

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.Н. КОСЫГИНА (ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»**

На правах рукописи



Кочетков Константин Сергеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ ОБУВИ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ
НА БИОМЕХАНИКУ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

Специальность 05.19.05–

"Технология кожи, меха, обувных и кожевенно –
галантерейных изделий"

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент Синева О.В.

Москва – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ИЗГИБНАЯ ЖЕСТКОСТЬ В КОМПЛЕКСЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБУВИ	12
1.1. Показатели качества обуви	12
1.2. Теоретические основы оценки изгибной жесткости обуви	16
1.2.1. Исследование изгибной жесткости обуви в статике.....	16
1.2.2. Исследование изгибной жесткости обуви в процессе ходьбы	30
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	38
2. РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОБУВИ И ЭЛЕМЕНТОВ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ИЗГИБЕ	41
2.1. Расчет теоретической изгибной жесткости низа обуви по показателям физико-механических свойств материалов	41
2.2. Обзор методов и приспособлений для определения изгибной жесткости обуви	55
2.3. Разработка конструкции прибора для определения изгибной жесткости обуви	66
2.4. Экспериментальные исследования изгибной жесткости деталей обуви ...	71
2.4.1. Факторы формирования изгибной жесткости обуви	71
2.4.2. Оценка влияния элементов конструкции обуви на общую жесткость ...	74
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ	81
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОБУВИ НА БИОМЕХАНИКУ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ	83
3.1. Основы анатомии и биомеханики свободной нижней конечности.....	83
3.1.1. Скелет свободной нижней конечности	83
3.1.2. Основы биомеханики нижних конечностей	91
3.2. Разработка концепции методики кинематического анализа биомеханики ходьбы в обуви различной жесткости	97
3.3. Оценка влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику нижних конечностей.....	102

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ	120
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ А Расчет теоретической изгибной жесткости низа обуви по показателям физико-механических свойств материалов	135
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Угловые характеристики голеностопного и плюснефалангового суставов	142
ПРИЛОЖЕНИЕ В Угловые характеристики коленного сустава	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Расстояние, преодолеваемое испытуемым за два шага	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Акты о внедрении результатов диссертационного исследования	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Продукция легкой промышленности имеет устойчивый спрос, востребована во многих сферах жизнедеятельности человека. Основными потребителями продукции в секторе товаров конечного спроса являются индивидуальные покупатели, где на них приходится около 40 процентов производимой продукции [1,2]. Именно конечный индивидуальный потребитель через спрос задает критерии эффективности работы предприятий [1,2]. Предприятия обувной отрасли производят широкий ассортимент товаров потребительского, производственно-технического и специального назначения [1,3]. Приоритетами в развитии ассортимента продукции отрасли являются:

- повышение конкурентоспособности товаров, эксплуатационных, упругопластических и защитных характеристик продукции технического и оборонного назначения, придание новых потребительских и функциональных свойств [1,3];
- сохранение производства тех видов товаров, которые традиционно известны и популярны у населения, улучшение их качества, художественно-колористического и дизайнерского оформления [1,3];
- расширение ассортимента продукции с высоким экспортным потенциалом [1,3].

Долгосрочным ориентиром развития легкой промышленности, основой для определения целевых индикаторов темпов роста производства и продукции в натуральном выражении по основным номенклатурным позициям стало повышение степени удовлетворения потребностей населения, армии и силовых структур, смежных отраслей экономики в продукции отрасли [1,3]. Опережающими темпами должен расти объем выпуска эксклюзивных и модных товаров для населения, молодежной и детской обуви, соответственно, повысится их доля в товарной структуре. Объем российской продукции в розничном

товарообороте в 2020г. составит 1430,8 млрд. руб., что по сравнению с 2008г. больше в 3,6 раза. К 2020г. произойдут коренные изменения в структуре производства и реализации продукции, в их объеме увеличится удельный вес продукции высоких переделов с высокой долей добавленной стоимости (высокотехнологичная продукция, включая «умный текстиль», товары высокой моды и повседневного спроса) с 34,4% в 2008г. до 52% в 2020г [1,3].

Сегодня в обувной отрасли легкой промышленности используются комплектующие, изготавливаемые по неизвестным критериям, без руководства технической документацией, в частности детали низа, оказывающие наибольшее влияние на формирование жесткости обуви. Узел низа, собранный из таких комплектующих без должного контроля, может быть причиной высокой изгибной жёсткости обуви, которая является одним из ключевых показателей качества.

Ношение жесткой обуви может привести к возникновению патологических отклонений в строении и функциях стопы. Высокая изгибная жесткость является причиной хронической перегрузки мышц стопы и голени, увеличения нагруженности пальцев, что вызывает утомление носчика. Зачастую потребитель при покупке обуви не может самостоятельно оценить ее жесткость, так как первоначальное внимание обращено в основном на ее внешний вид и размер. Лишь в процессе носки при появлении повышенной усталости или болевых ощущений в мышцах стопы и голени, неудовлетворительная изгибная жёсткость обуви становится очевидной. Жёсткость обуви, не препятствующая правильному распределению нагрузки на мышцы стопы, голени и пальцев, имеет исключительное значение.

Используемые приборы и устройства для определения изгибной жесткости (далее жесткости) значительно устарели и в большинстве своем представляют собой приспособления к разрывной машине, что вызывает неудобства, связанные с ее габаритами, а также неточностями снимаемых показателей,

обусловленными отсутствием реакции шкалы разрывной машины на малые нагрузки. Ряд недостатков имеют собственно методики определения жесткости, в частности, условия нагружения не отвечают реальным, происходящим в процессе носки обуви. Кроме того, действующие нормативы сложно экстраполировать на современные конструкции обуви из новых материалов. Методы и приборы количественного определения степени жесткости требуют модернизации и совершенствования.

Кафедрой «Художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи» («ХМК и ТИК») ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и профильными кафедрами других вузов накоплен большой научно-методический и практический опыт в вопросах качества обуви. Изучению свойств обуви и обувных материалов, определяющих ее качество, посвящены работы В.Н. Цветкова, А.А. Авилова, В. А. Фукина, В. Е. Горбачика, А. И. Линник, и др [4-19], в частности показатель изгибной жесткости рассмотрен в работах [20-47].

Повышение качества проектирования обуви напрямую связано с обеспечением точности экспериментальной оценки его ключевых показателей, к которым относится изгибная жесткость. Использование современных достижений в области измерительной техники способствует повышению точности измерения показателя изгибной жесткости обуви. Также важно совершенствование методик, с целью приближения силового взаимодействия при измерении жёсткости к условиям силового взаимодействия в системе «стопа-обувь».

Таким образом, исследование изгибной жесткости обуви и ее влияния на биомеханику нижних конечностей является актуальным.

Объектом исследования являются: биомеханика свободных нижних конечностей при ходьбе, процессы разработки конструкций обуви, методы и приборы количественного определения степени изгибной жесткости обуви.

Предмет исследования составляют: конструкции обуви, конструкции низа обуви, отдельные детали.

Цель работы. Задачи исследования.

Целью работы является повышение качества обуви по показателю «жесткость при изгибе» на основе совершенствования метода его измерения и оценки влияния на биомеханику свободных нижних конечностей.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Проведен анализ традиционных методов и приспособлений для определения изгибной жесткости обуви и ее деталей;
2. Разработан усовершенствованный прибор для измерения изгибной жесткости обуви, отличающийся от существующих возможностью моделировать реальный механизм изгиба обуви при ходьбе;
3. Усовершенствована методика определения изгибной жесткости обуви, отличающаяся:
 - повышенной точностью результатов измерения;
 - приближением деформации обуви в процессе измерения к реальным условиям, происходящим при ходьбе;
 - удобством проведения оперативных испытаний обуви различных размеров.
4. Проведены испытания обуви разных размеров, конструкций, а также отдельных деталей низа.
5. Выявлены степени влияния конструкции низа, материалов деталей и размера на показатель изгибной жесткости обуви.
6. Определено влияние величины изгибной жесткости обуви на биомеханику свободных нижних конечностей при ходьбе.
7. Исследовано влияние изгибной жесткости обуви на угловые характеристики суставов нижних конечностей при ходьбе.

8. Проведен анализ показателей биомеханических исследований, результаты которых интерпретированы в графической форме.

Исследования проводились на кафедре «Художественное моделирование, конструирование и технологии изделий из кожи» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), в рамках тематического плана НИР МГУДТ (2014-2018 г.) по проблемам №2 «Проблемно-ориентированные исследования в области перспективных технологий и дизайна» (тема 2.3 «Совершенствование методов компьютерного дизайна и проектирования изделий легкой промышленности») и №4 «Конкурентоспособный ассортимент индустрии детских изделий с использованием информационно-телекоммуникационных технологий» (тема 4.3 «Создание конкурентоспособного ассортимента детской обуви различного назначения с использованием информационно-телекоммуникационных технологий»).

Методы исследования и технические средства решения задач.

Исследования базировались на комплексном системном подходе к решению задач в области разработки конструкций обуви с использованием возможностей современных информационных технологий и средств технического зрения. В ходе выполнения работы использованы бесконтактные методы исследования биомеханических характеристик движущихся объектов. Информационно-теоретической базой диссертации послужили труды отечественных и зарубежных ученых по исследуемой и смежной проблемам, энциклопедическая и справочная литература, технологическая документация, теоретические и научно-практические основы анатомии и физиологии, технологии и конструирования изделий из кожи, материаловедения.

