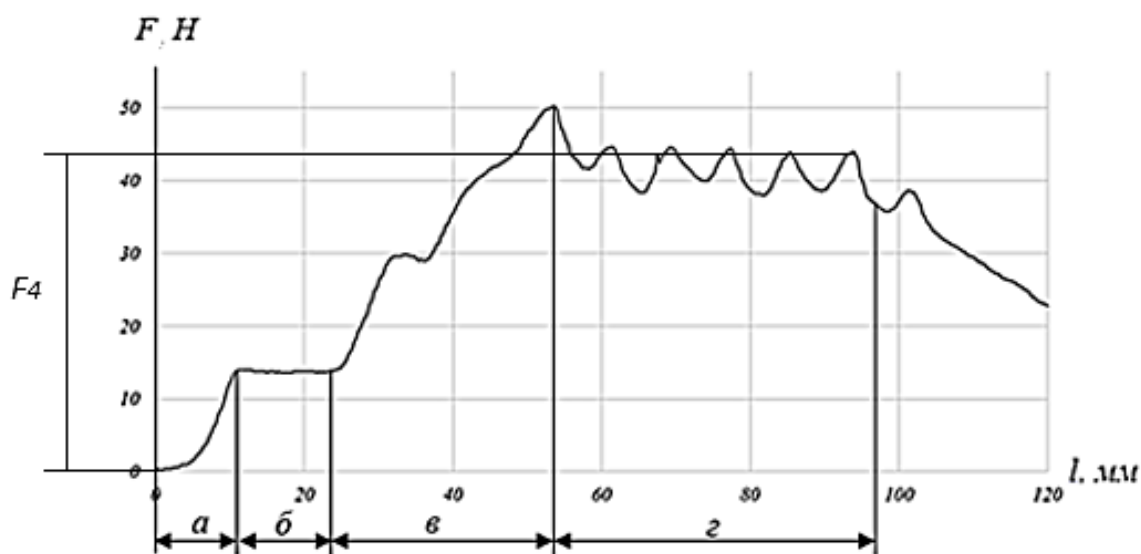


Рисунок 3.10. Типовая диаграмма записи силы трения скольжения F :

a – предварительное смещение образца; \bar{b} – скольжение образца по участку без выступов; $\bar{в}$ – перемещение образца при возрастающем числе выступов, контактирующих с материалом; $\bar{г}$ – перемещение образца при максимальном числе контактирующих с материалом выступов; F_4 – сила трения скольжения по группе выступов

По каждой полученной диаграмме определили среднее значение силы трения F_4 при скольжении подошвенного материала по группе выступов (участок $\bar{г}$).

Таким образом получили зависимости коэффициента трения скольжения образцов подошвенных материалов по опорным поверхностям, содержащим выступы разной величины. Результаты исследования, представленные на рисунке 3.11, согласуются с результатами работы [104, 105].

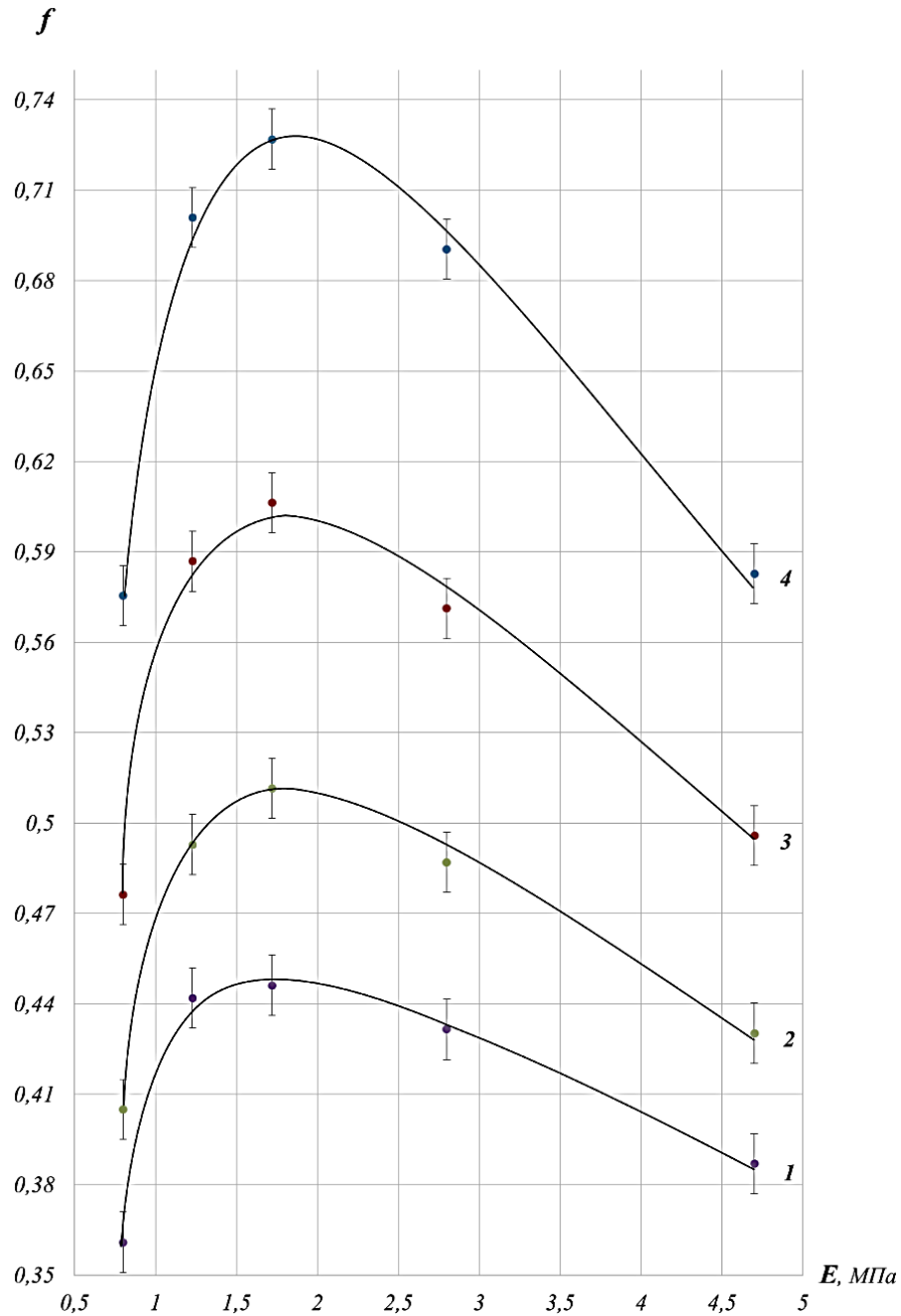


Рисунок 3.11. Влияние эластичности E подошвенного материала на коэффициент трения скольжения f по опорной поверхности с выступами радиусом R :

1 – $R = 0,5$ мм; 2 – $R = 0,75$ мм; 3 – $R = 1,25$ мм; 4 – $R = 1,75$ мм

Очевидно, что зависимость фрикционных характеристик подошвенных материалов от их эластичности при скольжении по поверхности с выступами разного размера имеют схожий экстремальный характер с максимальным значением f у образцов эластичностью $E = 1,5 - 2,0$ МПа. Это дает основание полагать, что закономерности обусловлены единым механизмом, который можно объяснить с позиции молекулярно-механической теории трения [90]. Согласно этой теории, фрикционные характеристики материалов обусловлены механической и молекулярной составляющими силы трения скольжения. Первая составляющая зависит от деформации материала при взаимодействии с выступом, а вторая – от адгезионного взаимодействия контактирующих тел. В ходовой части подошвенного материала, находящегося в адгезионной связи с опорной поверхностью и выступами на ней, возникают упругие деформации, препятствующие скольжению. Поверхностные слои подошвенного материала в этом случае испытывают растяжение. Если упругие силы превышают силы адгезии, происходит разрыв адгезионных связей и микрослои сокращаются. В результате микрослои постоянно испытывают воздействие тормозящих и ускоряющих сил различной амплитуды, а разность между ними составляет тормозящую силу [106].

Повышение размеров неровностей приводит к существенному росту коэффициента трения скольжения, что объясняется возрастанием роли зацепов выступов, вдавливаемых в массив подошвенного материала. При этом коэффициент трения скольжения достигает значительной величины (0,70-0,73), поскольку взаимодействие трущихся тел переходит от скольжения к скольжению с зацеплениями.

Следует отметить, что характер зависимостей коэффициента трения скольжения эластичных подошвенных материалов от размеров единичного выступа (см. рис. 3.3) и выступов в группе (см. рис. 3.11) различен. Это объясняется эластичностью подошвенных материалов и высотой выступов. Так, наличие и размер единичного выступа на опорной поверхности не вызывает нарушения площади фактического контакта подошвенного материала с

собственно опорной поверхностью. Помимо этого, единичный выступ играет роль «зацепера», вдавливаясь в массив материала, и тем самым значительно повышая фрикционные характеристики. Наличие на опорной поверхности группы выступов, а также их размеры приводят к значительному снижению площади фактического контакта подошвенного материала с собственно опорной поверхностью, либо к его полному исключению [107]. В последнем случае контактное взаимодействие происходит по вершинам выступов, что не позволяет достичь высоких значений коэффициента трения скольжения. Для подтверждения этого предположения моделировали контактное взаимодействие подошвенного материала с выступами на опорной поверхности. Для этого образцы подошвенных материалов разной плотности устанавливали на группу выступов и прижимали их к модели опорной поверхности пластин грузом 10 кгс, который равен нормальному давлению N на образцы при определении их силы трения скольжения [48]. Полученные модели контактного взаимодействия подошвы с выступами на опорной поверхности фиксировали на фотоаппарат с высоким разрешением. Изображение контакта подошвенного материала с выступами на опорной поверхности представлено на рисунке 3.12.

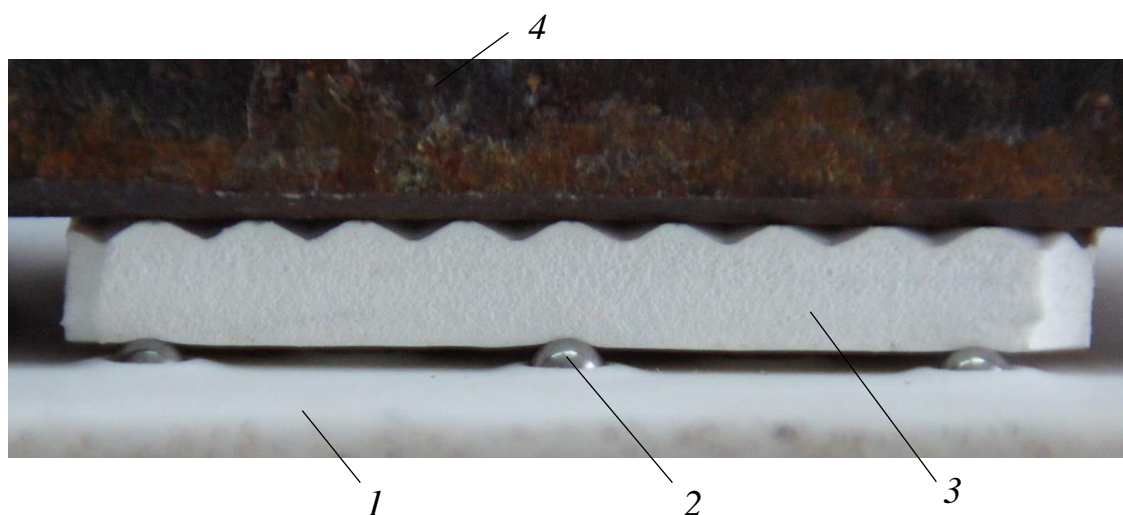


Рисунок 3.12. Общий вид фрикционного контакта исследуемых поверхностей:
1 – опорная поверхность из ПТФЭ; 2 - полусфера; 3 – образец подошвенного материала;
4– груз;

В результате обработки фотографий установлено, что при высоте выступов $h = 0,5 \dots 1,25$ мм пористые подошвенные материалы контактируют как с выступами, так и с собственно опорной поверхностью. Однако при высоте выступов $h \geq 1,75$ мм взаимодействие образцов пористых материалов с собственно опорной поверхностью (т.е. с пластинами из ПТФЭ) прекращается и контакт материала происходит только с вершинами выступов. Такой же контакт с вершинами выступов независимо от их высоты происходит при взаимодействии непористых материалов.

3.3 Моделирование фрикционного взаимодействия ходовой части подошв с опорной поверхностью

В подразделах 3.1 и 3.2 представлены закономерности фрикционного взаимодействия образцов подошвенных материалов разной эластичности с единичными выступами различной высоты, предложены расчетные соотношения для оценки возникающих при этом тормозящих воздействий и рассмотрены особенности трения скольжения элементов рельефа подошв по множеству выступов. В результате этих исследований установлено, что основными факторами, определяющими силы трения скольжения, являются модуль упругости подошвенных материалов и высота выступов на опорной поверхности. При этом неясным остался вопрос о влиянии на силы трения скольжения фактора качества выступов, которое на опорной поверхности может быть различным. Не установлена также общая картина совместного влияния указанных факторов на исследуемые фрикционные характеристики, а также вклад каждого из факторов на силы трения скольжения.

В этой связи представляет интерес исследование влияния основных факторов, определяющих силы трения скольжения элементов рельефа подошв по опорным поверхностям, содержащим различное количество выступов разных размеров. Эта задача решалась с использованием методов математического планирования и анализа эксперимента [108], результаты которой отображены в нашей работе [109].

Таким образом поставлена задача выявления влияния условного модуля упругости E подошвенного материала, высоты R выступов на опорной поверхности и их количества n , одновременно взаимодействующих с материалом, на коэффициент трения скольжения подошвы.

Диапазоны варьирования факторов E и R приняты такими же, как и в исследованиях, представленных в подразделах 3.1 и 3.2. Что касается фактора n , то диапазон его варьирования принят лежащим от 1 до 10. Это обусловлено тем, что при большем числе выступов образцы подошвенного материала теряли контакт с собственно опорной поверхностью, т.е. контактировали только с выступами [103], что представляет собой иной вид контактного взаимодействия.

Предварительные эксперименты показали, что линейная модель решаемой задачи неадекватна. Поэтому была разработана матрица планирования эксперимента второго порядка [109]. Диапазон и уровни варьирования факторов E , R и n представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Матрица планирования эксперимента

Фактор	Уровень варьирования					Интервал варьирования
	-1,682	-1	0	+1	+1,682	
E – условный модуль упругости, МПа (x_1)	0,7	1,5	2,7	3,9	4,7	1,2
R – высота выступов на опорной поверхности, мм (x_2)	0,5	1,0	1,75	2,5	3,0	0,75
n – количество выступов на опорной поверхности, шт. (x_3)	1	3	6	8	10	2

Заметим, что при расчетах значений фактора n , полученные дробные значения округлялись до целого (см. таб. 3.1). Это вносит хотя и незначительные, но дополнительные погрешности в исследуемые закономерности.