Научная новизна работы заключается в разработке:

- усовершенствованной конструкции экспериментального прибора для измерения изгибной жесткости обуви и обувных материалов;

- усовершенствованной методики определения показателей жесткости готовой обуви и ее отдельных деталей;
- концепции поэтапного увеличения изгибной жесткости с использованием разработанной конструкции эталона-образца обуви;
- методики экспериментального тестирования влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику ходьбы на основе концепции поэтапного увеличения изгибной жесткости эталона-образца обуви;
- методики оценки изменений биомеханики нижних конечностей, связанных с заданным изменением изгибной жесткости при прочих постоянных характеристиках.

Личный вклад автора. Автором сформулированы цель и основные задачи исследования, разработан и изготовлен опытный образец прибора для определения изгибной жесткости обуви. Разработана концепция исследования влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику свободных нижних конечностей. Разработан и изготовлен эталон-образец обуви для анализа ходьбы, с возможностью изменения изгибной жёсткости, в условиях сохранения прочих параметров.

Теоретическую значимость диссертационного исследования составляют:

- концепция поэтапного увеличения изгибной жесткости с использованием разработанной конструкции эталона-образца обуви;
- оценки изменений угловых характеристики суставов нижних конечностей при ходьбе, связанных с заданным изменением изгибной жесткости обуви при прочих постоянных характеристиках.

Практическая значимость работы представляют:

- предложенный прибор для определения изгибной жесткости обуви, который может быть использован в производстве для контроля готовой продукции действующих и новых моделей, а также при сертификационных испытаниях обуви и ее комплектующих.

- сформулированные рекомендации по контролю изгибной жесткости обуви на этапе проектирования.

Достоверность. Достоверность результатов проведенных исследований базируется на согласованности аналитических и экспериментальных результатов, использовании информационных технологий, современных методов и средств проведения исследований. Апробация основных положений диссертации производилась в научной периодической печати, конференциях, а также на ЗАО «МОФ «Парижская коммуна» и ООО «Прометр+».

Положения, выносимые на защиту:

1. Характеристика показателя изгибной жесткости, его место в комплексе показателей качества обуви, результаты анализа существующих методов его определения.
2. Усовершенствованная конструкция прибора для определения изгибной жесткости обуви и обувных материалов.
3. Предложенная методика определения изгибной жесткости обуви, ее достоинства и отличия от существующих аналогов.
4. Разработанная концепция исследования влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику свободных нижних конечностей.
5. Результаты исследования влияния изгибной жесткости на биомеханику нижних конечностей при ходьбе в обуви.

Реализация результатов. Разработанные прибор и методика для определения изгибной жесткости обуви, узлов и деталей рекомендуются предприятиям различных форм собственности и профильным учебным заведениям. Методика прошла экспериментальную апробацию в рамках хозяйственных договоров «Совершенствование конструкций детской обуви по показателям жесткости при изгибе» и «Совершенствование конструкций детской обуви на основе биомеханических исследований» между МГУДТ и ЗАО МОФ «Парижская Коммуна». Конструкция прибора зарегистрирована в форме

ноу-хау: №22-20-2016 КТ от 28.10.2016 г «Приспособление для определения изгибной жесткости обуви».

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации и результаты работы доложены и получили положительную оценку на заседаниях кафедры ХМК и ТИК Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), а также международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности», 2013 г., 66-ой внутривузовской научной студенческой конференции «Молодые ученые – инновационному развитию общества (МИР-2014)», Международной научно-практической конференции "Перспективы развития науки и образования", 2013 г., Международной научно-практической конференции «Академическая наука - проблемы и достижения», 2014 г.

Публикации результатов. Основные положения проведенных исследований диссертации опубликованы в 6 статьях, 3 из которых в журналах, рекомендованных ВАК, и тезисах 2-х докладов на всероссийских и международных конференциях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3-х глав, выводов по главам и работе в целом, списка литературы, приложений. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста, включает 54 рисунка, 21 таблицу и 5 приложений.

1. ИЗГИБНАЯ ЖЕСТКОСТЬ В КОМПЛЕКСЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБУВИ

Качество производимой продукции – это один из важнейших факторов экономического развития страны, повышения жизненного уровня граждан. Это объясняется той ролью, которую качество продукции стало занимать в удовлетворении быстро растущих потребностей современного человека [48]. Качество продукции - решающий фактор, определяющий желание потребителей приобрести продукцию. Кроме того, качество продукции является наиболее значимым слагаемым в решении проблемы повышения эффективности общественного производства: чем выше качество продукции, тем эффективнее весь общественный труд [48].

Разработка рациональной конструкции обуви – неотъемлемая составляющая, необходимая для достижения ее высокого качества. Под рациональной конструкцией обуви принято понимать такую, которая обеспечивает нормальное функционирование стопы в процессе ходьбы. Обратимся к основным показателям, определяющим качество обуви.

1.1. Показатели качества обуви

Для контроля и достижения высокого качества любой продукции важно понимать, что означает сам термин «качество» и какие свойства входят в его структуру.

ГОСТ 15467–79 [49] определяет качество продукции как совокупность свойств продукции, обуславливающая ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Потребности же в свою очередь выражаются в виде требований, предъявляемых к продукции и в

частности к обуви, как со стороны потребителя, так и со стороны производителя [48]. Уровень качества продукции – это степень соответствия потребностям [50].

Показатель качества продукции, в частности обуви - количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, определяющих ее качество, применительно к определенным условиям создания и эксплуатации или потребления [48, 51]. Таким образом, показатель качества обуви является комплексным, и представляет собой систему конкретных свойств и характеристик, определяющих возможность нормального функционирования нижних конечностей в процессе ходьбы в обуви. Качество продукции необходимо уметь оценивать количественно для контроля и последующего сравнения со стандартами и нормативами.

Сегодня нет определенной ясности относительно номенклатуры показателей качества обуви, отсутствуют или недостаточно разработаны способы и средства измерения целого ряда показателей. Не вполне изучены факторы, обеспечивающие проектирование рациональных параметров конструкции обуви. Нуждаются в дальнейшем развитии и теоретическом обосновании вопросы оптимизации конструктивно-технологических параметров различных участков обуви с учетом свойств материалов, используемых для их изготовления [48].

Номенклатура показателей качества обуви в соответствии с РД 17-06- 152-89 [51] предусматривает три группы показателей: надежность, эргономические, эстетические. Внутри этих групп выделяются конкретные единичные показатели. Использование показателей качества обуви по основным областям применения представлено в стандарте с учетом назначения и условий носки обуви.

Из множества классификационных структур показателей качества обуви [50, 52, 54] остановимся на иерархической схеме [54], как наиболее полно отвечающей задачам, поставленным в диссертации.

В рамках настоящей работы интерес представляет ее второй уровень, на котором потребительские свойства подразделяются на показатели:

- **назначения** – характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения [48, 52].
- **надежности** – характеризуют свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени, т.е. сохраняемость во времени свойств изделия в заданных пределах, обеспечивая его нормальное использование [48, 52].
- **безопасности потребления** – характеризуют степень защищенности человека от воздействия опасных и вредных факторов, возникающих при потреблении продукции [48, 52].
- **эстетические** – характеризуют способность изделия удовлетворять эстетические потребности человека, соответствие его сложившемуся стилевому направлению, вкусам и моде [48, 52].
- **эргономические** - характеризуют систему «человек-изделие-среда» и обуславливают эффективность деятельности человека в этой системе, удобство пользования изделием [48, 52, 53].

Для нас важны последние, так как они характеризуют весь спектр взаимодействий стопы с обувью в процессе ходьбы, от них зависит комфортность и удобство изделия при эксплуатации.

К эргономическим показателям относятся антропометрические, гигиенические, физиологические, психофизиологические. В определенной степени эти показатели относятся и к показателям безопасности потребления, так как их несоответствие нормативам может оказывать негативное воздействие на здоровье человека, в особенности на детский организм.

Антропометрические показатели характеризуют соответствие размеров

внутренней формы обуви размерам и пропорциям стопы. Эта группа включает такие показатели, как соответствие обуви форме стопы и голени, регулируемость геометрических размеров обуви.

Гигиенические показатели характеризуют соответствие изделия санитарно-гигиеническим нормам и рекомендациям, обеспечивающим комфортные условия микроклимата внутриобувного пространства. К ним относятся паропроницаемость, влагоотдача, влагопроводность, намокаемость, коэффициент температуропроводности, коэффициент теплоотдачи, показатель тепловых потерь, относительная скорость охлаждения и так далее [48, 52].

Физиологические показатели характеризуют [48, 52, 53]:

- соответствие конструкции обуви силовым возможностям человека, силовое взаимодействие в системе «стопа-обувь» [48, 52, 53].

- соответствие конструкции обуви энергетическим возможностям человека, которое характеризует влияние конструкции обуви на затраты энергии человеком при стоянии и ходьбе в обуви, связанные с дополнительным напряжением мышц для компенсации влияния обуви на биомеханику свободной нижней конечности [48, 52, 53].

Психофизиологические показатели характеризуют соответствие изделия особенностям функционирования органов чувств человека [48, 52, 53].

Выделим физиологические показатели качества обуви, так как от них зависит удобство носки, силовые и энергозатраты при ходьбе, утомляемость, степень воздействия конструкции обуви на биомеханику свободной нижней конечности.

В процессе эксплуатации между обувью и стопой происходят сложные силовые взаимодействия. Ключевым движением при ходьбе является изгиб стопы в плюснефаланговых суставах, во время которого обувь также изгибается. Обувь в этот момент препятствует изгибу стопы, стремясь распрямиться.

При выборе номенклатуры потребительских свойств важно правильно

выбрать из всего многообразия такие, которые имеют решающее значение для определенных целей.

Так А.И. Линник [54] провела исследования, направленные на выявление наиболее значимых показателей качества модельной обуви. Результаты исследований показали, что наибольшую значимость при оценке качества как женской, так и мужской обуви имеют такие показатели как соответствие длины обуви длине стопы, периметра пучков обуви обхвату стопы, распорная жесткость, изгибная жесткость, приформовываемость верха и низа обуви к стопе, масса обуви [48].

В системе «стопа-обувь» из всего перечня физиологических показателей для изучения нами выбран показатель изгибной жесткости обуви и обувных материалов, так как он оказывает существенное влияние на биомеханику нижних конечностей. Для того чтобы оценить насколько велико значение изгибной жесткости обуви в комплексе показателей качества, обратимся к известным экспериментально-теоретическим материалам.

1.2. Теоретические основы оценки изгибной жесткости обуви

1.2.1. Исследование изгибной жесткости обуви в статике

Под жесткостью обуви понимают ее сопротивление изгибанию в пучковой части до угла 25° , то есть усилие, необходимое для этого изгибания. Углом изгиба обуви принято считать угол, образованный между поверхностью опоры и прямой, проведенной через проекцию точки центра опоры пятки на набойку каблука и наиболее выпуклую точку пучковой части ходовой поверхности обуви [23].

Угол в 25° для определения жесткости обуви выбран потому, что максимальный изгиб низа обуви соответствует конечному моменту «переката»

перед началом отрыва стопы от опорной поверхности и началом разгибания подошв, при котором сгибание стопы от опорной поверхности в плюснефаланговых суставах и достигает 25° при ходьбе человека.

Угол в 25° определяет требуемые границы изгиба низа обуви при определении его гибкости, усилий изгиба и изгибной жесткости.

Для количественного определения показателя жесткости обуви УкрНИИКПом разработаны ГОСТ 9718-88 «Обувь. Методы определения гибкости» [55] и ГОСТ 14226-80 «Обувь. Нормы гибкости» [56], которые предусматривают изгиб обуви за счет подъема носочной части обуви относительно неподвижной пяточно-геленочной [57].

В Российской Федерации мерой гибкости служит величина усилий, необходимых для изгибания обуви на угол 25° путем подъема носочной части, приведенная к ширине подошвы по месту изгиба, выражаемая в единицах Н/м [57].

При разработке устройств и методов определения изгибной жесткости обуви основное внимание уделялось решению вопроса сравнительной оценки жесткости обуви. Следует отметить, что в подобных устройствах механизм и динамика нагружения обуви в процессе определения ее жесткости не соответствуют тем, которые имеют место в результате силового взаимодействия «стопа-обувь» в реальных условиях ее эксплуатации [57].

По ГОСТ 9718-88 [55] нормы гибкости характеризуются удельными (относительными) показателями, то есть усилием, необходимым для изгибания обуви в Н, отнесенным к единице ширины подошвы обуви по месту изгиба. Они не характеризуют жесткость готовой обуви, а имеют обратное значение. Действительно, чем больше показатель гибкости по рекомендуемой методике, тем жестче обувь. По Ю.П. Зыбину [26] должно быть наоборот. Поэтому, правильнее назвать это свойство не гибкостью, а жесткостью [57].

При эксплуатации обуви ее потребителям необходимо знать, какова ее действительная жесткость, а не ее удельное сопротивление изгибанию[57].

На определенном этапе движения человека [18] пятка отрывается от опоры, а передний отдел стопы, на который переносится вес человека, прижимает низ обуви к опоре и как бы зажимает переднюю часть подошвы и стельки. Пяточная и геленочная части стопы при изгибании в плюсне-фаланговом сочленении тянут за собой пяточную часть обуви с силой Q , что приводит к изгибанию в той же области низа обуви. Но для того, чтобы обувь могла изогнуться под действием силы Q она должна быть прижата в передней части силой, обеспечивающей это изгибание [48, 57].

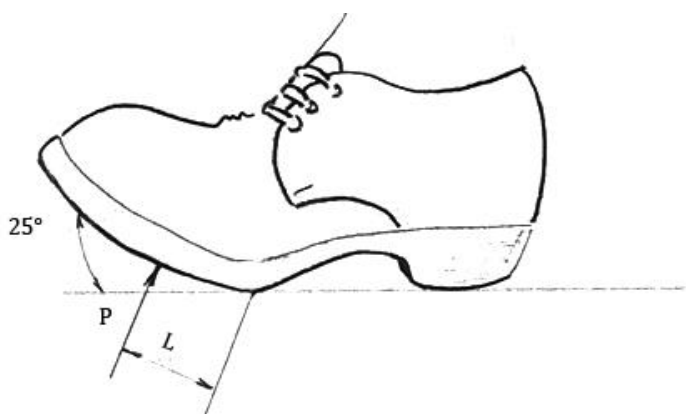


Рисунок 1.1 Определение изгибной жесткости обуви по Ю.П. Зыбину [26]

Таким образом, должно иметь место явление изгибания консоли под действием момента $M = P * L$, где

P - сила, необходимая для изгибания,

L - плечо или расстояние от места изгибания до точки приложения силы P (рис.1.1).

Для прижатия передней части низа обуви и дальнейшего изгибания человек должен обладать определенным весом и мышечной системой. Поэтому

очевидно, что с уменьшением этих показателей должна соответственно меняться величина плеча, а, следовательно, уменьшаться и жесткость обуви.

Изгибная жесткость зависит также от модуля упругости, толщины применяемых материалов и определяет энергетические затраты человека при ходьбе [57].

Силовое взаимодействие стопы и обуви очень сложный процесс. На верх обуви действуют активные силы давления тыльной части стопы, а на низ обуви - реактивные силы давления подошвенной части стопы и активные силы опорного давления стопы [29-34, 58].

Физиологический эффект динамического нагружения стопы зависит от многих факторов: величины, места приложения и направления сил, действующих на стопу, общей схемы напряженного состояния стопы и т.д.

Величина, направление и место приложения силовых факторов действующих на стопу, резко меняются в процессе ходьбы и бега.

В.Н. Цветков впервые выделил следующие три основных вида сопротивления обуви деформации (жесткости), влияющих на ее силовые взаимодействия со стопой [48]:

1. Изгибная жесткость, характеризующая сопротивление обуви изгибу. Этот вид жесткости проявляется особенно резко при ходьбе и беге, представляет в значительной мере величину активных сил давления тыльной части стопы на верх и реактивных сил давления опорной части стопы на низ обуви [48].

2. Распорная жесткость – характеризует сопротивление поперечных сечений обуви в пучковой и носочных частях изменению геометрической формы. Этот вид жесткости также проявляется сильно в динамике и связан, главным образом с активными силами давления тыльной и боковой поверхностей стопы на верх обуви [48].

Распорная жесткость обуви [59] характеризует сопротивление его верха изменению поперечных размеров в плюснефаланговом сочленении. Прежде

всего, это способность верха растягиваться при носке обуви, а отсюда – приформовываться к стопе вследствие изменения размеров и формы верха обуви [48]. В разных типах обуви эти свойства должны быть выражены в различной степени, но в тоже время их рациональный предел должен быть обоснован.

3. Опорная жесткость, характеризующая сопротивление низа изменению геометрической формы в направлении увеличения контактной поверхности с опорой под действием сжимающих сил, нормальных к опорной поверхности. Этот вид жесткости проявляется как в статике, так и в динамике и представляет распределение и, следовательно, интенсивность реактивных сил давления опорной поверхности на подошву.

Опорная жесткость обуви зависит от свойств материалов низа [59]. Большую роль в этом отношении играют твердость материалов стельки, простилки и подошвы и их амортизационные свойства. Особенно важно, чтобы стелечная поверхность простилки в области пучков быстро и хорошо приформовывалась к поверхности стопы. Для создания рациональной обуви необходимо, чтобы разница давлений, под головками плюсневых костей и большим пальцем, выравнивалась, а это достигается подбором материалов с соответствующими свойствами, позволяющими приформовывать стелечную поверхность к поверхности стопы.

Изгибная жесткость низа обуви играет весьма важную роль при оценке конструкции в целом [58]. С одной стороны, она предопределяет, в значительной мере нагрузки на стопу человека при ходьбе и беге. Максимальная кривизна нейтральной поверхности низа обуви при ходьбе и беге имеет почти постоянную величину ($0,02 - 0,16 \text{ см}^{-1}$) малозависящую от конструкции низа обуви. Это является результатом того, что деформация низа обуви следует за деформацией стопы. Поэтому увеличение жесткости низа обуви увеличивает поперечные нагрузки, требующиеся для создания маловарьирующей максимальной кривизны (эта кривизна в каждом сечения пропорциональна

изгибающему моменту). Одновременно с этим возрастают нагрузки на соединение низа с верхом и, в итоге, на верх обуви.