Таблица 3.2. Матрица проведения эксперимента

№ опыта	E , МПа	R , мм	n , шт	Параметр оптимизации f
	x_1	x_2	x_3	
1	2	3	4	5
1	1	1	1	0,67
2	-1	1	1	0,75
3	1	-1	1	0,49
4	-1	-1	1	0,6
5	1	1	-1	0,57
6	-1	1	-1	0,6
7	1	-1	-1	0,4
8	-1	-1	-1	0,55
9	-1,68	0	0	0,38
10	1,68	0	0	0,42
11	0	-1,68	0	0,5
12	0	1,68	0	0,89
13	0	0	-1,68	0,45
14	0	0	1,68	0,7
15	0	0	0	0,68
16	0	0	0	0,66
17	0	0	0	0,7
18	0	0	0	0,68
19	0	0	0	0,69
20	0	0	0	0,68

После проведения экспериментов в соответствии с матрицей планирования, результаты которых представлены в таблице 3.2, математической

обработки результатов, расчета коэффициентов регрессии и необходимых критериальных расчетов получено уравнение регрессии вида

$$Y = f(x_1, x_2, x_3), \quad (3.4)$$

где x_1 соответствует условному модулю упругости E подошвенного материала, МПа;

x_2 - высоте выступа на опорной поверхности R , мм;

x_3 - количеству выступов, одновременно контактирующих с ходовой поверхностью подошвы n , шт.

Преобразовав уравнение (3.4) в каноническую форму [108], представим его в именованных величинах:

$$f = 0.681 - 0.022E + 0.088R + 0.059n + 0.019ER - 0.094E^2 - 0.032n^2, \quad (3.5)$$

где f – коэффициент трения скольжения,

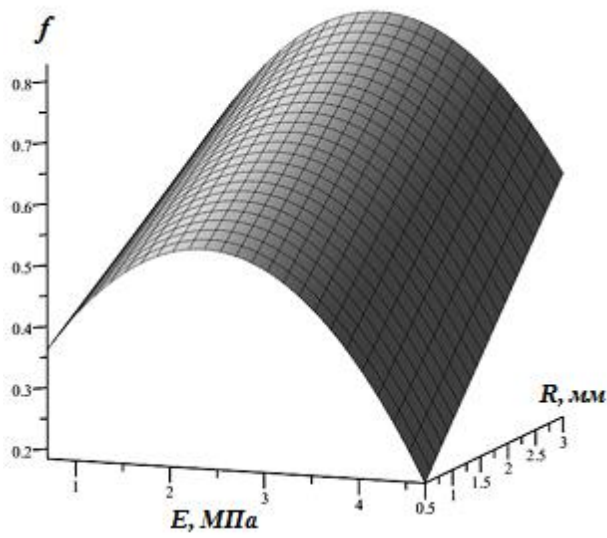
E – условный модуль упругости подошвенных материалов;

R – высота выступа на опорной поверхности;

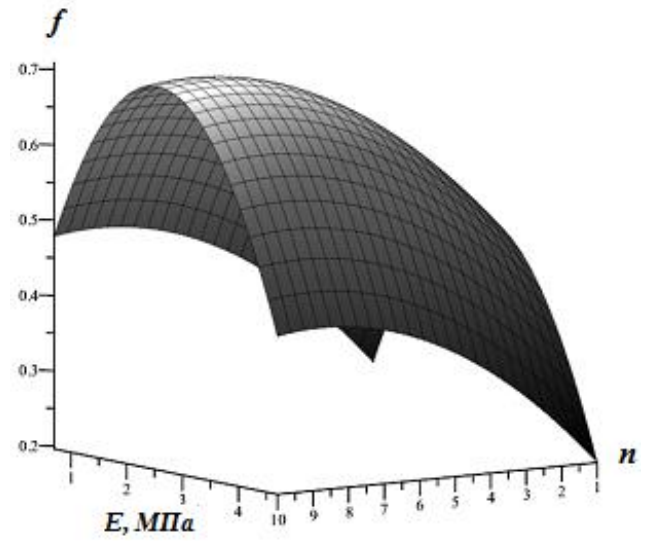
n – количество выступов, одновременно контактирующих с ходовой поверхностью подошвы.

Из уравнения (3.5) следует, что наиболее значимыми факторами являются E и R , однако характер их влияния на параметр f различен. Менее значимым можно считать фактор n . Для более детального качественного и количественного анализа полученной математической модели с помощью прикладного пакета программ «Marle - 17» [110] построены геометрические образы зависимостей.

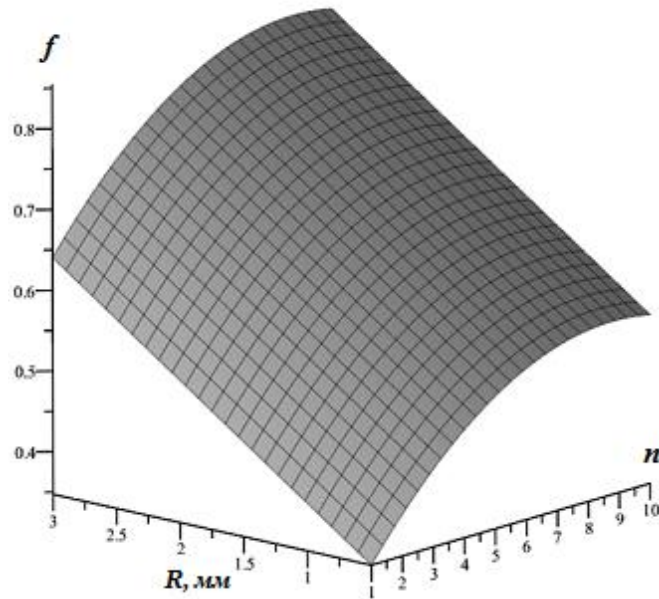
Качественная картина влияния факторов E , R и n на коэффициент трения скольжения ходовой части подошв по опорной поверхности представлена на рис. 3.13.



а



б



в

Рисунок 3.13. 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)

Количественные характеристики влияния каждого из факторов E , R и n на параметр f при средних значениях двух других представлены на рис.3.14.

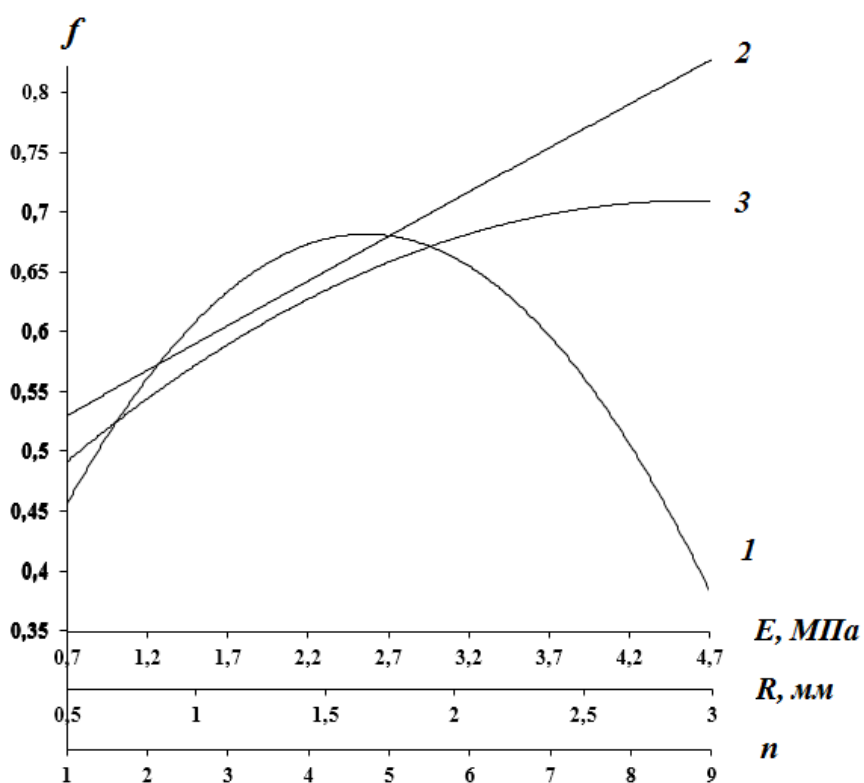


Рисунок 3.14. Влияние факторов E , R и n на параметр f :

1 – $f = \varphi(E)$ при $R = 1,75$ мм, $n = 6$; 2 – $f = \varphi(R)$ при $E = 2,7$ МПа, $n = 6$; 3 – $f = \varphi(n)$ при $E = 2,7$ МПа, $R = 1,75$ мм

Закономерности, представленные на рисунках 3.13 и 3.14 позволяют сформулировать следующие выводы.

Во-первых, зависимость коэффициента трения скольжения f от условного модуля упругости E имеет экстремальный характер с максимумом f при $E = 2,0 \dots 3,0$ МПа (рис. 3.13, а и рис. 3.14). Отметим, что эта закономерность согласуется с результатами, представленными в подразделе 2.3 главы 2 (рис. 2.6), которые отражены в нашей работе [95]. Действительно, как показано в работе [95] при скольжении эластичных подошвенных материалов по твердой шероховатой поверхности сила трения складывается из механической и молекулярной составляющих. При увеличении фактора E эти составляющие оказывают на параметр f противоположное влияние, в результате чего зависимость $f = \varphi(E)$ имеет экстремальный характер.

Во-вторых, зависимость $f = \varphi(R)$ близка к линейной (см. рис.3.13, *a*, *в* и рис.3.14, кривая 2). На первый взгляд это может показаться неожиданным результатом, однако он в целом согласуется с данными о практически линейной зависимости усилия зацепления эластичного материала за выступы на твердой поверхности скольжения [100]. Здесь следует пояснить, что упомянутое усилие зацепления составляет основную часть возникающей при этом силы трения скольжения.

В-третьих, коэффициент трения скольжения при увеличении количества выступов сначала существенно возрастает, а при $n > 6 \dots 7$ этот рост замедляется и при $n \rightarrow 10$ прекращается вовсе (см. рис. 3.13, *a*, *в* и рис.3.14, кривая 3). Для анализа этой закономерности сначала подчеркнем, что при скольжении эластичного материала по многочисленным выступам коэффициент трения определяется, в основном, зацеплениями материала за выступы. Поясним, что рассматриваемые результаты получены экспериментально при неизменном общем нормальном давлении (10 кгс) на образцы подошвенного материала. Поэтому при увеличении количества выступов давление, приходящееся на отдельно взятый выступ, уменьшается, что приводит к снижению усилия зацепления за выступы и, следовательно, к снижению параметра f . К этому добавим, что подобное снижение давления на отдельно взятый выступ происходит и при контакте ходовой части подошв с опорной поверхностью из-за неизменности веса носчика.

Количественное влияние факторов E , R и n на коэффициент трения скольжения f дополняют кривые равных значений параметра f , которые представлены на рисунке 3.15. По этим кривым можно оценивать фрикционные характеристики ходовой части подошв в зависимости от упругих свойств подошвенных материалов и состояния опорной поверхности. Представленные модели показывают, что в зависимости от факторов E , R и n коэффициент трения скольжения изменяется от 0,2 (неудовлетворительное сцепление с опорной поверхностью) до 0,8 (вполне удовлетворительное сцепление).

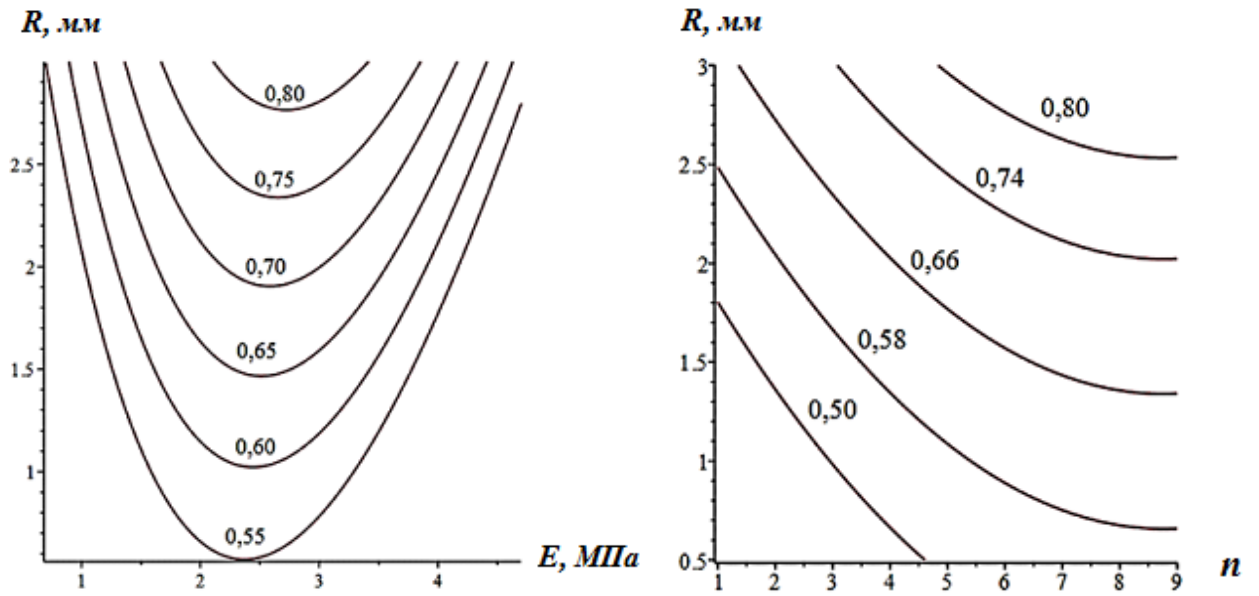
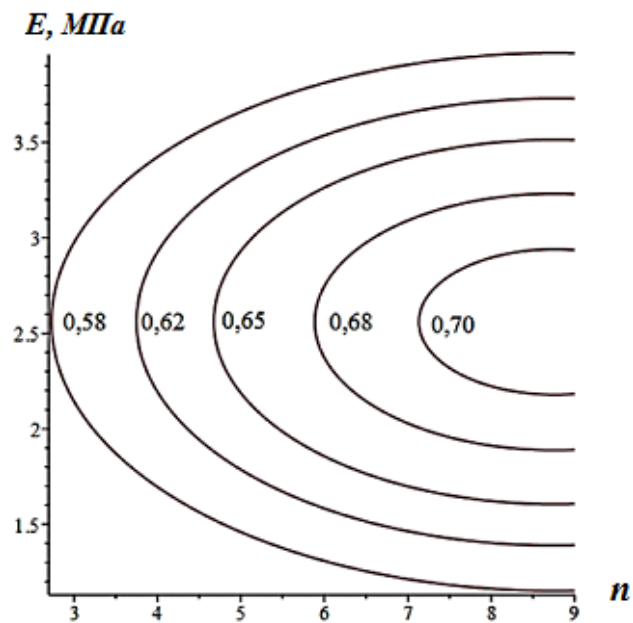
*a**б**в*

Рисунок 3.15. Кривые равных значений параметра f в функции R и E при $n = 6$ (а); R и n при $E = 2,7$ МПа (б); E и n при $R = 1,75$ мм (в)

Анализ моделей показывает, что при различных значениях факторов E , R и n коэффициент трения скольжения изменяется в пределах от 0,2 до 0,8. Значения факторов R и n зависят от вида дорожного покрытия и погодных условий. Однако полученные модели предсказывают, что независимо от состояния опорной поверхности высокие антискользкие характеристики ходовой части подошв можно обеспечить применением для их изготовления материалы, с условным модулем упругости, лежащем в интервале 2,0...3,0 МПа. К этому добавим, что антискользкие характеристики подошв можно существенно повысить и за счет специального рельефа на их ходовой части, в частности, путем выполнения элементов рельефа из материалов разной эластичности и их компоновкой, исключающей риски проскальзывания ноги в разных направлениях. Концептуальные положения разработки такого рельефа, а также вариант его исполнения рассмотрены в четвертой главе.