С другой стороны, жесткость низа обуви связана с изменяемостью ее формы в процессе носки. Увеличение этой жесткости повышает способность обуви сохранять свою форму. При этом следует иметь в виду чрезвычайно важную роль релаксационных явлений. Надлежащим подбором упруго-эластических свойств материалов можно значительно снизить изменяемость формы обуви при носке без большого увеличения мгновенной жесткости конструкции низа. Общая упругость низа обуви (мгновенная и запаздывающая) может быть значительной при сравнительно невысоком удельном весе мгновенной упругости. В этом случае могут иметь большое развитие явления релаксации деформаций, в результате которых искажения формы обуви при ее «отдыхе» достаточно полно устраняются и обувь восстанавливает свою первоначальную форму.

Конструкция низа влияет на жесткость обуви и связана с результативной толщиной низа, то есть, в итоге, с моментами инерции его поперечных сечений. Характер крепления элементов низа предопределяет возможность их смещения друг относительно друга, что резко влияет на сопротивление конструкции низа деформациям при изгибе под действием поперечных нагрузок.

С конструктивной точки зрения В.Н. Цветков рассматривает низ обуви как трехслойную, сращенную в большей или меньшей степени пластину [60], состоящую из подошвы, простилки и стельки (рис.1.2). Толщина (h), ширина (b) этих слоев и модуль упругости (E) их материалов различны [58].

При отсутствии крепителей и сил трения, создающих силовые связи между слоями, изгиб трехслойной пластины осуществляется при самостоятельном деформировании каждого слоя и общая жесткость составной пластины весьма близка к сумме жесткостей ее слоев.

За модель изгиба низа обуви принята силовая схема изгиба прямоугольной пластины под действием изгибающего момента M и продольной растягивающей силы T (рис. 1.3).

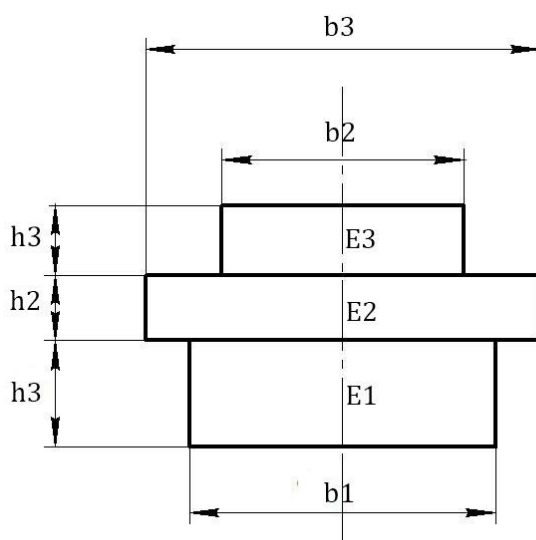


Рисунок 1.2 Схема трехслойной пластины [58]

h – ширина; b – ширина; E – модуль упругости

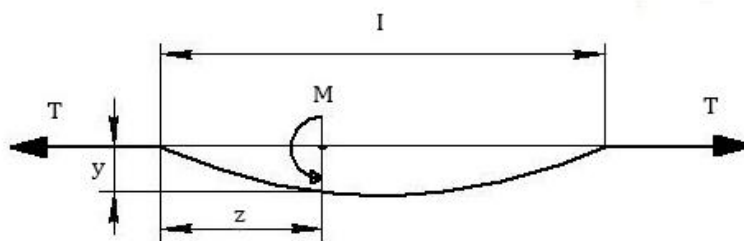


Рисунок 1.3 Схема изгиба пластины под действием изгибающей и растягивающей сил [58]

T – продольная растягивающая сила; y – прогиб пластины; z – плечо; M – изгибающий момент; l – длина пластины.

Предложено дифференциальное уравнение изогнутой оси пластины следующего вида [58]:

$$\frac{d^2y}{dz^2} \cong \frac{1}{Db} (M + Ty)$$

где постоянная D называется цилиндрической жесткостью пластины,

$$D = \frac{E h^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (1)$$

E – модуль упругости материала пластины при растяжении, кг/см²;

h – толщина пластины;

ν – модуль Пуассона материала пластины;

b – ширина пластины;

y – прогиб пластины;

Ty – продольная растягивающая сила;

M – изгибающий момент,

z – плечо

l – длина пластины

По сравнению с изгибом поперечными силами и моментом, создающим изгибающий момент M , наличие растягивающей силы привело к появлению в уравнении для учета кривизны пластины нового члена (Ty), равному изгибающему моменту от продольной силы T при прогибе y . Для нахождения изгибной жесткости каждого слоя материала, составляющего конструкцию низа обуви по упрощенной схеме подошва + простилка + стелька по формуле (1), необходимо иметь значения входящих в нее величин.

Так E - модуль упругости материала, кг/см² - табличная величина; ν - коэффициент Пуассона, характеризующий удлинение материала при напряжении 10 Мпа, и, определяемый как отношение относительной поперечной деформации материала к его относительной продольной, при том же

напряжении [21]. Величина этого коэффициента постоянна для данного материала. Коэффициент Пуассона характеризует стремление материала сохранять в процессе упругой деформации свой первоначальный объем. Практически для большинства материалов его величина колеблется от 0,2 до 0,4 в зависимости от типа кристаллической решетки и атомного строения элемента [5,17].

При растяжении материала в продольном направлении он сокращается в поперечном. Поперечное сокращение сетчатых материалов значительно выше, чем поперечное сокращение несетчатых [61]. Коэффициент Пуассона не может быть более 0,5. В то же время как коэффициент поперечного сокращения кожи и тканей, представляющий собой отношение относительного поперечного сокращения к относительному удлинению при растяжении - за пределом упругости μ колеблется от 0,4 до 1,58.

Для практических расчетов деформаций деталей можно принять для кожи $\mu = 1$. Для более точных расчетов деформаций, особенно деталей из тканей и кож, следует устанавливать коэффициент поперечного сокращения для каждого случая отдельно.

И.М. Шагапова экспериментально установила [41], что для кож величина коэффициента поперечной деформации с вероятностью 0,95 находится в пределах:

0,5 - 1,37 - низа обуви ниточных и клеевых методов крепления;

0,43 - 0,5 – рантов;

0,86 - 0,92 - яловки хромовой;

0,91 - 0,99 - опойка хромового.

Полученные данные свидетельствуют о том, что коэффициент поперечного сокращения в кожах для низа обуви хромово-растительного метода дубления не более 0,5, а в кожах для верха обуви хромового метода дубления более 0,5.

В тканях μ находится в пределах 0,8-1,58 и зависит от ткани, например:

Тик-саржа $\mu = 1,04$

Бязь $\mu = 1,48$

Саржа $\mu = 1,54$

Для картона - μ в пределах 0,89-0,9, для войлока - близок к 1,3.

Так как деформация основных обувных материалов упругопластическая, то при расчетах изгибной жесткости можно воспользоваться коэффициентом поперечного сокращения материала взамен коэффициента Пуассона [62].

При соединении элементов низа обуви крепителями наблюдается изменение характера деформаций, так как относительное скольжение отдельных элементов в той или иной мере затруднено [58]. В трехслойной изогнутой пластине слой, расположенный снаружи (на выпуклой стороне) не только изгибается, но и подвергается растягивающим усилиям, передаваемым через крепители внутренним слоям конструкции. Этот внутренний слой как бы приобретает дополнительную упругую опору (упругое основание) в виде наружной пластины, растяжение которой приводит к увеличению радиуса кривизны ее изогнутого нейтрального слоя и созданию поперечных нагрузок, стремящихся уменьшить изгиб внутреннего слоя и т.д. Таким образом, получается сложная статически неопределимая система.

В.Н. Цветков заключает, что характеристиками изгибной жесткости материалов для низа и различных систем низа обуви [29,58, 63] являются: величина усилия Q , определяемая на приборе (рис 1.4) и коэффициенты k , χ , Ω , ω .

Коэффициент k показывает на сколько жесткость на изгиб составной пластины при полном сращивании возрастает по отношению к суммарной жесткости ее слоев.

Коэффициент χ характеризует относительное повышение жесткости для каждого типа крепления.

Коэффициент Ω показывает на сколько конструкция низа обуви по жесткости на изгиб приближается к монолитной:

$$\Omega = \frac{\chi+1}{k+1} \quad (2)$$

Коэффициент ω характеризует на сколько жесткость на изгиб данного крепления приближается к максимально возможной:

$$\omega = \frac{\chi}{k} \quad (3)$$

Испытания низа обуви на изгиб проводились на приборе, вмонтированном в разрывную машину типа РНК – 500. Прибор состоит из четырех стоек 1 (рис. 1.4), из которых две неподвижные траверсы 2 и 3 являются направляющими для траверсы 4, другие две соединяют траверсы 4 и 5 и служат направляющими для траверсы 2, таким образом, образуются две замкнутые рамки, свободно перемещающиеся относительно друг друга. На траверсе 4 установлены две щетки 6, скрепленные четырьмя стяжками 7. В щетках расточены овальные отверстия, в которые входят оси 8, несущие ролики 9. В траверсе 2 болтами прикреплен плунжер 10 с радиусом наружной образующей цилиндра 50мм. Прибор соединяется с динамометром посредством серег 11. При испытании низа обуви на изгиб устанавливают радиальный зазор между роликами и плунжером, равный толщине образца. Испытываемый образец, укладывают симметрично оси прибора на ролики 9 и подвергают изгибу плунжером 10 до момента, когда ось плунжера переместится до линии центров осей 8 роликов 9. Отсчет сил, приложенных для изгибания образца, производится по шкале динамометра с постоянной поправкой на вес перемещающихся частей прибора и силы трения в шарнирах (0,2 к г).