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Экспериментально выявлено влияние эластичности подошвенных материалов и размеров неровности опорной поверхности на коэффициент трения скольжения. Установлено, что коэффициент трения скольжения существенно повышается при повышении модуля упругости материала и увеличении размера выступа.

2. Определены закономерности деформации подошвенного материала, скользящего по опорной поверхности, содержащей выступ, и выявлен характер деформации материала путем нанесения на наблюдаемую торцевую поверхность образца материала ряда окружностей и анализа искажений их формы.

3. Выявленная картина деформации подошвенного материала при его скольжении по опорной поверхности с выступом позволяет выявить изменения вектора результирующей силы торможения и установить его количественную характеристику.

4. Предложена эмпирическая формула для расчета тормозящего усилия при скольжении подошвенного материала по выступу на опорной поверхности в зависимости от размера выступа и модуля упругости подошвенного материала.

5. Экспериментально определено влияние эластичности подошвенного материала и размеров выступов на опорной поверхности на коэффициент трения скольжения по опорной поверхности с множеством выступов.

6. Установлено, что основными факторами, определяющими фрикционное взаимодействие ходовой части подошв с грунтом, является модуль упругости подошвенных материалов, высота выступов на опорной поверхности и их количество.

7. Используя методы математического планирования и анализа эксперимента разработана модель фрикционного взаимодействия элементов рельефа ходовой поверхности подошв с опорной поверхностью, которая наглядно иллюстрирует фрикционные тормозящие воздействия на обувь при ходьбе по скользкому грунту.

4 РАЗРАБОТКА РЕЛЬЕФА ХОДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОВЫШЕННЫМИ АНТИСКОЛЬЗЯЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Результаты исследования фрикционных характеристик подошвенных материалов позволили расширить представления о контактном взаимодействии ходовой части подошвы с выступами разного порядка на опорной поверхности. Из результатов проведенных исследований следует, что эффективность фрикционных свойств подошв может быть повышена за счет проектирования рельефа из рассмотренных антискользящих элементов и их компоновки, придающей рельефу дополнительные фрикционные характеристики. В данной главе представлены требования к антискользящему рельефу подошв, сформулирована концепция создания антискользящего рельефа и представлены варианты практической реализации разработанных рекомендаций для проектирования ходовой части подошв с повышенными противоскользящими характеристиками.

4.1 Анализ требований к рельефу ходовой поверхности подошв и к его разновидности

Подошва - наиболее ответственная деталь обуви. На подошву приходится нагрузка человека, причем нагрузка распределяется неравномерно и зависит от фазы шага. В процессе эксплуатации подошва подвергается изгибу, сжатию, истиранию, растяжению и постоянно находится в состоянии деформирования как поверхностного слоя, так и внутреннего массива. При этом ходовая часть подошвы должна обеспечивать устойчивое сцепление обуви с опорной поверхностью, что во многом зависит от ее рельефа и свойств подошвенного материала [41]. Поэтому к рельефу должны предъявляться не меньшие требования, чем к материалу подошвы.

При изучении требований к элементам рельефа, следует учитывать, какую конкретно обувь следует подвергнуть анализу, так как зимняя обувь может иметь различное назначение и в зависимости от этого различный рельеф ходовой

поверхности подошвы. Важно также понимать, что потребитель не любит усложнений в конструкции обуви, а громоздкие глубокие протекторы, прекрасно выполняющие свои антискользкие качества, но значительно утяжеляющие обувь, привлекают только молодежь. Для среднестатистического человека важна простота обуви и ее функциональность. После подобных заключений перейдем к анализу зимней обуви, предназначенной для повседневной эксплуатации.

Анализ ассортимента зимней повседневной обуви показывает, что рельеф ходовой поверхности подошвы разнообразен настолько, что довольно сложно выделить какие-либо общие элементы и выявить закономерность их расположения на подошве. Связано это с отсутствием системного подхода к их проектированию, об этом свидетельствует анализ геометрических параметров антискользких элементов рельефа и их компоновка на ходовой поверхности [111-114]. Поэтому разработка антискользкого рельефа основывается, как правило, на эмпирических данных и умозрительных заключениях о характере взаимодействия элементов рельефа с опорной поверхностью. Этого недостаточно для обеспечения противоскользких характеристик подошв в полной мере. Проведем анализ требований, предъявляемых к рельефу ходовой поверхности подошв, на основании наиболее часто встречаемых элементов.

Ходовая поверхность подошвы у большинства видов зимней обуви с высокими фрикционными характеристиками имеет протекторы, конфигурация которых весьма разнообразна [115]. Однако нет единых рекомендаций по высоте протектора, она бывает слишком большая или недостаточная для удовлетворительного сцепления с обледенелой поверхностью. Высота протектора оказывает влияние на гибкость подошвы, ее массу, удобство при ношении обуви.

Рельеф анализируемых подошв также представлен комплексом противоскользких элементов, имеющих разнообразную конфигурацию, что часто зависит от дизайна обуви. В основном, элементы расположены на ходовой поверхности, составляя упорядоченные композиции. Они могут иметь

симметричное, ассиметричное, параллельное или перпендикулярное расположение элементов на подошве относительно продольной оси симметрии. Так, подошвы повседневной обуви, обуви для активного отдыха и трекинга [115] могут иметь элементы рельефа, конструкция и расположение которых в большей степени определяют дизайн обуви, чем повышают их фрикционные характеристики. Многие производители обуви, исходя из ее назначения и дизайна, изготавливают подошвы, максимально подходящие к верху обуви по материалу, цвету, стилю, рисунку рельефа. Крупные компании, выпускающие брендовую обувь, придерживаются единого «узнаваемого» стиля не только в конструкции верха обуви, но и рельефа подошвы.

При анализе патентных источников показано, что элементы рельефа подошв имеют своеобразные конструктивные формы и их расположение на ходовой поверхности зависит, в основном, от стилевого решения. Очевидно, что для разработки противоскользящих подошв нет четких правил и рекомендаций. Поэтому обувные компании создают противоскользящие подошвы, исходя из своих представлений о рельефе ходовой части подошв, отдавая приоритеты дизайну этой функциональной составляющей подошвы. Примечательно, что даже наименования одних и тех же элементов в разных литературных и патентных источниках не одинаковы.

Обобщим элементы рельефа, представленные в источниках [111-114] и выделим наиболее часто применяемые в конструкции подошвы и влияющие на фрикционные характеристики обуви.

Фигуры разнообразной формы, возвышающиеся над плоскостью подошвы. Как правило такие фигуры являются неотъемлемой частью подошвы и образуют протектор. Фигуры служат для взаимодействия с неровностями на поверхностях дорог, должны выдерживать вес носчика и деформации, возникающие в процессе эксплуатации. Для изготовления формованных подошв с высокими фрикционными свойствами применяют специальные виды резин, которые по морозостойкости и устойчивости к скольжению по обледенелым поверхностям превосходят остальные подошвенные материалы [41,115].

Композиции на основе термопластичных полиуретанов превосходят резиновые материалы по механическим показателям, к тому же они позволяют получить прозрачные и цветные подошвы, что делает этот материал наиболее приемлемым для их изготовления. Преимуществом подошв из термоэластопластов является их достаточно высокая морозостойкость, эластичность, высокие фрикционные показатели. Благодаря легкости формования изделий, показателям физико-механических свойств и эксплуатационным характеристикам, термоэластопласты в наибольшей степени подходит для производства зимней повседневной обуви. Литые полиуретаны, обладающие невысокой устойчивостью к скольжению, также применяют для изготовления формованных подошв, так как они легко поддаются модификации введением в их состав антискользятелей и обеспечивают повышенную морозостойкость [41].

Фигуры располагают на подошве таким образом, чтобы минимизировать или исключить проскальзывание обуви во всех направлениях. В работах [65, 116] указано, что наибольшими фрикционными характеристиками обладают подошвы с таким расположением элементов, при котором исключается наличие прямолинейных впадин, полностью пересекающих ходовую поверхность. При этом протяженность прямолинейных участков впадин между элементами ограничена либо преграждающей ей стенкой фигуры, либо изменением направления стенки фигуры, вдоль которой расположен этот прямолинейный участок впадины.

Плоскую верхнюю часть фигур, контактирующую с опорной поверхностью, выполняют гладкой или рифленой. Выполнение рифления на контактной с грунтом поверхности фигур предпочтительно, так как рифли играют роль зацепов за микронеровности, увеличивая сопротивление скольжению. Рифление выполняют в виде бороздок, направленных поперечно продольной оси подошвы или в виде пересеченных под прямым углом углублений.

Специальные вставки из материалов меньшей плотности. Вставки на ходовой части подошвы представляют собой как отдельные элементы, так и

внутреннее заполнение основных фигур, формирующих протектор. Вставки предназначены для уменьшения массы подошвы, лучшей ее амортизации, а также для декорирования ходового слоя. Помимо этого, вставки из пористых материалов выполняют важную функцию, которая заключается в создании на ходовой поверхности подошвы участков разной эластичности, которые по-разному реагируют на неровности и состояние грунта. Элементы внутреннего заполнения предназначены для «точечного» взаимодействия с выступами разного порядка. Пористый материал имеет более высокие фрикционные показатели при скольжении по группам выступов по сравнению с монолитными материалами. Однако не рекомендуется выполнять из пористого материала ответственные элементы рельефа из-за того, что на них приходится вес человека, кроме этого протекторы воспринимают на себя ударные нагрузки при ходьбе, поэтому они должны изготавливаться из материала с более высокой плотностью. Подошвы из материалов с низкой плотностью в подобных условиях эксплуатации быстро теряет свою первоначальную форму, а также подвержены порезам и проколам [115].

Подошвы со вставками или внутренним заполнением выполняют из одноименных материалов разной плотности и из разных материалов. Они образуют комбинированные подошвы с требуемыми эксплуатационными характеристиками и предназначены для повседневной, прогулочной и спортивной обуви. Комбинированные подошвы из одноименных материалов выполняют из ПВХ-пластиков, литевых полиуретанов, ТЭП, резин и редко из термопластичного полиуретана. Комбинацией материалов разной химической природы для изготовления подошв служит сочетание ТПУ или резин с мелкопористым литевым полиуретаном. Эти материалы в наибольшей степени удовлетворяют сопротивлению скольжения, легкости обуви и комфорту при эксплуатации.

Элементы рельефа ходовой поверхности подошвы обычно разделены глубокими **впадинами**, которые выполняют следующие функции. Во-первых, впадины способствуют зацеплению подошвы за выступы разного уровня на

опорных поверхностях, тем самым повышая тормозящий эффект обуви во время ходьбы. Во-вторых, через впадины выводится снежная «каша», увеличивая площадь контакта с опорной поверхностью и, соответственно, сохраняя устойчивость.

На боковых стенках протекторов и основных фигур выполняют **углубления**. Углубления имеют клиновидную, трапециевидную, полукруглую форму и призваны повышать тормозящие характеристики подошвы, так как способствуют «заклиниванию» в них выступов опорной поверхности. Обычно такие углубления располагают с учётом наиболее вероятного направления скольжения подошвы по обледенелому грунту. Так, установлено, что в первой фазе контакта подошвы с опорой (опора на пятку) проскальзывание наиболее вероятно в направлении движения, а при отталкивании носочной части подошвы от грунта – в противоположном направлении. В соответствии с этим углубления в задней части каблука следует выполнять острием, направленным к наружному контуру каблука, а в носочно-пучковой части – к переднему фронту подошвы.

Таким образом, на основе анализа требований к ходовой поверхности подошвы можно сформулировать следующие требования к рельефу:

- высота протектора должна соответствовать условиям эксплуатации;
- контактная поверхность протектора должна иметь мелкое рифление;
- взаимное расположение элементов на ходовой поверхности должно исключать образование канавок, дающих возможность бесконтактного перемещения выступов;
- углубления на элементах рельефа требуется располагать с учетом возможного направления проскальзывания подошвы по скользкому грунту;
- подошвенные материалы, применяемые для изготовления монолитных формованных подошв, а также для ходового слоя комбинированных подошв должны выдерживать необходимую нагрузку и обеспечивать устойчивость обуви на скользкой поверхности.

Исследование литературных и патентных источников [111-114] показало, что расположение элементов на ходовой части подошвы не регламентировано

какими-либо требованиями, рельеф ходовой поверхности как правило выполняется без учета закономерностей фрикционного взаимодействия подошв с шероховатой опорной поверхностью. При этом приоритеты при разработке рельефа отдаются дизайнерским решениям, что не позволяет в полной мере обеспечивать антискользящие характеристики подошв. Поэтому необходима четкая концепция проектирования противоскользящего рельефа ходовой части подошв, построенная на базе известного практического опыта и разработанных в диссертации закономерностей.

4.2 Концепция создания противоскользящего рельефа ходовой поверхности подошв

Имея результаты экспериментальных исследований фрикционных характеристик подошвенных материалов, эмпирические и теоретические закономерности взаимодействия элементов рельефа подошв с опорной поверхностью, а также обобщенную математическую модель фрикционного взаимодействия, можно сформулировать основные концептуальные положения разработки рельефа подошв с повышенными антискользящими характеристиками [117, 118].

Для точных формулировок концепции сначала приведем краткие характеристики антискользящих элементов. Сущность и назначение большинства антискользящих элементов поясняется рисунком 4.1, на котором представлены варианты запатентованных на кафедре ТККИУП конструкций рельефа ходовой части подошв [116]. Ниже приведен перечень и характеристики этих элементов:

- бордюр или контурный бордюр – основной элемент, располагаемый по контуру подошвы и служащий для обеспечения устойчивости обуви на опорной поверхности;
- кювета – элемент, состоящий из противоскользящей рифленой вставки из пористого материала, замкнутой по периметру стенками, выполненными из материала с большей плотностью;

- V-образные выемки – углубления на стенках кювет и бордюров, имеющие форму клина и предназначенные для дополнительного зацепления за них выступов опорной поверхности;
- серповидные впадины – полости, расположенные между стенками контурных бордюров в носочной и пяточной частях подошвы (см. рис 4.1).

Рассмотрим теперь основные положения концепции проектирования антискользящего рельефа, основу которого составляют приведенные выше и предложенные в диссертации противоскользящие элементы.