Образцы подвергались изгибу (радиус кривизны 50 мм, что соответствует среднему радиусу кривизны конструкции низа обуви при ходьбе) до облегания поверхности пуансона и определялось усилие на изгиб. В таблице 1 представлена характеристика жесткости на изгиб низа обуви различных методов крепления по методике В.Н. Цветкова.

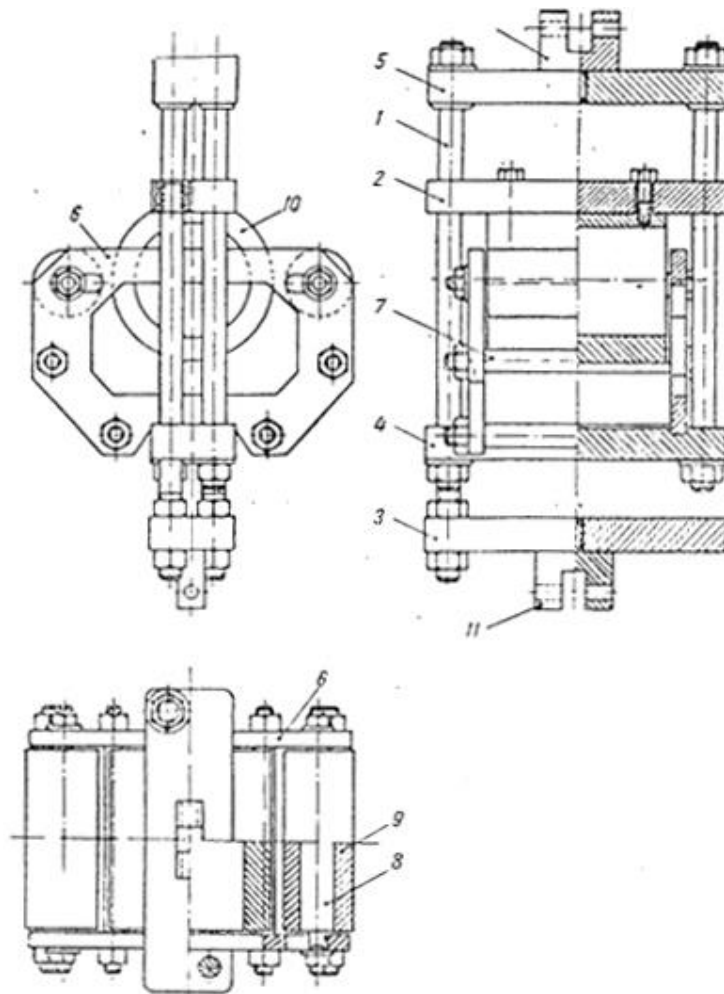


Рисунок 1.4 Прибор В.Н. Цветкова для испытания на изгиб низа обуви [53]:

1 – стойки; 2, 3, 4, 5 – траверсы; 6 – щетки; 7 – стяжки; 8 – оси; 9 – ролики;
10 – плунжер; 11 – серьги.

В таблице 1 конструкции низа обуви расположены по убывающей жесткости (по абсолютным значениям). На первом месте среди механических креплений низа стоит гвоздевое крепление обуви на кожаной подошве, на последнем - рантовое на резиновой пористой подошве. Среди клеевых креплений – наибольшей жесткостью на изгиб обладает нитроцеллюлозное

крепление обуви на кожаной подошве, наименьшей жесткостью наиритовое на резиновой пористой подошве [62].

Таблица 1. Характеристика жесткости на изгиб низа обуви механических и клеевого методов крепления (фрагмент) [58]

Методы крепления	Усилия изгиба	Коэффициенты			
Механические	кг	k	χ	Ω	ω
Гвоздевой на кожаной подошве	45,0	4,8	3,40	0,76	0,71
Прошивной на кожаной подошве	34,9	4,4	2,40	0,63	0,55
Винтовой на кожаной подошве	33,1	4,8	2,16	0,55	0,45
Рантовый на кожаной подошве	33,6	5,0	1,30	0,38	0,26
Рантовый на монолитной резиновой подошве	18,6	1,8	0,86	0,66	0,48
Рантовый на резиновой пористой подошве	12,1	1,7	0,30	0,48	0,18
Клеевые					
Нитроцеллюлозное на кожаной подошве	28,9	6,5	4,35	0,72	0,67
Перхлорвиниловое на кожаной подошве	26,8	6,5	3,97	0,67	0,61
Наиритовое на кожаной подошве	23,9	6,5	3,43	0,59	0,53
Перхлорвиниловое на монолитной резиновой подошве	11,4	2,3	1,73	0,81	0,73
Наиритовое на монолитной резиновой подошве	10,9	2,3	1,60	0,78	0,69
Перхлорвиниловое на резиновой пористой подошве	9,0	1,2	1,14	0,97	0,95
Наиритовое на резиновой пористой подошве	8,5	1,2	1,02	0,92	0,85

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что метод крепления, а при клеевом креплении: вид клеящего материала, жесткость клеевого шва и упругие свойства клеевой пленки, имеют меньшее значение жесткости низа обуви, чем материал и толщина деталей. Так при резиновой подошве на перхлорвиниловом и наиритовом клеях установлены в сущности одинаковые статические жесткости низа. Лишь при низе на кожаной подошве влияние жесткости клеевого шва и жесткости самой клеевой пленки заметно сказывается на жесткости конструкции, при применении нитроцеллюлозного и перхлорвинилового клеев заметно повышение жесткости в сравнении с гутаперчивым и наиритовым клеями (соответственно на 18 - 21% и 10 -12%) [62].

Материал подошвы, наоборот, очень резко влияет на показатели статической жесткости низа обуви: при креплении перхлорвиниловым клеем кожаной, монолитной и пористой резиновых подошв было получено соответственно 26,8; 11,4; 9,0 кг, а гуттаперчивым - соответственно 24,4; 10,9; 8,6 кг. При сопоставлении коэффициентов клеевых методов крепления с механическими видно, что при клеевых методах крепления, как на кожаной, так и на резиновой подошвах, создается большая жесткость, достигая при клеевых методах в случае пористой резиновой подошвы порядка $\Omega = 0,92 - 0,97$ и $\omega = 0,85 - 0,95$ против, например, рантового крепления $\Omega = 0,48$ и $\omega = 0,18$.

Единственное исключение при механических креплениях составляет гвоздевой метод, при котором жесткость для монолитной резиновой подошвы достигает $\Omega = 0,76$ и $\omega = 0,71$. Взаимная подвижность (относительное скольжение) деталей низа значительно меньше при клеевых креплениях, чем при механических (за исключением, как указывалось выше, гвоздевого). Из клеевых креплений наибольшую подвижность обеспечивает наиритовый и гуттаперчивый клеи, наименьшую – нитроцеллюлозный и перхлорвиниловый [62].

Гибкость обуви существенно зависит от толщины и жесткости не только подошв, но и других элементов конструкции, особенно основной стельки и простилки [20, 25, 26, 41, 64]. При увеличении толщины кожаных подошв с 4,5 до 6,0 мм, сопротивление обуви изгибанию повышается на 8%, при увеличении толщины стельки с 3,0 до 4,5 мм этот показатель возрастает на 51%. Аналогичный эффект наблюдается и при увеличении условного модуля упругости: с увеличением модуля упругости подошв на 50% жесткость обуви возрастает на 19%, с увеличением модуля упругости стелек на 40% жесткость обуви, при прочих равных условиях, возрастает на 56% [20]. Особое влияние жесткости стельки на жесткость обуви [54] объясняют тем, что при изгибании обуви наружные и внутренние элементы низа подвергаются разным видам

деформации: подошва работает на растяжение, а стелька – на сжатие в продольном направлении. Большое сопротивление стельки сжатию является одной из главных причин жесткости конструкций обуви. Учитывая это, необходимо уменьшать в допустимых пределах толщину кожаной стельки, проводить дополнительную обработку стелек в пучковой части или заменить такую стельку другой, гибкой эластичной, из искусственных материалов.

На жесткость обуви влияют метод крепления низа обуви и другие технологические факторы. Рантовый метод крепления низа обуви создает более жесткую конструкцию, чем клеевой из-за большей толщины деталей низа и ребра жесткости в месте нахождения губы стельки. Наиболее гибкая конструкция получается при сандальном и доппельном методах крепления низа обуви. Заметно повышает гибкость обуви удаление лицевого слоя кожаных стелек, применение комбинированных стелек с эластичными вставками в пучковой части [41], затяжка обуви эластичными клеями взамен текса, хорошее формование деталей низа обуви, нанесение насечек на $1/3$ толщины на сторону стельки, обращенную к подошве и др. [15]. Но все это относится к статическому изгибу низа обуви и не может полностью характеризовать его при ходьбе и беге, когда большую роль играют явления эластичности и релаксации деформаций и напряжений.