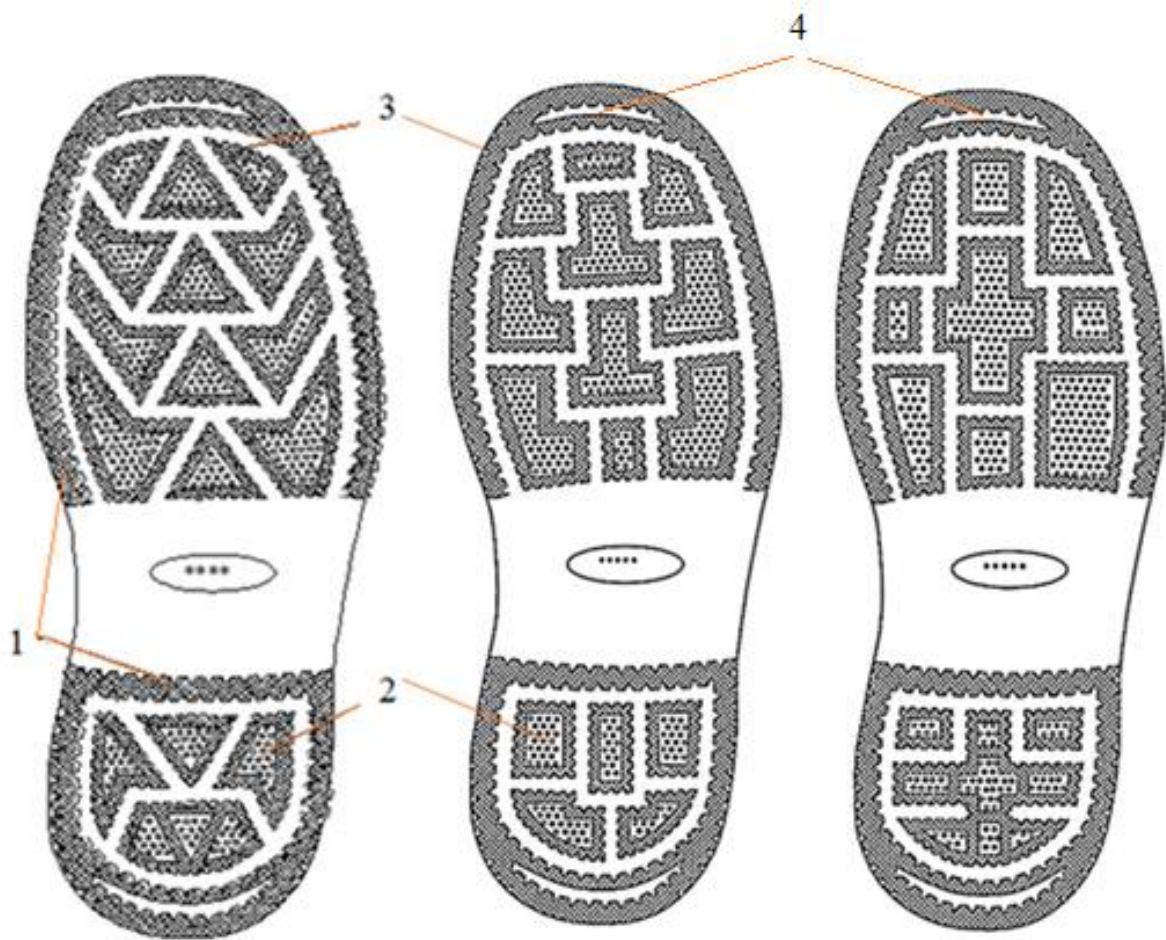


Рисунок 4.1. Конструкция рельефа ходовой поверхности подошвы [116]:

1 – бордюры; 2 – выступы (стержни); 3 – выемки; 4 – серповидные впадины

Контурные бордюры. Контурные бордюры, опорная поверхность которых выполняется мелкорифленой, служат для обеспечения устойчивости обуви на опорной поверхности, а также для предотвращения бокового проскальзывания подошв. Последнее обеспечивается не только благодаря

мелкорифленной поверхности бордюров, но и за счет наличия на их боковой поверхности V-образных выемок. Вариант исполнения контурного бордюра представлен на рис. 4.2.

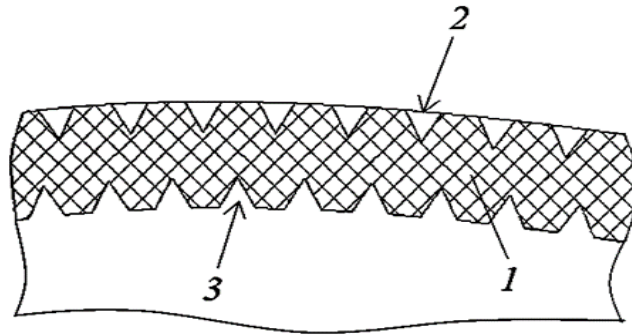


Рисунок 4.2. Одинарный контурный бордюр [116]:

1 – мелкорифленная опорная поверхность бордюра; 2,3 – V-образные выемки

Кюветы с эластичными вставками. Эти элементы рельефа представляют собой фигуры различной формы, по контуру обрамленные стенками кювет. Высоту стенок кювет выполняют вровень с высотой контурных бордюров для обеспечения лучшей устойчивости обуви на опорной поверхности. Исходя из этого опорную поверхность кювет целесообразно также выполнять мелкорифленной, а на боковых ее стенках располагать V-образные выемки. Выемки увеличивают протяженность боковых стенок кювет, из-за чего повышается их способность к зацеплению за выступы на опорной поверхности, что способствует росту тормозящего эффекта. Выступы также могут «заклиниваться» в V-образных выемках, что дополнительно повышает тормозящее действие подошвы.

Для обеспечения повышенных фрикционных характеристик внутри кювет следует располагать эластичный материал [64] с рифленной поверхностью, например, в виде гибких стержней [116]. Пример кюветы представлен на рисунке 4.3.

Экспериментально установлено [64, 65, 119], что при скольжении образцов, содержащих кюветы, их эластичные элементы оказывают хотя и небольшое, но все-таки заметное тормозящее воздействие благодаря

взаимодействию с многочисленными мелкими выступами на опорной поверхности.

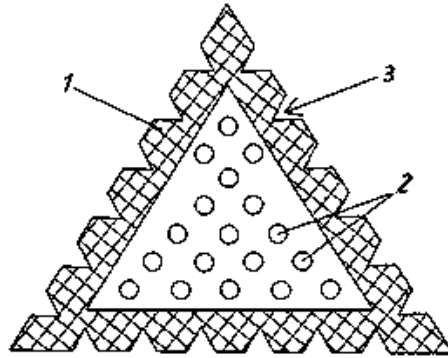


Рисунок 4.3. Кювета с эластичным элементом:
1 – опорная мелкорифленая поверхность кювета; 2 – гибкие стержни;
3 – V-образные выемки

Серповидные впадины. Эти элементы выполняются в носочной и пяточной частях подошвы в уширенной области контурных бордюров (рисунок 4.4). Впадины предназначены для дополнительного торможения при ступании на пятку или на носок, при котором наиболее вероятно проскальзывание подошвы на скользкой поверхности. Тормозящее действие серповидных впадин усиливается расположением на их стенках V-образных выемок, причем эти выемки следует располагать таким образом, чтобы они были направлены в противоположную сторону от возможного проскальзывания обуви.

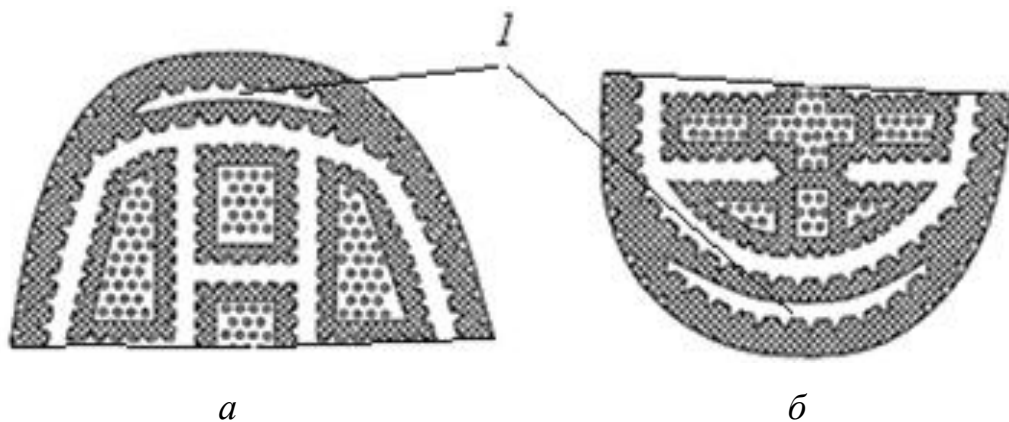


Рисунок 4.4. Серповидные впадины (1) в носочной (а) и каблучной (б) частях подошвы

Протекторы. Протекторы представляют собой опорные мелкорифленые площадки различных форм и размеров, разделенные друг от друга впадинами. Конструктивные параметры и компоновка протекторов определяются стилевым дизайном подошвы, стремлением обеспечить ее антискользящие свойства, а также зависят от вида обуви и подошвенного материала. При их проектировании используют опыт создания протекторов автомобильных шин, хотя условия фрикционного взаимодействия с грунтом подошв и шин различаются.

Экспериментальные исследования показали, что протекторы обеспечивают значительный тормозящий эффект при контакте с крупными выступами на опорной поверхности, но они практически нечувствительны к мелким неровностям. Однако последние исследования фрикционных характеристик, проведенные нами [100], показали, что при скольжении мелкорифленых поверхностей протекторов по мелким выступам наблюдалось заметное тормозящее воздействие.

Компоновка антискользящих элементов. Эффективность рассмотренных антискользящих элементов можно повысить при соблюдении следующих очевидных рекомендаций. Во-первых, компоновка антискользящих элементов должна свести к минимуму их бесконтактное перемещение относительно выступов на опорной поверхности. Для этого следует избегать расположение канавок между кюветами вдоль наиболее вероятного направления скольжения подошвы, т.е. вдоль ее продольной оси. Кроме этого необходимо исключить расположение в одном направлении соседних канавок, переходящих одна в другую.

Во-вторых, V-образные впадины следует располагать острием, направленным в сторону, противоположную вероятному скольжению подошвы, что способствует заклиниванию в них выступов опорной поверхности. Для этого острие выемок на антискользящих элементах в носочно-пучковой части следует направлять в сторону каблука, а в каблушной части – наоборот к носку подошвы. При этом острие выемок на контурных бордюрах целесообразно направлять в

противоположные стороны, что придает подошве тормозящее воздействие при ее левом и правом боковом скольжении.

В заключение отметим, что отдельно взятый антискользящий элемент обладает сравнительно невысокими тормозящими характеристиками. Однако комплекс антискользящих элементов придает подошве существенные тормозящие свойства. Тем не менее следует признать, что антискользящий рельеф подошв не гарантирует полную безопасность носчика при ходьбе по скользкой опорной поверхности. Однако такие подошвы во многих случаях позволяют сохранить равновесие человека при ходьбе на скользкой опорной поверхности и избежать падение. К этому следует добавить, что довольно часто для сохранения равновесия требуется небольшое противодействие скольжению подошвы, которое способны обеспечить рассмотренные антискользящие элементы на ее ходовой поверхности.

При этом необходимо помнить о простых правилах ходьбы по скользкой поверхности. Во-первых, следует передвигаться короткими шагами. Это снижает горизонтальную составляющую силы, действующей со стороны обуви на опорную поверхность, что предотвращает скольжение подошвы. Во-вторых, необходимо ступать на опорную поверхность всей ходовой частью подошвы (т.е. плашмя), что также снижает вероятность проскальзывания подошвы за счет повышения площади ее фактического контакта с грунтом. И, наконец, ходить рекомендуется на слегка согнутых в коленях ногах, что позволяет носчику сохранять равновесие при проскальзывании подошвы.

4.3 Разработка антискользящего рельефа ходовой поверхности подошв

На основе рассмотренных концептуальных положений в диссертации разработан антискользящий рельеф ходовой поверхности подошв, который обладает патентной новизной [120]. В качестве прототипа этого изобретения принят рассмотренный выше вариант рельефа (см. рис 4.1), который содержит бордюры, расположенные по периметру каблучной и носочно-

геленочной частей подошвы, в центральной части которой сгруппированы кюветы, имеющие внутреннее заполнение в виде стержней. Кюветы сгруппированы таким образом, что исключается образование длинных прямолинейных участков впадин, разделяющих кюветы. По периметру стенок бордюров и кювет расположены клиновидные выемки, направленные на то, чтобы избежать боковое и продольное проскальзывание обуви. В носочной и пяточной частях подошвы имеется дополнительный ряд бордюров для улучшения зацепления за выступы на поверхности грунта. На контактной поверхности бордюров и кювет имеются взаимно перпендикулярные борозды, выполняющие роль дополнительных зацеперов за выступы.

Исследования антискользящих характеристик рельефа ходовой части подошвы-прототипа показали значение коэффициента трения при ее скольжении по обледенелым поверхностям асфальта тротуарной плитки и льда ниже допустимых согласно ГОСТ Р 56965-2016 ($f = 0,27; 0,18$ и $0,12$ соответственно при норме $f = 0,30$). Это связано с тем, что стержни, расположенные внутри кювет, недостаточно эффективны при взаимодействии с выступами разного порядка. Так, гибкие стержни, имеющие цилиндрическую форму диаметром около 1 мм, при контакте с неровностями грунта достаточно эффективно взаимодействуют с мелкими выступами, в то время как для взаимодействия с крупными выступами служат боковые стенки кювет и бордюров [116]. Эта особенность контактного взаимодействия кювет с гибкими стержнями с выступами на опорной поверхности иллюстрируется на рисунке 4.5.

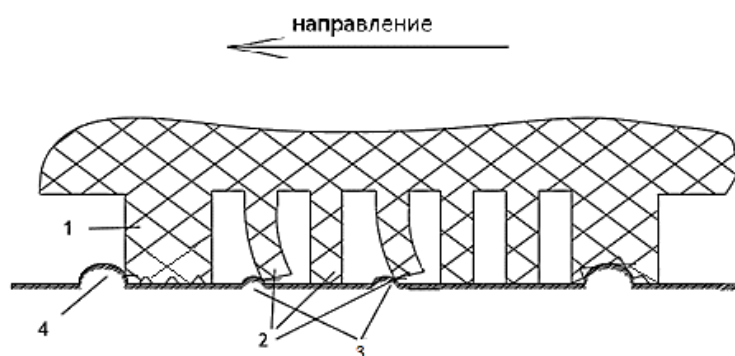


Рисунок 4.5. Схема взаимодействия кюветы с гибкими стержнями с выступами разной величины [116]:

1 – стенки кювет; 2 – стержни; 3 – мелкие выступы; 4 – крупные выступы

Кроме этого, опытная носка обуви на подошве-прототипе показала необходимость увеличения расстояния между элементами рельефа, так как полости между ними легко заполняются грязью, снегом мелкими камешками, что значительно снижает эффективность антискользящего действия этих элементов.

С учетом недостатков прототипа разработан и запатентован рельеф ходовой части подошвы, обладающий повышенными антискользящими характеристиками. При этом линейные размеры антискользящих элементов рельефа установлены на основе известного практического опыта проектирования ходовой части подошв и результатов наших экспериментальных и теоретических исследований.