1.2.2. Исследование изгибной жесткости обуви в процессе ходьбы

Основное нагружение низа обуви происходит в опорные периоды ходьбы и бега, когда низ работает на сжатие, изгиб, трение качения и скольжения [27].

Чередование отдельных фаз в процессе ходьбы человека образует устойчивый двигательный стереотип, характеризующийся определенными кинематическими, динамическими, временными и пространственными параметрами [48, 57, 65].

При эксплуатации обуви человек взаимодействует с ней, причем обувь активно участвует в реализации движения опорно-двигательного аппарата человека, накладывая дополнительные связи на работу стопы, существенно определяя особенности походки и условия ее функционирования. Поэтому биомеханику стопы человека, пользующегося обувью, необходимо рассматривать в системе «стопа – обувь» [57, 66]. Результатом исследований динамики изгиба туфлей «лодочка» на низком каблуке, 240 размера, изготовленных по типовой технологии, проведенных А.Л. Ковалевым и В.А. Фукиным [57, 65], явились графики (рис. 1.6, б), построенные по показателям тензометрического устройства (рис. 1.5) для измерения угла изгиба низа обуви. Испытуемые ходили по металлической дорожке длиной 10 м, что позволяло фиксировать 11-13 шагов в нормальном темпе. Перед началом опыта записывались угловые положения низа обуви испытуемых (рис.1.6, а), в состоянии «на вису» (позиция I) и «на опоре» (позиция II) [57, 65]. Для анализа гониограммы Б положение обуви на опоре принято за исходное. Расшифровка подограммы А (рис 1.6, б) начиналась с того, что для каждого носчика выбирали по шесть наиболее характерных шагов, каждый из которых разбивали на отдельные участки, соответствующие укрупненным фазам ходьбы (перекат через пятку, опора на всю стопу, перекат через передний отдел, период переноса) [57, 66].

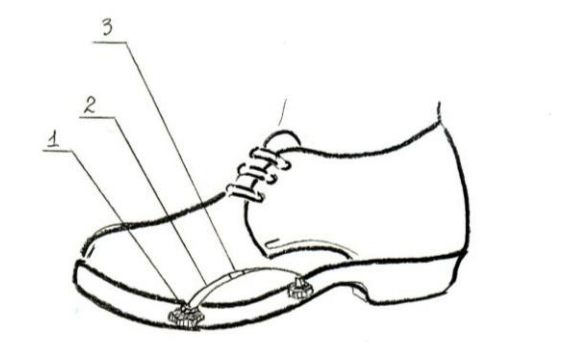


Рисунок 1.5 Прибор для измерения угла изгиба низа обуви [65]:

- 1 – опорные стойки с установочными штифтами,
- 2 – упругая скоба, 3 – тензопреобразователь

Длительность каждой фазы определяли подсчетом количества осцилляций отметчика времени с точностью 0,01с. По гониограмме Б в указанные фазы шага с помощью тарировочного графика определяли соответствующий угол изгиба низа обуви [57, 65, 66].

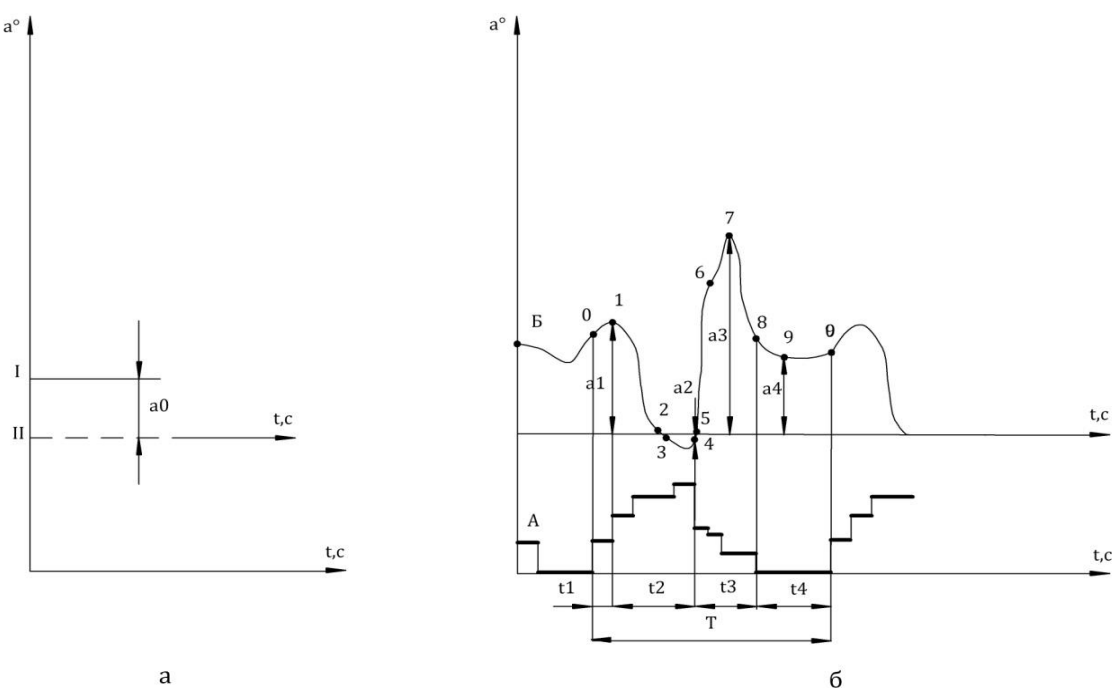


Рисунок 1.6 Графики динамики изгиба обуви [65]

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика динамики изгиба низа обуви [57, 65, 66]

Фаза шага	Продолжительность фазы шага, с.	Угол изгиба низа обуви, град.
Перекал через пятку	$t_1=0.09$	$a_1=6.9^\circ$
Опора на всю стопу	$t_2=0.39$	$a_2=2.8^\circ$
Перекал через передний отдел	$t_3=0.24$	$a_3=39.1^\circ$
Перенос стопы	$t_4=0.38$	$a_4= 4^\circ$

Анализ гониограммы Б (рис.1.6 б) показывает, что при движении человека, сразу же после контакта каблука с плоскостью опоры, вследствие динамического удара пальцы рефлекторно поднимаются вверх, изгибая ее носочную часть [57, 65, 66]. Этот быстропротекающий процесс изгибания низа обуви на угол $\alpha_1=6.9^\circ$ обуславливает переход от контакта опоры задним краем каблука к опоре на всю ходовую поверхность (участок 0-1).

На участке 1–2 сгибание низа обуви переходит в разгибание к моменту развития переднего толчка и дальше в фазу опоры на всю стопу. В момент опоры «пятка – пучки» на участке 2–3 дальнейшее разгибание низа обуви прекращается. Этому моменту соответствует состояние, когда большая часть ходовой поверхности подошвы контактирует с опорой, а носочная часть приподнята в соответствии с профилем низа обуви [57, 65,66].

Участок 3-4 соответствует переносу нагрузки на передний отдел стопы. Преодолевая сопротивление упругих сил деталей низа, пальцы стопы деформируют носочную часть низа обуви, прижимая ее к опоре за время 0.08 с, при этом наблюдается некоторое изменение углового положения низа обуви на угол $\alpha_2= - 2.8^\circ$ от нулевого [57, 65,66].

В конце фазы опоры на всю стопу, в точке 5 происходит отрыв опорной поверхности каблука и отталкивание тела вперед и вверх за счет мощного сгибания стопы. В след за стопой обувь изгибается, достигая максимального угла $\alpha_3=39.1^\circ$ [57, 65,66].

К концу фазы переката через передний отдел начинается разгибание обуви, до момента отрыва носочной части от опоры в точке 8. В дальнейшем процесс разгибания замедляется и оставшуюся часть переносного периода пальцы стопы и низ обуви находятся в состоянии небольшого сгибания под углом $\alpha_4=4^\circ$. С момента касания опорной поверхности каблуком цикл изгиба повторяется снова [57, 65,66].

Полученные данные показали, что наибольшее изменение угла изгиба обуви наблюдается в фазе переката стопы через передний отдел и характеризуется влиянием наибольшей изгибной жесткости обуви на стопу [65].

Наиболее напряженными участками подошвы при ходьбе и беге, вследствие максимальных нагрузок, являются носочная часть и участки под бугорками плюсневых костей в пучках [23, 41]. По характеру и величине эти нагрузки отличаются от нагрузок на верх обуви [64]. Соприкасаясь непосредственно с опорными поверхностями в процессе ходьбы и бега, и воспринимая, помимо статической, также и всю динамическую нагрузку от массы тела, низ работает с большим нагружением, чем верх. Характер этого нагружения зависит от механики ходьбы и бега (в частности, от характера и размеров деформации стоп), способа сопряжений верха и низа обуви и определяется особенностями конструкции низа, его относительной массивностью и расположением элементов низа по отношению к стопе.

Установлено, что наибольший изгиб подошвы наблюдается в месте стыка геленка с простилкой [41], затем в носочной части и наименьший в середине опорного участка. Жесткость геленочной части обуви приводит к незначительной работе ее на изгиб. Итак, самой напряженной и наиболее деформируемой частью обуви при движении человека является пучковая часть подошвы. В работе А.Н. Калиты, Т.С. Кочетковой, Ю.П. Зыбина [67] установлено, что область максимальной деформации низа обуви находится в плюснефаланговом сочленении на участке 0,62 – 0,78 длины стопы. Отмечается, что разрушение материала происходит в области с наименьшим радиусом кривизны. На основе проведенных исследований было установлено, что минимальный радиус кривизны для жестких конструкций низа обуви находится в пучковой части и равен 50мм.

Так как в процессе эксплуатации обувь подвергается сложным физико-механическим и химическим воздействиям, свойства ее изменяются [15]. Детали

низа и верха под действием многократных изгибов обуви деформируются, на свойства их влияют релаксационные процессы. Очевидно, это способствует уменьшению жесткости обуви.

При выпуске обуви с обувных предприятий гибкость деталей низа минимальна [18], при этом, в швах, соединяющих подошву с верхом и стелькой обуви, сохраняются значительные напряжения. В резиновой подошве такие напряжения связаны с упругими свойствами резины, а в кожаной – с сокращением площади, вызванным увлажнением подошвы перед ее прикреплением и последующим высушиванием.

После непродолжительной носки в сухих условиях происходит увеличение гибкости деталей и приформовывание стельки и подошвы к стопе, напряжение в подошвенных креплениях исчезает. По имеющимся данным, усилия изгибания ношенной обуви на угол 25° составляют примерно 40-60% от первоначальных усилий изгибания до ее носки [48, 68]. Увеличение гибкости обуви в результате многократного изгибания в процессе носки больше проявляется в обуви на кожаной подошве, меньше – в обуви на резиновой подошве. Это объясняется тем, что уже после семикратного изгибания образца подошвенной кожи, как это установлено А.А. Авиловым, А.Н. Бружесом и Н.Н. Гучковой [69], напряжение изгибания в отдельных случаях уменьшается в два с половиной раза, тогда как напряжение изгибания подошвенной резины почти не изменяется после 1500 изгибаний. Вследствие этого, в процессе носки разница в величинах гибкости обуви на кожаной и резиновой подошвах несколько сглаживается.

График изменения жесткости обуви после многократного изгибания на угол 25° в лабораторных условиях показан на рисунке 1.7. Из рисунка видно, что жесткость обуви резко снижается после первых 1000-2000 изгибаний. Дальнейшее увеличение количества изгибаний оказывает меньшее влияние на жесткость обуви. В зависимости от метода крепления подошв и их материала

постоянная гибкость обуви устанавливается после 10000 изгибаний и более [65,66].

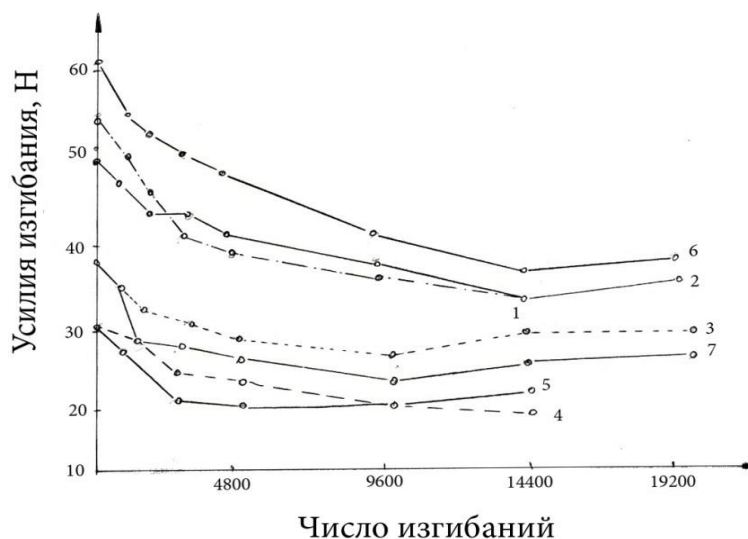


Рисунок 1.7 График изменения жесткости обуви после многократного изгибания конструкций [69]:

1 — мужского полуботинка рантового метода крепления на кожаной подошве, 2 — мужского полуботинка винтового метода крепления на кожаной подошве, 3 — мужского полуботинка клеевого метода крепления на резиновой непористой подошве, 4 — мужского полуботинка гвоздевого метода крепления на резиновой непористой подошве, 5 — мужского полуботинка рантового метода крепления на резиновой пористой подошве, 6 — мужского полусапога гвоздевого метода крепления на резиновой непористой подошве, 7 — женского полуботинка клеевого метода крепления на кожаной подошве.

Изменение гибкости обуви после многократных изгибаний тем больше выражено, чем меньше первоначальная гибкость обуви и чем больше деталей из жесткой кожи участвуют в подошвенном скреплении. Большей частью, как это вытекает из рис.1.7, после многократных изгибаний сохраняются в основном те

же соотношения гибкости обуви различных видов и методов крепления низа, как и до изгибаний.

Потеря жесткости обуви после ее многократного изгиба не является необратимой: при длительной пролежке обуви частично восстанавливается первоначальная жесткость конструкции. При намокании обуви ее сопротивление изгибанию уменьшается (на 5-10 % и более), при высушивании обуви после намокания сопротивление изгибанию заметно увеличивается и нередко достигает величины, превышающей первоначальное сопротивление изгибанию.

К таким же выводам приходит В.Н. Цветков в своих работах [28-34, 58,63]: жесткость кожаных деталей обуви, как отдельных, так и в скрепленной и не скрепленной конструкциях значительно падает уже после десятикратного изгиба, а при последующем месячном отдыхе вновь частично восстанавливается. Аналогичное явление наблюдается при высушивании деталей после увлажнения. Таким образом, изложенные экспериментально-теоретические основы оценки изгибной жесткости обуви определяют следующую постановку задач исследования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

При ходьбе на стопу воздействуют внутренние и внешние силы, такие как сила тяжести тела, силы напряжения мышц, сопротивления тканей, костей и связок. Особое влияние на процесс ходьбы оказывает взаимодействие системы «стопа - обувь», а именно сопротивление обуви изгибу.

Наибольшее влияние изгибной жесткости обуви на стопу проявляется в фазе переката через передний отдел, в которой наблюдается изгиб стопы в плюснефаланговых суставах.

Многочисленные исследования свидетельствуют об отрицательном влиянии повышенной жесткости обуви на организм человека [48]. Оно проявляется в нарушении временных характеристик шага, естественной кинематики ходьбы, связанном с ограничением изгиба стопы в плюснефаланговом и голеностопном суставах, перегрузке ее мышц и голени. Использование жесткой обуви приводит к увеличению энергозатрат при ходьбе. Поэтому снижение изгибной жесткости обуви во всех работах [14, 15, 18, 19, 23-28, 42, 48, 50, 57] отмечается как одно из важнейших требований при создании ее рациональных конструкций.

Отрицательное влияние жесткости обуви на работу стопы показано исследованиями А.А. Авилова с сотрудниками [69]. Они рассматривали обутую стопу на рентгенограмме в профиле в положении при нормальном стоянии и в конце «переноса», то есть когда масса тела сосредоточена на пучках и пальцах, а угол между плантарной поверхностью стопы и плоскостью опоры составляет около 30° . Рентгенограммы показали, что в обуви с жестким низом стопы в процессе движений находится в очень напряженном состоянии. Жесткий низ обуви, сопротивляясь естественным изгибам стопы в плюснефаланговом сочленении, образует кривизну с большим радиусом, центр которого расположен выше центра голеностопного сустава. Подошва касается опоры

ограниченной площадью и при перемещении центра тяжести тела опора переносится фактически на переднюю часть следа. В результате пятка смещается внутри обуви вверх, оказывая давление на формованный задник. Деформация узкой части задника под давлением пятки нарушает нормальное прилегание обуви к стопе, а образующиеся на верхе обуви грубые складки вдавливаются в тыльную поверхность стопы, травмируя ее. При изгибе стопы в такой обуви смещается по плоскости опорного следа к носочной части. Согнутые пальцы стопы, стремясь удержать обувь от соскальзывания, упираются с большим напряжением в стельку [57].

В зависимости от жесткости обуви стопа изгибается при ходьбе на разный угол. При этом сила, необходимая на изгибание жесткой обуви, увеличивается примерно в 1,5 раза, а разница в энергозатратах на ходьбу увеличивается в 2–3 раза. Это связано с затратами мышечной энергии на то, чтобы приспособиться к хождению в жесткой обуви [70]. Излишняя изгибная жесткость мешает правильному распределению нагрузки на мышечно-связочный аппарат нижних конечностей. Ограничение движения голеностопного сустава, его недостаточное изгибание компенсируется работой коленного и тазобедренного суставов, что приводит к утрате плавности походки и быстрой утомляемости носчика.

Стопа, находящаяся в неблагоприятных условиях, не может развиваться нормально, в связи с чем при конструировании обуви, особое внимание должно уделяться изгибной жесткости. На возрастной период от 7-14 лет приходятся максимальные изменения, определяющие формирование половых и конституциональных различий в строении стопы [71, 72], что говорит о повышенной опасности отрицательного влияния обуви на детский организм.