Общий вид разработанной ходовой стороны подошвы представлен на рисунке 4.6. На рисунках 4.7 - 4.10 приведены элементы, поясняющие конструкцию рельефа на рис.4.6 и сущность взаимодействия его элементов с неровностями опорной поверхности.

Построение рельефа ходовой части подошвы и отдельных ее элементов проведено с помощью САПР «Компас-3D v20» [121].

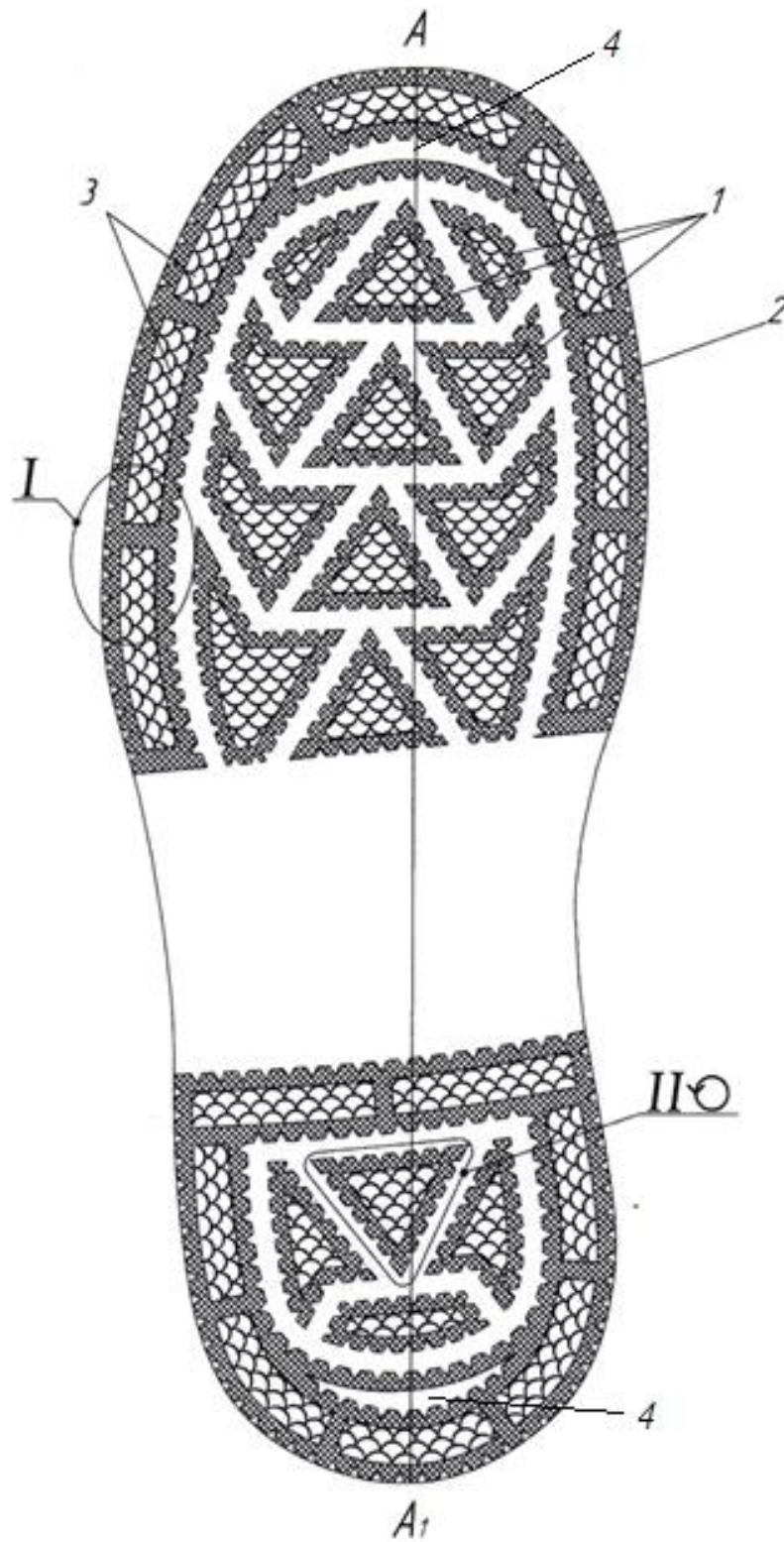


Рисунок 4.6. Ходовая поверхность с противоскользящими свойствами [120]:

AA₁ – продольная ось ходовой части подошвы; 1 – кюветы; 2 – контурные бордюры;

3 – прерывистые канавки; 4 – серповидные впадины

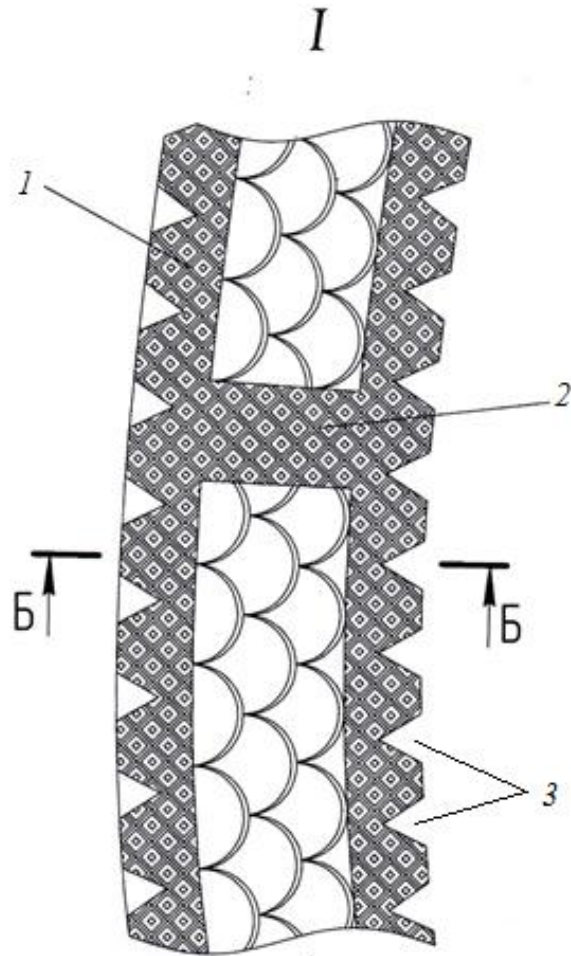


Рисунок 4.7. Элемент бордюра с прерывистыми канавками [120]:
1- мелкорифленая опорная поверхность; 2 – поперечная перемычка; 3 – V-образные выемки

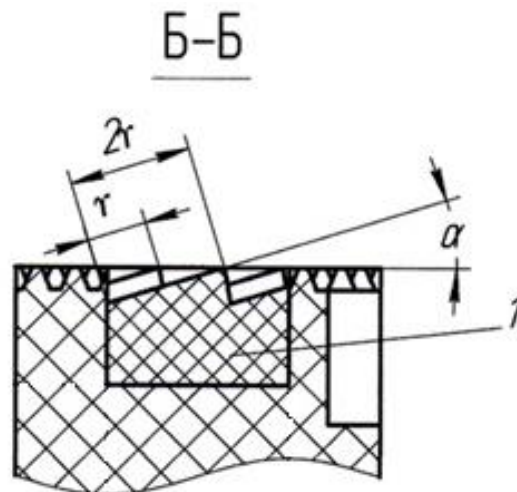


Рисунок 4.8. Элемент бордюра в разрезе [120]:
1- эластичный подошвенный материал; r - радиус основания полуцилиндров; α – угол наклона основания полуцилиндров с плоскостью, лежащей на ходовой части подошвы.

Представленный на рисунке 4.6 элемент II (кювета), изображен на рисунке 4.9.

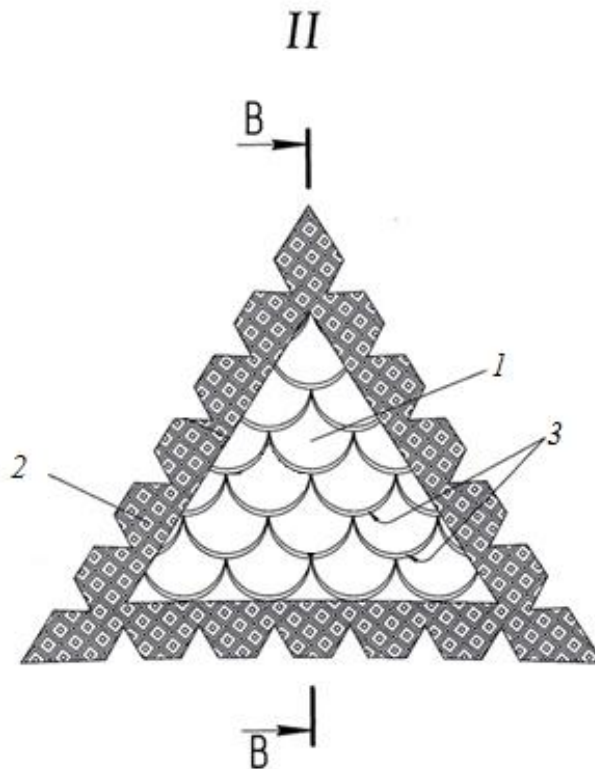


Рисунок 4.9. Элемент рельефа ходовой поверхности (кювета) [120]:
1 - поверхность полуцилиндров; 2 - мелкорифленая поверхность кюветы; 3 – основание полуцилиндров

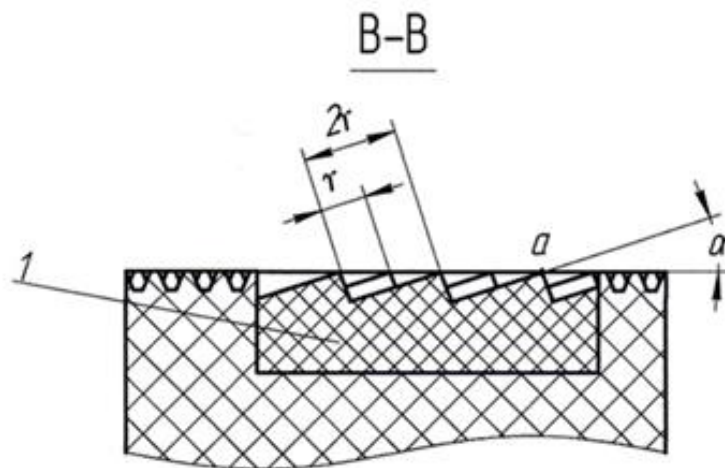


Рисунок 4.10. Элемент рельефа ходовой поверхности (кювета) в разрезе [120]
1 - эластичный подошвенный материал; r - радиус основания полуцилиндров; a – точка на середине полуокружности полуцилиндров; α – угол наклона основания полуцилиндров с плоскостью, лежащей на ходовой части подошвы

Рассмотрим назначение антискользящих элементов рельефа и принцип их фрикционного взаимодействия с опорной поверхностью, вызывающего тормозящее воздействие на обувь.

Для противодействия скольжению обуви в любом направлении по периметру носочно-пучковой и частично геленочной частей подошвы выполнены контурные бордюры (рис.4.6). Опорная поверхность контурных бордюров выполнена мелкорифленой для обеспечения фрикционного взаимодействия с мелкими выступами на грунте. Отметим, что заметное тормозящее воздействие мелкорифленой ходовой поверхности подошв отмечено в литературных источниках [114] и подтверждено нашими исследованиями [100]. В центральных частях бордюров имеются прерывистые канавки, полости которых заполнены пористым материалом, а их длина ограничена поперечными перемычками (рис.4.7).

Для повышения антискользящих характеристик бордюров на ходовой поверхности прерывистых канавок выполнены рифления в виде «змеиной кожи», используя тем самым антискользящий элемент, изобретенный самой природой. Действительно, змеи способны эффективно перемещаться по поверхности за счет зацепов чешуек их кожи за неровности грунта [122].

Рифление в виде змеиных чешуек выполняли в виде круглых полуцилиндров, плоскости оснований которых составляют с плоскостью, лежащей на опорной поверхности подошвы угол α (рис. 4.10), что способствует лучшему зацеплению за выступы опорной поверхности. При этом полуцилиндры расположены рядами на равном расстоянии друг от друга и каждый из рядов смещен относительно прилегающего к нему ряда на величину радиуса оснований полуцилиндров. Вставки в виде рифления «змеиная кожа» расположены на одной высоте с ходовой частью бордюров и стенок кювет и не выходят за их пределы (рис.4.10).

Для оценки фрикционных характеристик рифленой поверхности образцов подошвенных материалов в виде змеиных чешуек проведены экспериментальные исследования. Для этого изготавливали образцы из

подошвенных термоэластопластов Sofprene 199N11565 стандартных размеров (50x50 мм), содержащих кюветы. В полость кювет вставлялись и фиксировались полиуретановым клеем вкладыши из пористого материала, поверхность скольжения которых представляла собой рифления в виде змеиных чешуек. Здесь следует отметить, что оценку фрикционных характеристик проводили и для других видов антискользящих элементов, известных из литературных и патентных источников, что позволило выявить и сопоставить их фрикционные свойства.

Таким образом, проводили оценку фрикционных характеристик следующих антискользящих элементов ходовой части подошв:

- протекторы, разделенные друг от друга впадинами;
- кюветы, полости которых содержат гибкие стержни (прототип);
- кюветы, в полость которых вставлены вкладыши из пористого материала, причем их контактная поверхность имела рифления в виде змеиных чешуек;
- гладкие образцы без антискользящих элементов;
- гладкие образцы с V-образными выемками.

Основные виды образцов и матрицы литьевой формы для формования рифленой поверхности в виде змеиных чешуек представлены на рисунке 4.11.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с изложенной выше методикой при температуре внутрикамерного пространства лабораторного стенда, равной -10°C . Однако в качестве опорной поверхности использовали обледенелые фрагменты асфальта и тротуарной плитки, а также льда, что позволило приблизить условия лабораторных испытаний к реальным условиям эксплуатации. Ввиду отмеченных в главе 2 трудностей точного поддержания температуры испытаний проводили не менее восьми параллельных измерений, что наряду с тщательным контролем температуры испытаний, позволило получить результаты измерений сил трения скольжения с погрешностью, не превышающей 10%.

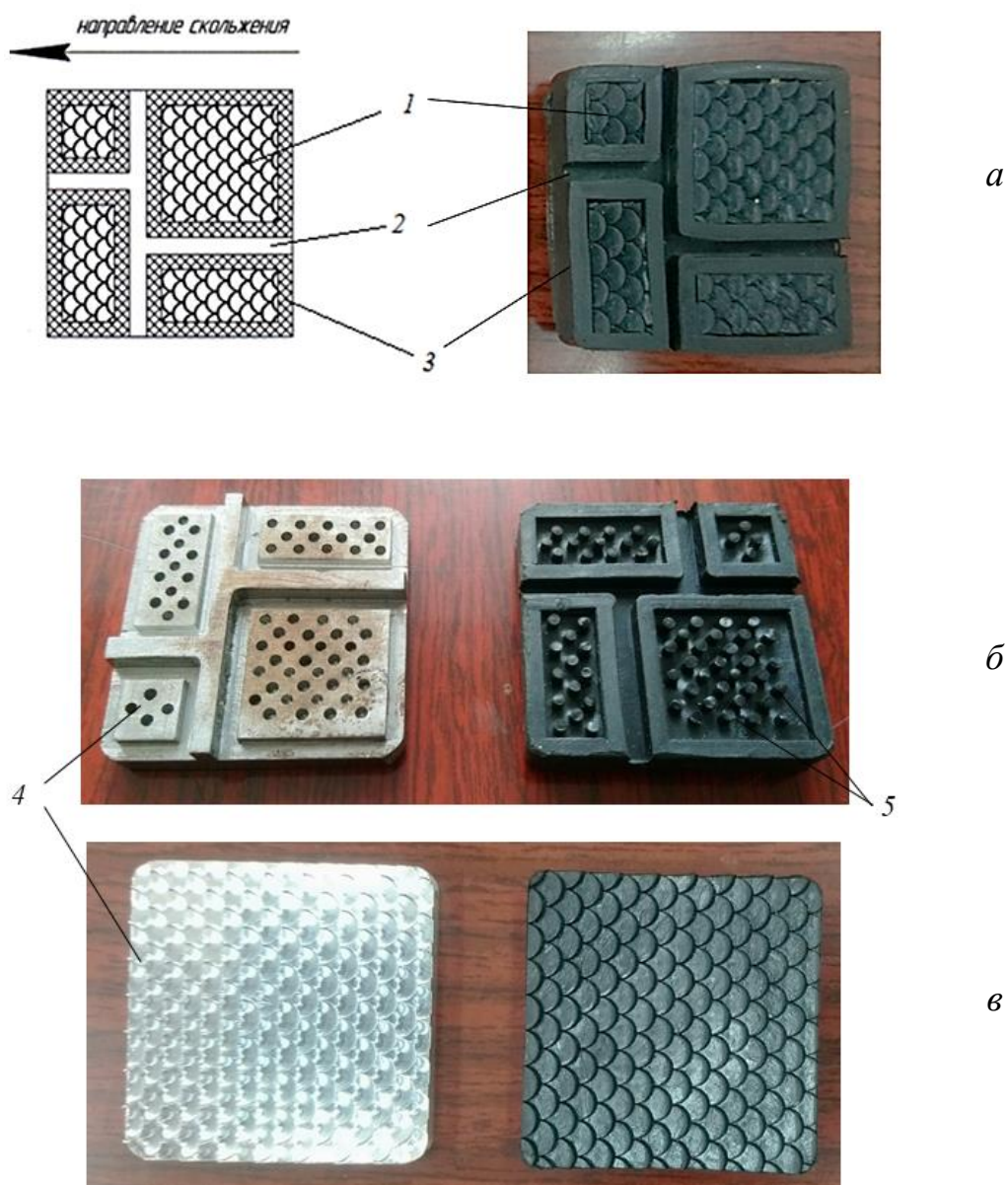


Рисунок 4.11. Общий вид образцов подошвенных материалов с кюветами и вставками «змеиная кожа» (а) и образцов для их получения (б и в):

1 – образец с рифлением в виде «змеиная кожа»; 2 – впадины; 3 – кюветы; 4 – матрицы; 5 – гибкие стержни

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 4.1, откуда следует, что коэффициент трения скольжения образцов с рифлением в виде змеиных чешуек значительно выше в сравнении с другими видами антискользящих элементов. Значительное превышение коэффициента трения наблюдается при скольжении образцов по асфальту (более 66%), поверхность

которого содержит большое количество выступов разного порядка, и менее значительное при скольжении по льду и тротуарной плитке.

Таблица 4.1. Экспериментальная оценка антискользящих свойств эластичных элементов кювет (а) и V-образных выемок (б)

Опорная (ходовая) поверхность образцов		Коэффициент трения скольжения		
		по обледенелой поверхности		по льду
		асфальта	тротуарной плитки	
а	Протекторы, разделенные впадинами	0,21	0,17	0,10
	Кюветы с гибкими стержнями	0,27 (+25,8)	0,18 (+9,7)	0,12 (+20,3)
	Кюветы с эластичными участками с рифлением «змеиная кожа»	0,35 (+66,2)	0,23 (+36,9)	0,14 (+41,2)
б	Гладкая без антискользящих элементов	0,13	0,12	0,07
	Гладкая с V – образными выемками на торцевой стороне образца	0,16 (+26,2)	0,14 (+20,0)	0,08 (+12,3)

Примечание. В скобках указано процентное превышение показателя по сравнению с показателем для образцов, содержащих протекторы, разделенные впадинами (а) и содержащих гладкие образцы (б) соответственно

Таким образом установлено, что рифленая поверхность в виде змеиных чешуек существенно повышает фрикционные характеристики материала. При этом возникает вопрос – можно ли дополнительно повысить коэффициент трения скольжения рифленой поверхности путем подбора плотности подошвенного материала, поскольку, как показано в главе 2, фрикционные свойства материала определяются также и его плотностью? Для ответа на этот вопрос проводили экспериментальные измерения коэффициента трения скольжения рифленых образцов разной плотности.

Для этого изготавливали образцы размером 50x50 мм, содержащие кюветы, в полость которых вставлялись рифленые вкладыши из материала на

основе ЭВА плотностью 270, 490, 740 и 1050 кг/м³. Для оценки преимуществ рифленых поверхностей в виде змеиных чешуек изготавливали образцы, содержащие кюветы с выступами в виде стержней, что соответствовало рельефу прототипа.

Результаты измерений фрикционных характеристик образцов и их сопоставление с показателями прототипа, представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Значения коэффициентов трения скольжения анτισкользящих элементов ходовой части подошвы

Вид и состояние опорной поверхности	Антискользящие элементы на ходовой части подошвенного материала				
	Кюветы с выступами (прототип)	Кюветы с вставками из материала плотностью ρ , кг/м ³			
		1050	740	490	270
Обледенелый асфальт	0,27	0,28 (+4,1)	0,30 (+12,7)	0,35 (+32,1)	0,29 (+9,7)
Обледенелая тротуарная плитка	0,18	0,18 (-1,7)	0,20 (+9,4)	0,23 (+24,9)	0,20 (+11,0)
Лед	0,12	0,12 (-3,3)	0,13 (+7,3)	0,14 (+17,1)	0,13 (+4,1)

Примечание. В скобках указано процентное превышение (знак «+») или снижение (знак «-») показателя по сравнению с показателем прототипа. Изменение показателя менее 8% лежит в пределах доверительной ошибки его экспериментального определения.

Из таблицы следует, что наиболее высоким коэффициентом трения скольжения обладают образцы с вставками из материала средней плотности, равной 490 кг/м³, что также подтверждают экспериментальные данные в работе [119], где образцы подошвенного материала, содержащие кюветы с вставками из материала указанной выше плотности, также показали наибольший тормозящий эффект. Поэтому элементы на ходовой стороне подошв (протекторы) целесообразно выполнять из непористого материала, а их внутреннее заполнение (например, гибкие стержни) - из пористого материала. Протекторы

обеспечивают существенный тормозящий эффект за счет зацепов за них крупных выступов опорной поверхности, а стержни дополнительно оказывают тормозящее действие при контактах и с крупными и с мелкими выступами. В результате комбинация твердых и эластичных элементов ходовой поверхности существенно повышает противоскользящие свойства подошв.

Отметим, что антискользящие элементы, выполненные из подошвенного материала высокой или низкой плотности, повышают силу трения скольжения в сравнении с прототипом незначительно или вовсе не повышают ее. Это объясняется противоположным действием на силу трения скольжения двух основных факторов - модуля упругости подошвенного материала, который повышается с ростом плотности материала, и площади фактического контакта тел трения (понижается с увеличением плотности материала).

В заключении характеристики конструкции контурных бордюров и материала для их изготовления отметим, что боковые стенки бордюров содержат V-образные выемки (см. рис. 4.6 и 4.7). Эти выемки повышают вероятность заклинивания в них выступов при использовании обуви по опорной поверхности. Это предположение подтверждается результатами сопоставления фрикционных характеристик образцов, содержащих V-образные выемки и не содержащих их. Указанное сопоставление, приведенное в таблице 4.2, показывает, что V-образные выемки повышают коэффициент трения скольжения образцов по обледенелым поверхностям асфальта на 26% и тротуарной плитки на 20%, что вносит вклад в обеспечение антискользящих свойств подошв.

Тормозящее воздействие V-образных выемок использовано также их выполнением на боковых сторонах серповидных впадин, расположенных в носочной и пяточной частях подошвы (см. рис. 4.6). При этом V-образные выемки направлены острием в направлении движения человека (на серповидных впадинах в носочной части подошвы) и в противоположном направлении (на впадинах в пяточной части). Такое расположение выемок в серповидных впадинах способствует заклиниванию выступов на опорной поверхности при

скольжении подошв как вдоль движения носчика, так и в противоположном направлении.

Перейдем теперь к рассмотрению остальных антискользящих элементов рельефа.

Рассмотренные выше контурные бордюры опоясывают систему кювет. Внутренние полости кювет заполнены вкладышами из пористого материала, ходовая сторона которых представляет собой рифления в виде змеиных чешуек. Заметим, что кюветы в носочно-пучковой части направлены острием преимущественно в направлении движения носчика, а в пяточной части – в противоположную сторону (см. рис. 4.6). Это обусловлено упомянутым выше стремлением создать условия для заклинивания выступов на опорной поверхности при проскальзывании подошв вдоль и против направления движения носчика. При этом эти элементы скомпонованы таким образом, что впадины между соседними кюветами формируют зигзагообразные (а не прямые) канавки, что повышает вероятность контакта выступов опорной поверхности с рельефом ходовой части подошв.

Отметим, что при ходьбе человека по скользкому грунту возможно проскальзывание подошвы при ступании на опорную поверхность (первая фаза контакта подошвы с опорной поверхностью) и при отрыве от нее в третьей фазе контакта [2]. При контактировании подошвы с опорной поверхностью только гранью каблука проскальзывание этой подошвы осуществляется в направлении движения человека [62]. Сопротивление такому проскальзыванию оказывают следующие элементы:

- рифленая поверхность в виде чешуек внутри кювет и в канавках задней части каблука (при этом выступающие полуцилиндры чешуек направлены в сторону носочной части подошв);
- компоновка кювет в каблучной части подошвы;
- серповидная впадина в каблучной части подошвы.

В третьей фазе, когда подошва контактирует с опорной поверхностью грунта только носочной частью, возможно ее проскальзывание в направлении,

противоположном направлению движения человека. Ниже перечислены элементы, противодействующие этому проскальзыванию:

- серповидная впадина в носочной части подошвы;
- компоновка кювет в носочно-пучковой части подошв;
- рифленая поверхность в виде чешуек внутри кювет и в канавках носочной части подошвы (выступающие полуцилиндры чешуек направлены к каблучной части подошвы);
- V-образные выемки на элементах рельефа, направленные острием в направлении движения носчика.

Сопротивление скольжению подошвы в боковых направлениях на всех фазах ее контакта с опорной поверхностью (помимо прочих антискользящих элементов) оказывают тормозящие цилиндрические выступы чешуек, расположенных в прерывистых канавках и которые направлены в сторону возможного бокового скольжения подошвы.

Вспененный материал плотностью 450-580 кг/м³ в кюветах и прерывистых канавках, благодаря его высокой эластичности, способен оказывать противоскользящее действие при скольжении подошвы относительно мелких неровностей (бугорков) на опорной поверхности грунта подобно выступам в кюветах, заявленных в прототипе. Кроме этого, вспененный материал низкой твердости и высокой эластичности обладает повышенным коэффициентом трения скольжения по грунту [3]. Более того, рельефная ходовая поверхность в виде змеиных чешуек дополнительно способна оказывать противоскользящее действие за счет зацепов чешуек за неровности (бугорки) опорной поверхности грунта.

Таким образом на базе концепции создания антискользящего рельефа подошв и практических рекомендаций по его проектированию разработана конструкция форм подошв с повышенными противоскользящими свойствами (патент №2695974 РФ, МПК А43С 15/14).

На основе полученных в диссертации результатов разработана методика проектирования антискользящего рельефа формованных подошв, которая

принята к практическому использованию на ООО «Фабрика С-ТЕП» (акт о внедрении от 29.12. 2021г). В соответствии с этой методикой на предприятии изготовлены образцы формованных подошв из термоэластопласта и изготовлена партия обуви. Опытная носка изготовленной обуви, проведенная в период с 24.11.21 по 21.12.21г., в течение которого наблюдались гололедные явления, показала значительно более высокие антискользящие характеристики в сравнении с обувью на традиционной подошве (акт о внедрении от 29.12.2021г).

Теоретические положения и экспериментальные данные диссертационной работы используются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению 29.04.01 «Технология изделий легкой промышленности» в рамках магистерской программы «Повышение технологических свойств и эксплуатационных характеристик обуви», а также при подготовке бакалавров по направлениям 29.03.01 «Технология изделий легкой промышленности» по профилю «Инновационные технологии обуви и аксессуаров», 29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности» по профилю «Креативное проектирование обуви и аксессуаров», в частности в курсе лекций по дисциплинам «Безопасность обуви и инновационные материалы ее производства», «Проектирование специальной и спортивной обуви», что подтверждено соответствующим актом внедрения от 29.12.2021года.

ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ

1. На основе анализа известных и разработанных в диссертации элементов рельефа ходовой поверхности подошв и расчетных соотношений для количественной оценки их тормозящего действия, сформулированы требования к противоскользящему рельефу подошв.
2. Предложены варианты рельефа ходовой поверхности подошв, включающие противоскользящие элементы, скомпонованные особым образом, придающим обуви дополнительные свойства антискольжения.
3. Проведена экспериментальная оценка антискользящих характеристик элементов рельефа, которая показала возможности существенного повышения

коэффициента трения скольжения подошв, причем только за счет применения на ходовой поверхности вкладышей из эластичных материалов коэффициент трения скольжения может быть повышен на 32%.

4. Предложен и запатентован (патент № 2695974 РФ, МПК А43С 15/14) рельеф ходовой поверхности подошв, включающий комплекс антискользящих элементов, которые придают обуви повышенные противоскользящие характеристики.

5. Разработана концепция создания антискользящего рельефа ходовой части подошв, реализация положений которой позволяет существенно повышать коэффициент трения скольжения обуви при ходьбе по скользкой опорной поверхности.

6. В рамках оценки эффективности разработанных вариантов рельефа ходовой части подошв указаны ограничения их противоскользящих характеристик и обобщены рекомендации по скользкой опорной поверхности, позволяющие снизить скольжение обуви и риск падений носчика.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В настоящей диссертационной работе проведен комплекс экспериментальных и теоретических исследований с целью повышения антискользких характеристик обуви. Отдавая дань высоким антискользким свойствам различных противоскользких приспособлений типа металлических игл, заостренных скоб, отмечено, что они неудобны для применения в повседневной и специальной обуви различных видов. Поэтому в работе большое внимание уделено исследованию фрикционных свойств подошвенных материалов ввиду противоречивости известных сведений о них, а также выявлению закономерностей фрикционного взаимодействия эластичных подошвенных материалов с выступами на опорной поверхности. Полученные результаты позволили разработать специфические виды рельефа ходовой части подошв, обладающими повышенными антискользкими свойствами.

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 наших измерений, проведенных по традиционной методике, содержат значительные погрешности и часто противоречивы. Для повышения точности определения характеристик трения скольжения нами разработана модель опорной поверхности, представляющая собой пластины из политетрафторэтилена, фрикционные свойства которых и шероховатость 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 скольжения при плотности 450-580 кг/м³.

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 представляет дополнительные данные для разработки антискользящего рельефа подошв.

7. На основе результатов экспериментальных и теоретических исследований по теме диссертации разработаны варианты рельефа ходовой части формованных подошв, обладающих повышенными антискользящими свойствами, которые нашли практическую реализацию на ООО «Фабрика С-ТЕП», что подтверждено актами о внедрении.

8. В результате обобщения практических и теоретических результатов диссертационной работы сформулирована концепция создания антискользящего рельефа ходовой части подошв, реализация которой позволяет снижать скольжение обуви и уменьшать риски падений на скользких поверхностях, что имеет важное социальное значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быкова, А.Б. Классификация противоскользящих устройств и приспособлений для обуви // А.Б. Быкова, П.С. Карабанов // Концепция, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции (25-27 марта 2020г.). Часть 1. –Москва: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. –С.125-128.
2. Михеева, Е.Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Е.Я. Михеева, Л.С. Беляев. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248с.
3. Зурабян, К.М. Материаловедение изделий из кожи: учебник / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, М. М. Бернштейн. – Москва: Легпромбытиздат, 1988. - 415 с.
4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). Научно-прикладной справочник «Климат России»: сайт. - Обнинск. - URL: <http://meteo.ru/climate/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii> (дата обращения: 20.01.2021).
5. Из-за гололеда в Новосибирске пострадали пять тысяч человек. –URL: <https://online47.ru/2021/03/24/iz-za-gololeda-v-novosibirske-postradali-pyat-tysyach-chelovek-122716> (дата обращения: 01. 02. 2021).
6. ФИПС - Федеральное государственное бюджетное учреждение Федеральный институт промышленной собственности: сайт. - Москва. - URL: <https://www1.fips.ru/publication-web/classification/mpk?view=detail&edition=2021&symbol=A43>(дата обращения: 19.02.2021).
7. ПТК Модерам. Решения и разработки обуви для защиты от скольжения в мире. – URL: <http://moderam.ru/vopros-ekspertu/spravochnaya-informatsiya/obzor> (дата обращения: 01.02.2021).

8. Патент № 2723251 Российская Федерация, МПК А43С 15/10 (2006.01). Способ шипования съемных устройств предотвращения скольжения обуви: № 2020103060: заявл. 25.01.2020: опубл. 09.06.2020 / Чугин В. П.; заявитель Чугин В. П.: ил.
9. Патент № 2099997 Российская Федерация, МПК А43С15/02 (2006.01) Устройство для предохранения обуви от скольжения. № 96106494/12: заявл. 03.04.1996: опубл. 27.12.1997 / Яишницин Н.В.; заявитель Яишницин Н.В.: ил.
10. Патент № 1759395 Российская Федерация, МПК А43С15/00 (2006.01) Противоскользящая платформа. № 4807425/12: заявл. 09.02.1990: опубл. 07.09.1992 / Хомутов А.М.: ил.
11. Патент № 2149573 Российская Федерация, МПК А43С15/10 (2006.01) Устройство для предохранения обуви от скольжения. № 99119718/12: заявл. 17.09.1999: опубл. 27.05.2000 / Крюк Т.П., Рагинский Ю.А.; заявитель Крюк Т.П., Рагинский Ю.А.: ил.
12. Патент № 198437 Российская Федерация, МПК А43С 15/06 (2006.01). Противоскользящее устройство для обуви: № 2020105024: заявл. 03.02.2020: опубл. 09.07.2020. / Логиновских Н. М.; заявитель Логиновских Н. М.: ил.
13. Патент № 109377 Российская Федерация, МПК А43С 15/00 (2006.01). Съёмная нескользящая подошва обуви: № 2011115152/12: заявл. 19.04.2011: опубл. 20.10.2011 / Евзович В. Е., Альтзицер В. С.; заявитель Евзович В. Е., Альтзицер В. С.: ил.
14. Патент № 2476130 Российская Федерация, МПК А43С 15/00 (2006.01). Съёмная нескользящая подошва обуви: № 2011115152/12: заявл. 19.04.2011: опубл. 20.10.2011 / Евзович В. Е., Альтзицер В. С.: ил.
15. Патент № 174657 Российская Федерация, МПК А43С 15/00 (2006.01). Устройство для предохранения обуви от скольжения: № 2017113538: заявл. 19.04.2017: опубл. 24.10.17 / Калугина Е.А.; заявитель Калугина Е.А.: ил.
16. Патент № 193609 Российская Федерация, МПК А43С 15/06 (2006.01). Противоскользящее устройство для обуви: № 2019118733: заявл. 17.06.2019: опубл. 16.11.2019 / Логиновских Н. М.: ил.

17. Патент № 161983 Российская Федерация, МПК А43С 15/02 (2006.01). Устройство для предохранения обуви от скольжения «Замок»: № 2015126419/14: заявл. 01.07.2015: опубл. 20.05.16 / Бадянский В. Т., Бадянская М. В.; заявитель Бадянский В. Т., Бадянская М. В.: ил.
18. Патент № 203073 Российская Федерация, МПК А43С 15/06 (2006.01). Противоскользящее устройство для обуви: № 2020129726: заявл. 08.09.2020: опубл. 22.03.2021 / Логиновских Н. М.; заявитель Логиновских Н. М.: ил.
19. Патент № 195560 Российская Федерация, МПК А43С 15/06 (2006.01). Противоскользящее устройство для обуви: № 2019127846: заявл. 03.09.2019: опубл. 31.01.2020 / Дрёмин В.С.; заявитель Демин В.С.: ил.
20. Патент № 86420 Российская Федерация, МПК А43С 15/10 (2006.01). Устройство для предохранения обуви от скольжения: № 2009117481/22: заявл. 08.05.2009: опубл. 10.09.2009 / Белков Е. В.; заявитель Белков Е.В.: ил.
21. Патент № 126908 Российская Федерация, МПК А43С 15/00 (2006.01). Шиповки- антилед: № 2012125369/12: заявл. 19.06.2012: опубл. 20.04.2013 /Дружинин В.Н.; заявитель ООО «Радомир»: ил.
22. Оптовая продажа. Альпинизм. Кошки зимние: [сайт]. –URL: <http://china.org.ru/product/ru/60797792696>. (дата обращения: 01. 02. 2021).
23. Патент № 95474 Российская Федерация, МПК А43С 15/02 (2006.01). Нескользящая подошва обуви: № 2010111256/22: заявл. 25.03.2010: опубл. 10.07.2010 / Евзович В. Е., Шаров Н. И., Альтзицер В. С.; заявитель ООО "Конкорд": ил.
24. Патент № 2722710 Российская Федерация, МПК А43С 15/02 (2006.01). Устройство для предохранения обуви от скольжения: № 2019124922: заявл. 15.08.2019: опубл. 03.06.2020 / Буряков Г.Ф.; заявитель Буряков Г.Ф.: ил.
25. Противоскользящие наклейки на подошву ANTI-SLIP Olvist: Интернет магазин Promenad.ru: [сайт]. – Новосибирск, 2013. – <http://www.promenad.ru/catalog/262786.html>. (дата обращения: 09. 02. 2021).

26. Патент 2011151499 Российская Федерация, МПК А43С 15/04 (2006.01). Противогололедные пластины для каблуков: № 2011151499/02: заявл. 12.12.2011: опубл. 20.06.2013 / Тумаков С.Н.: ил.
27. Патент 2447820 Российская Федерация, МПК А43С 13/00 (2006.01). Элемент для предотвращения скольжения обуви: № 2010149873/12: заявл. 03.12.2010: опубл. 20.04.2012 / Морозов М.Н.; заявитель ГОУПО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет": ил.
28. Патент 2739372 Российская Федерация, МПК А43В 13/14 (2006.01). Нескользящая подошва для обуви: № 2020123658: заявл. 09.07.2020: опубл. 23.12.2020 / Агаджанов Э.В.: ил.
29. Патент № 95475 Российская Федерация, МПК А43С 15/12 (2006.01). Устройство для предохранения обуви от скольжения: № 2010112085/22: заявл. 29.03.2010: опубл. 10.07.2010 / Волосов Е.В.; заявитель Волосов Е.В.: ил.
30. Патент №188378 Российская Федерация, МПК А43С 15/08 (2006.01). Зимняя обувь Фокина с выдвигаемыми шипами: № 2018145800: заявл. 24.12.2018: опубл. 09.04.2019 / Фокин Е. С.; заявитель Фокин Е.С.: ил.
31. Патент № 138812 Российская Федерация, МПК А43С 15/08 (2006.01). Обувь с противоскользящим устройством: № 2013147183/12: заявл. 22.10.2013: опубл. 27.03.2014 / Калимуллина Л. Р.; заявитель Калимуллина Л.Р.: ил.
32. AL.PI. Идеальный партнер для ваших проектов...: [сайт]. – URL: <http://ocsystem.it/ocsystem/urban/> (дата обращения: 23.01.2021).
33. Павлинов, А. В. Инновационные способы улучшения потребительских свойств обуви с подошвой из полимерных материалов // А. В. Павлинов, Е. А. Силахина // Вестник технологического университета. - 2015. - т.18. - №17. С.163-164.
34. Beautifull. Тёплые ботинки с противоскользящими накладками СИТИ-Меего Comfort GL823-51M red: [сайт]. – URL: <https://beauti-full.ru/tag/obuv-do-42-131/tyoplye-botinki-s-protivoskolzyawimi-nakladkami-siti-meego-comfort-gl823-51m-red> (дата обращения: 09.02.2021).

35. Патент № 2414155 Российская Федерация, МПК А43С15/04 (2006.01). Устройство противоскользящей каблучной части обуви с дистанционным перемещением шипов: № 2009125836/05: заявл. 08.07.2009: опубл. 20.03.2011 / Александров С. П., Шахматова Т. А., Лаптева Е. И.; заявитель ГОУВПО «Заочный институт текстильной и лёгкой промышленности»: ил.
36. Патент № 2493756 Российская Федерация, МПК А43В13/26 (2006.01). Устройство противоскользящей обуви: № 2011124763/12: заявл. 20.06.2011: опубл. 27.09.2013 / Александров С.П., Колтовская О.В.; заявитель ГОУВПО «Заочный институт текстильной и лёгкой промышленности»: ил.
37. Патент №2416346 Российская Федерация, МПК А43С15/00 (2006.01). Устройство противоскользящей подошвы обуви с дистанционным управлением перемещением шипов: № 2010105953/12: заявл. 24.02.2010: опубл. 20.04.2011/ Александров С.П., Шахматова Т.А.; заявитель ГОУВПО «Заочный институт текстильной и лёгкой промышленности»: ил.
38. Патент № 2443376 Российская Федерация, МПК А43С15/14 (2006.01). Устройство шипа для нескользящего ботинка: № 200106470/12: заявл. 07.03.2008: опубл. 27.02.2012/ Микаэл Амарк; заявитель ГРИП ФОРС ТЕКНОЛОДЖИЗ АБ: ил.
39. Патент № 2630205 Российская Федерация, МПК А43С 15/14 (2006.01). Антискользящее устройство: № 2016123386: заявл. 14.06.2016: опубл.05.09.2017 / Багич Г.Л.; заявитель Багич Г.Л.: ил.
40. Патент № 2561326 Российская Федерация, МПК А43С 15/14 (2006.01). Антискользитель для обуви: № 2014119356/12: заявл. 13.05.2014: опубл. 27.08.2015 / Шмаков А.М.; заявитель Шмаков А.М.: ил.
41. Карабанов, П.С. Производство деталей низа обуви из комбинированных материалов: учебное пособие / П.С. Карабанов. – Новосибирск: Аквамарин, 2007. – 151с.
42. Никитина, Л.Л. Полимерные материалы в обуви с улучшенными эргономическими характеристиками / Л.Л. Никитина, Т.В. Жуковская, Р.М. Галялутдинова // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. -

- №7. -URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/polimernye-materialy-v-obuvi-s-uluchshennymi-ergonomicheskimi-harakteristikami> (дата обращения: 10.02.2021).
43. Рыскулбеков, Т.Б. Разработка рецептурно-технологических параметров изготовления низа спортивной обуви: диссертация ... кандидата технических наук: 05.19.06. - Москва, 1989. - 197 с. : ил.
44. Патент № 206792 Российская Федерация, МПК А43В 13/22 (2006.01), А43В 13/26 (2006.01). Нескользящая подошва для обуви: № 2021119381: заявл. 02.07.2021: опубл. 28.09.2021 / Мусаретов Р. А.; заявитель Мусаретов Р.А.: ил.
45. Патент № 2719141 Российская Федерация, МПК А43В 13/22 (2006.01). Нескользящая набойка для обуви: № 2019108087: заявл. 10.08.2017: опубл. 17.04.2020/ ЦИГЛЕР, Хорст; заявитель Вортманн КГ Интернационале Шупродукционен.: ил.
46. Патент № 2041679 Российская Федерация, МПК А43В 13/22 (2006.01). Подошва для предохранения обуви от скольжения: заявл. 26.11.1992: опубл. 20.08.1995 / Булгаков Б.А., Бараев В.А., Калитвинцев С.С., Смирнов-Мальцев А.А.; заявитель Булгаков Б.А., Бараев В.А., Калитвинцев С.С., Смирнов-Мальцев А.А.: ил.
47. Компания «Green Diamond Technology Co., Ltd». - URL: <http://greendiamond.cn/index.php.html> (дата обращения: 16.03.2021).
48. Идеальная пара. Центр эксклюзивных размеров обуви: [сайт]. — 2013. — URL: <http://www.obuvexsize.ru>. (дата обращения: 14.02.2021).
49. ГОСТ Р 56965-2016 (ISO/TR 20880:2007). Обувь. Требования к характеристикам деталей обуви. Подошвы: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: дата введения 2017-07-01. - Москва: Стандартинформ, 2016.
50. Гриценко, З. А. Исследование свойств подошвенных резин для специальной обуви рабочих мясо-молочной промышленности [Текст]: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук - Москва: Центросоюз. Моск.кооп. ин-т, 1965. - 19 с.

51. Карабанов, П.С. Теория и практика совершенствования технологии прямого литья низа на обувь: монография / П.С. Карабанов, Т.А. Дмитриенко, А.В. Колесникова; под общей редакцией П.С. Карабанова. – Саратов: Академия управления, 2016. – 206с.
52. Зыбин, Ю.П. Конструирование изделий из кожи: учебник / Ю.П. Зыбин, В.М. Ключникова, Т.С. Кочеткова, В.А. Фукин. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264с.
53. Буркин, А. Н. Методы и средства оценки износостойкости подошвенных материалов / А. Н. Буркин, К. Г. Коновалов, М. И. Долган // Вестник Белорусского государственного экономического университета. - 2013. – №6 (101). – С. 56–63.
54. Кочеткова, Т. С. Исследование распределения давления стопы на опору с целью создания рационального следа обуви. // Диссертация на соискание ученой степени, кандидата технических наук - М: МТИЛП, 1964. - 144 с.
55. Горбачик, В.Е. Основы анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханики: учебное пособие / В. Е. Горбачик. – Витебск: УО «ВГТУ», 2011. – 125 с. – URL: <http://kitik.vstu.by> (дата обращения: 02.04.2021).
56. Кочеткова, Т.С. Антропологические и биомеханические основы конструирования изделий из кожи: учебник / Т.С. Кочеткова, В.М. Ключникова. – Москва: Легпромбытиздат. 1991. – 192с.
57. Полюшкин, Н.Г. Основы теории трения, износа и смазки: учебное пособие / Н.Г. Полюшкин. – Красноярск: КГАУ, 2013. – 192 с.
58. Справочник по триботехнике. Теоретические основы. В 3 томах. Том 1 / под общей редакцией М. Хебды, А.В. Чичинадзе. - Москва: Машиностроение, 1989. – 400с.
59. И. В. Крагельский и его роль в развитии трибологии (к 100-летию со дня рождения) // Трение и износ. - 2008.- № 3. - С.216-224.
60. Бартенев, Г. М. Трение и износ полимеров / Г. М. Бартенев, В. В. Лаврентьев. - Ленинград: Химия, 1972. - 240 с.

61. Крагельский, И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. - 2-е перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 1968. - 480 с.
62. Немчинов, В.М. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля. - Москва: Транспорт, 1985. - 231 с.
63. Скользкость и шероховатость дорожного покрытия макрошероховатость: Инф-Ремонт – информационный портал. – URL: <http://inf-remont.ru/road/roa91>. (дата обращения: 24.04.2021).
64. Karabanov P.S. Antislip Relief of running sole's surface/ Karabanov P.S., Savrasova T.A. //ISJ Theoretical&Applied Science, 2016. № 6(38) p. 36-39
65. Карабанов, П.С. Повышение антискользких свойств ходовой поверхности подошв повседневной обуви / П.С. Карабанов, А.Д. Росляков, А.М. Титов // Технологии и материалы в производстве инновационных потребительских товаров: сборник научных трудов. Часть 2. – Москва: МГУДТ, 2015. – 192 с.
66. Демкин, Н. Б. Экспериментальное и теоретическое исследование контактирования шероховатых поверхностей применительно к проблемам внешнего трения: диссертация ... доктора технических наук: 05.00.00. - Калинин, 1968. - 508 с. : ил.
67. Закатова, Н.Д. Эксплуатационные свойства обувных материалов и деталей / Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева. – Москва: Легкая индустрия, 1966. - 214 с.
68. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон; перевод с английского. - Москва: Мир, 1989. - 510с.
69. Краснов, Б.Я. Материалы для изделий из кожи: учебник / Б.Я. Краснов. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 344с.
70. Орехова, Р. М. Исследование фрикционных свойств подошвенных материалов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.19.08. - Москва, 1980. - 206 с. : ил.
71. Конов, И.С. Расчет безопасного значения коэффициента трения скольжения подошвы / И.С. Конов, Е.Г. Фетисов, А.А. Карпухин: Сборник

научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается». – Москва: МГУДТ, 2014. - С. 97-101.

72. D. B. Chaffin, G. B. J. Andersson and B. J. Martin, “Occupational Biomechanics,” Wiley-Interscience, Hoboken, 2006.

73. Горячева, И. Г. Трение эластомеров. Моделирование и эксперимент / И. Г. Горячева, Ю. Ю. Маховская, А. В. Морозов, Ф.И. Степанов. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. — 204 с.

74. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. - 20-е изд., стер. - Москва: Высшая школа, 2010. - 416 с.

75. ГОСТ Р ИСО 13287-2017 Средства индивидуальной защиты ног. Обувь специальная защитная. Метод определения сопротивления скольжению: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: дата введения 2018-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2019.

76. Шевцова, М.В. К вопросу об оценке устойчивости обуви к скольжению / М.В. Шевцова, В.В. Василевская: тезисы докладов 52 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – Витебск: ВТГУ, 2019. - С.227.

77. ГОСТ 12.4.083-80 Система стандартов безопасности труда. Материалы для низа специальной обуви. Метод определения коэффициента трения скольжения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: дата введения 1980-01-29. - Москва: Издательство стандартов, 1980. - 10с.

78. Беличенко, К.А. Экспериментальный стенд для исследования показателей трения-скольжения ходовой поверхности подошв по грунту / К.А. Беличенко, П.С. Карabanов, О.В. Кашурникова, Д.А. Юдаков //Техническое регулирование – базовая основа качества материалов, товаров и услуг: международный сборник научных трудов. – Шахты: ЮРГУЭС, 2011. – С. 110-111.

79. Мойзес, Б.Б. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных: учебное пособие / Б.Б. Мойзес, И.В. Плотникова, Л.А. Редько. – Томск: ТПУ, 2016. - 119с.

80. Бычковский, Н.Н. Ледовые строительные площадки, дороги и переправы / Н.Н. Бычковский, Ю.А. Гурьянов; под общей редакцией Н.Н. Бычковского. - Саратов: СГТУ, 2005. - 260 с.
81. Снег. Справочник / под редакцией Д. М. Грея, Д. Х. Мейла. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
82. Ювенальев, И.Н. Юным конструкторам аэросаней. – Москва: Детская литература, 1969. –URL: https://www.sinref.ru/000_uchebniki/05300_transport/023_00_unim_konstruktoram_sanei_univealiev_1969/000.htm (дата обращения: 01.05.2021).
83. Конов, И.С. Оценка фрикционных свойств подошвенных материалов / И.С. Конов, А.А. Карпухин // Кожевенно-обувная промышленность. - 2013. - № 1. - С. 28- 31.
84. Лиокумович, В.Х. Структурный анализ качества обуви / В. Х. Лиокумович. – Москва: Легкая индустрия, 1980. – 160с.
85. Карпухин, А.А. Трибологические свойства материалов подошв современной обуви / А.А. Карпухин, М.Б. Кузина, А.И. Старков, А.И. Копылов // Сборник научных трудов Симпозиума «Современные инженерные проблемы базовых отраслей промышленности» международного научно-технического форума «Первые международные Косыгинские чтения (11-12 октября 2017 года). Том 2. – Москва: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. - С.28-31.
86. Трение. Коэффициенты трения скольжения: [сайт]. – URL: www.minkor.ru/upload/spravochnik/170310. (дата обращения: 15.02. 2021).
87. ГОСТ 409-2017. Пластмассы ячеистые и резины губчатые. Метод определения кажущейся плотности: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: дата введения: 2018-07-01. - Москва: Стандартиформ, 2017.
88. ГОСТ 263-75. Резина. Метод определения твердости по Шору А (с изменениями N 1, 2, 3, 4): национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: дата введения: 1975-21-01. - Москва: Издательство стандартов, 1989.

89. Справочник обувщика (Проектирование обуви, материалы) / Л.П. Морозова, В.Д. Полуэктова, Е.Я. Михеева [и др.] – Москва: Легпромбытиздат, 1988. – 432 с.
90. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. - Москва: Машиностроение, 1977. - 526 с.
91. 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.
92. ГОСТ 270-75 Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: дата введения: 01.01.1978. - Москва: Стандартинформ, 2008.
93. Карабанов, П.С. Полимерные материалы для деталей низа обуви / П.С. Карабанов, А.П. Жихарев, В.С. Белгородский // Учеб. пособие. - М.: КолосС, 2008. — 167 с.: ил. - 2008.
94. Закатова, Н.Д. Эксплуатационные свойства обувных материалов и деталей / Н.Д. Закатова, Е.Я. Михеева. - Москва: Легкая индустрия, 1966. – 216с.
95. 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.
96. 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.
97. 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.

98. ФемтоСкан Онлайн: [сайт]. – URL:http://www.nanoscopy.ru/software/femto_scan_online/ (дата обращения: 11.04. 2021).

99. Рекомендации по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью: [сайт]. - URL: http://gostrf.com/norma_data/47/47672/index.htm#i451424. (дата обращения: 21.05.2021).

100. 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.

101. 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.

102. 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 мая 2020года). - Саратов: Амирит, 2020 - С. 95-100.

103. Карабанов, П.С. Характер контакта подошвенных материалов с опорной поверхностью, содержащей множество выступов / П.С. Карабанов, А.Б. Быкова, А.Д. Росляков // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы III Всероссийской научно-практической конференции (14 мая 2020г.). – Саратов: Амирит, 2020. – С. 89-91.

104. 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.

105. 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.

106. Алифанов, Е.В. Особенности механизма трения эластомерных материалов различных типов. Теоретические и практические аспекты (обзор). / Е.В. Алифанов, А.М. Чайкун, Д.С. Горлов, М.А. Венедиктова // Труды ВИАМ, 2018. - №1 (61) – С. 66-72.

107. 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.

108. Тихомиров, В.Б. Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров. - Москва: Легкая индустрия, 1974. - 262 с.

109. 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. – С. 123-126.

110. Программы для компьютера. «Мапл – 17»: [сайт]. – URL: <https://maple.download-windows.org/> (дата обращения: 13.01. 2021).

111. Патент №2697531 Российская Федерация, МПК А43В 13/22, А43В 13/26 (2006.01). Противоскользящая обувная подошва: № 2017131265: заявл. 24.04.2015: опубл. 15.08.2019. / ЛО Цзяньпин: ил.

112. Патент №1590064 Российская Федерация, МПК А43В 13/22 (2006.01). Подошва с противоскользящими свойствами: № 4405634: заявл. 11.03.1988: опубл. 07.09.1990. / Сокол Ю.С., Модзерян Д.Е., Волкова Е.А.: ил.
113. Патент № 2037312Российская Федерация, МПК А43В 13/26, А43С 15/16 (2006.01). Подошва обуви: № 5064633: заявл. 28.07.1992: опубл.19.06.1995. / Барановский Э.В.: ил.
114. Патент № 2066967 Российская Федерация МПК А43В13/22 (1995-01-01), А43С15/00 (1995-01-01). Комбинированный слой противоскольжения для низа обуви "Аскользен-2": № 94037770/12: заявл. 30.09.1994: опубл. 27.09.1996. / Нестеренко Г.Н.: ил.
115. Половников, И.И. Проектирование спортивной обуви / И.И. Половников, О.В. Фарниева. – Москва: Легпромбытиздат, 1987. – 128с.
116. Патент № 2519944 Российская Федерация, МПК А43В 13/22 (2006.01). Ходовая поверхность с противоскользящими свойствами: № 2013107494/12: заявл. 19.02.2013: опубл. 20.06.14 / Карабанов П.С., Иванова Г.А., Титов А.М., Чалых А.С. – 15 с.: ил.
117. 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.
118. 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.
119. 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.

120. Патент № 2695974 Российская Федерация, МПК А43С 15/14(2019.07).
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. – 19 с.: ил.
121. КОМПАС-3D. Официальный сайт САПР КОМПАС [сайт]. – URL:
<https://kompas.ru>. (дата обращения: 21. 05.2021).
122. Банников, А.Г. Жизнь животных. Земноводные, пресмыкающиеся: в 6
томах. Том 4. Часть 2 / А.Г. Банников. – Москва: Просвещение, 1969. - 488с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Акты о внедрении результатов диссертационного исследования

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора
по учебно-методической работе
НТИ (филиал) РГУ им. А.Н. Косыгина

Печурин Г.Г.

«29» декабря 2021 г.

АКТ

внедрения в учебный процесс
результатов диссертационной работы
Хариной В.А.



Результаты диссертационной работы Хариной В.А. используются в учебном процессе в НТИ (филиале) РГУ им. А.Н. Косыгина при подготовке магистров по направлению 29.04.01 "Технология изделий легкой промышленности" в рамках магистерской программы "Повышение технологических свойств и эксплуатационных характеристик обуви", а также при подготовке бакалавров по направлениям 29.03.01 "Технология изделий легкой промышленности" по профилю «Инновационные технологии обуви и аксессуаров», 29.03.05 "Конструирование изделий легкой промышленности" по профилю «Креативное проектирование обуви и аксессуаров», в частности в курсе лекций по дисциплинам «Безопасность обуви и инновационные материалы ее производства», «Проектирование специальной и спортивной обуви».

Зав. каф. ТКИКиУП д-р техн. наук, проф. П.С. Карабанов П.С.

Зам.зав. каф. ТКИКиУП канд. техн. наук, доц. Г.А. Бороздина Г.А.

Доц. каф. ТКИКиУП канд. техн. наук, доц. Л.А. Белова Л.А.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ген. директор ООО «Фабрика С-ТЕП»

Юнг С.А.

« 29 » сентября 2021 г.



АКТ

внедрения методических рекомендаций по проектированию
антискользящего рельефа ходовой поверхности
формованных подошв для повседневной и специальной обуви

Методические рекомендации содержат указания по выбору вида и плотности подошвенных материалов, характеристики антискользящих элементов рельефа (протекторов, кювет с эластичными вставками, контурных бордюров, серповидных впадин, V-образных выемок) и правила их компоновки при оформлении рельефа. Практическая реализация методических рекомендаций не требует дополнительных финансовых затрат, и при этом позволяет существенно повысить антискользящие свойства обуви и таким образом снизить травматизм при ходьбе по скользким опорным поверхностям, что имеет важное социальное значение.

Представители НТИ (филиал)
«РГУ им. А.Н. Косыгина»

Зав. каф. ТКИКиУП

д-р техн. наук, проф.

П.С. Карабанов Карабанов П.С.

Доц. каф. ТКИКиУП

канд. техн. наук, доц.

Г.А. Бороздина Бороздина Г.А.

Представители
ООО «Фабрика С-ТЕП»

Руководитель дизайн-центра

Т.Н. Карпицкая Карпицкая Т.Н.

Начальник цеха

Т.В. Васильева Васильева Т.В.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ген. директор ООО «Фабрика С-ТЕП»

Юнг С.А.

«29» декабря 2021 г.



АКТ

внедрения способа повышения антискользких характеристик ходовой поверхности формованных подошв из термоэластопластов, разработанного на основе результатов диссертационной работы Хариной В.А.

Способ заключается в выполнении на ходовой поверхности подошв антискользких элементов, разработанных в диссертационной работе Хариной В.А., скомпонованных особым образом и образующими рельеф, обеспечивающий максимальные тормозящие характеристики при ходьбе по обледенелой поверхности.

На предприятии изготовлены опытные образцы подошв, ходовая поверхность которых содержит предложенный антискользкий рельеф. Опытная носка обуви с экспериментальными образцами подошв показала существенное повышение ее антискользких свойств по сравнению с обувью на подошве с традиционным рельефом ходовой части.

Представители НТИ (филиал)
«РГУ им. А.Н. Косыгина»

Зав. каф. ТКИКиУП

д-р техн. наук, проф.

П.С. Карабанов Карабанов П.С.

Доц. каф. ТКИКиУП

канд. техн. наук, доц.

Г.А. Бороздина Бороздина Г.А.

Представители
ООО «Фабрика С-ТЕП»

Руководитель дизайн-центра

Т.Н. Карпицкая Карпицкая Т.Н.

Начальник цеха

Т.В. Васильева Васильева Т.В.