Кроме того, при жесткой подошве обувь соскальзывает с пятки, доставляя неудобства при ходьбе, и вызывая дополнительное напряжение мышц и связок стопы. Однако, использование очень гибкой обуви, для ходьбы по твердой

поверхности также недопустимо, так как подошва будет недостаточно твердой, и потеряет свою способность предотвращать удары, воздействующие на суставы и позвоночник. Таким образом последующие исследования должны быть направлены на:

1. анализ традиционных методов и приспособлений для определения изгибной жесткости обуви и ее деталей;

2. совершенствование прибора для измерения изгибной жесткости обуви, отличающегося от существующих возможностью максимально моделировать реальный механизм изгиба обуви при ходьбе;

3. совершенствование методики определения изгибной жесткости обуви, характеризующейся:

- повышенной точностью результатов измерения;
- приближением деформации обуви в процессе измерения к реальным условиям, происходящим при ходьбе;
- удобством и оперативностью проведения испытаний обуви различных размеров;

4. проведение испытаний обуви разных размеров, конструкций, а также отдельных деталей низа;

5. выявление степени влияния конструкции низа, материалов деталей и размера обуви на показатель изгибной жесткости;

6. определение влияния величины изгибной жесткости обуви на биомеханику свободных нижних конечностей при ходьбе;

2. РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОБУВИ И ЭЛЕМЕНТОВ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ИЗГИБЕ

2.1. Расчет теоретической изгибной жесткости низа обуви по показателям физико-механических свойств материалов

Повышение качества обуви - основная проблема для производителей во всем мире. Особенно острой она является для российских предприятий, утративших, во многом, свою конкурентоспособность. Возможность теоретически на начальных этапах проектирования мужской и женской обуви, определить вероятную жесткость её низа в зависимости от конструкции, метода крепления и материалов позволяет методика В.Н. Цветкова, детально изложенная в гл.1. Приведем пример оценки жесткости низа [41, 57, 63, 66] модельной обуви ГОСТ 19116-2005 [73] клеевого метода крепления. Исследуя жесткость низа модельной обуви клеевого метода крепления, мы исходили из того, что согласно ГОСТ 19116-2005 «Модельная обувь» [73] можно использовать следующие материалы:

Подошвы:

- кожа крупного рогатого скота для клеевых методов крепления, чепрачная часть;
- пористая резина;

Стельки:

- кожа крупного рогатого скота, чепрачная часть;
- кожа крупного рогатого скота для рантов, чепрачная часть;
- яловка хромового метода дубления;

Простилки:

- простилочный картон марки Д;

- войлок;

Для деталей верха клеевого метода крепления можно использовать опоек по ГОСТ 939 – 94 [74], из всех плотных участков кожи, для подкладки – тик-саржа отбеленная.

Размеры деталей брались для среднего размера обуви (мужская 270 размера, женская 240 размера), исходя из конструкции пучковой части низа обуви, так как наибольший изгиб обуви при носке происходит на участке 0,62 – 0,78 длины стопы.

Ширина стельки определялась, как средняя величина ширины стопы по наружному и внутреннему пучкам [75], и составила:

для мужчин

$$\frac{(0,27Д + 27)(0,95 + 1)}{2} = 97,4 \text{ мм}$$

для женщин

$$\frac{(0,24Д + 32)(0,72 + 1)}{2} = 78 \text{ мм}$$

Ширина затяжной кромки, согласно технологии производства обуви клеевых методов крепления [75] составляет 15мм. Следовательно, ширина простилки мужской обуви равна 67,4 мм, женской - 48мм.

Ширина подошвы, исходя из ширины стельки, в зависимости от применяемого материала, определялась по формуле $b_{\text{п}} = b_{\text{ст}} + 2 * \sum \text{П}$

где $b_{\text{п}}$ - ширина подошвы в пучках;

$b_{\text{ст}}$ - ширина стельки в пучках;

П - суммарный припуск к линии стельки в пучках;

$$\sum \text{П} = \text{П}_в + r + f,$$

где $\text{П}_в$ - суммарная толщина материалов верха с учетом упрессовки материала - $\text{П}_в = (0,91 + 0,5) 0,8 = 1,13\text{мм}$;

r - припуск на видимую ширину подошвы в готовой обуви, мм;

f - ширина фрезеруемого слоя, мм.

Последней величиной можно пренебречь, так как работа низа обуви на изгиб рассматривается в готовой обуви.

В таблице 3 указаны параметры деталей низа мужской и женской модельной обуви клеевого метода крепления.

Таблица 3. Параметры деталей низа модельной обуви клеевого метода крепления

Материал подошвы	Ширина подошвы		Ширина простилки		Ширина стельки	
	Муж.	Жен.	Муж.	Жен.	Муж.	Жен.
Кожа	100	80,6	67,4	48	97,4	78
Резина пористая	102	82,6	67,4	48	97,4	78

Определим изгибную жесткость каждого слоя материала, составляющего конструкцию низа обуви, по упрощенной схеме «подошва+простилка+стелька», используя формулу определения изгибной жесткости пластины (см. раздел 1.2.1) [76]:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала пластины при растяжении, кг/см²; h – толщина пластины, см; ν – коэффициент Пуассона, характеризующий удлинение материала при напряжении 10 МПа и определяемый как отношение относительной поперечной деформации материала к его относительной продольной, при том же напряжении в пределах упругости [62].

Так как деформация основных обувных материалов упругопластическая, то при расчетах изгибной жесткости использовали коэффициент поперечного сокращения материала [41]. Коэффициент поперечного сокращения представляет собой отношение относительного поперечного сокращения к относительному удлинению при растяжении. Характеристики материалов и результаты расчета жесткости деталей низа обуви приведены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики материалов и результаты расчета жесткости деталей низа обуви

Материал деталей низа	Модуль упругости при растяжении E , кг/см ²	Толщина материалов h , мм.		Коэффициент поперечного сокращения, μ	Изгибная жесткость, Кг*см
		Справочная	Расчетная		
Подошва кожаная: -мужская -женская	941,6 941,6	3,6 - 4,0 3,3 - 3,8	3,9 3,6	0,5 0,5	6,2 4,9
Подошва резиновая-пористая: -мужская -женская	9,2 9,2	Не менее 6,0	7,0 6,0	0,9 0,9	1,38 0,87
Стелька кожаная (КРС): -мужская -женская Из кож для рантов: -мужская -женская Яловка хромовая: -мужская -женская	664 664 535 535 405,1 405,1	2,2 – 2,5 2,0 – 2,3 2,2 – 2,5 2,0 – 2,3 2,0 – 2,3 1,8 - 2,4	2,4 2,2 2,4 2,2 2,0 1,9	0,5 0,5 0,5 0,5 0,85 0,85	1,02 0,79 0,822 0,633 0,97 0,834
Простилка -картон -войлок	163 53	1,6		0,9 1,3	0,292 0,011

Из данных таблицы 4 следует, вероятно, что наименьшей жесткостью узла низа мужской и женской модельной обуви будет характеризоваться комбинация «подошва резиновая пористая + простилка войлочная + стелька из кож для рантов». Наиболее жесткой будет комбинация «подошва кожаная + простилка картонная + стелька кожаная (КРС)» – для мужской обуви, и «подошва + простилка картонная + стелька кожаная (КРС) или яловка хромовая » – для женской.

Сравним жесткости возможных комбинаций деталей низа из различных материалов, просуммировав рассчитанные показатели их жесткости (табл.5).

Таблица 5. Жесткость конструкций низа обуви из различных комбинаций материалов

Варианты комбинаций материалов деталей конструкций низа	Жесткость конструкций низа обуви, Кг*см	
	Мужской	Женской
1	2	3
1. Подошва кожаная, Простилка картонная, Стелька кожаная (КРС)	7,52	6
2. Подошва резина пористая, Простилка картонная, Стелька кожаная (КРС)	2,7	1,97
3. Подошва кожаная, Простилка картонная, Стелька из кож для ранта	7,32	5,93
4. Подошва кожаная, Простилка картонная, Стелька из яловки хром.	7,47	6,03
5. Подошва резина пористая, Простилка картонная, Стелька из кож для ранта	2,5	1,8
6. Подошва резина пористая, Простилка картонная, Стелька из яловки хром.	2,55	2
7. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька кожаная (КРС)	7,23	5,81
8. Подошва резина пористая, Простилка войлочная, Стелька кожаная (КРС)	2,41	1,68
9. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька из кож для ранта	7,03	5,54
10. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька яловка хром.	7,18	5,74
11. Подошва резина пористая, Простилка войлочная, Стелька из кож для рантов	2,21	1,51
12. Подошва резина пористая, Простилка войлочная, Стелька из яловки хром.	2,36	1,71

На рисунках 2.1 - 2.6 показаны гистограммы распределения жесткости в зависимости от материала подошв, простилок и стелек мужской и женской модельной обуви клеевого метода крепления. Из гистограмм видно, что общая жесткость узла низа на кожаной подошве значительно превышает жесткость узлов низа на резиновой подошве. Материалы стелек и простилок дают

значительно меньший эффект на общую жесткость системы, по сравнению с материалом подошвы.

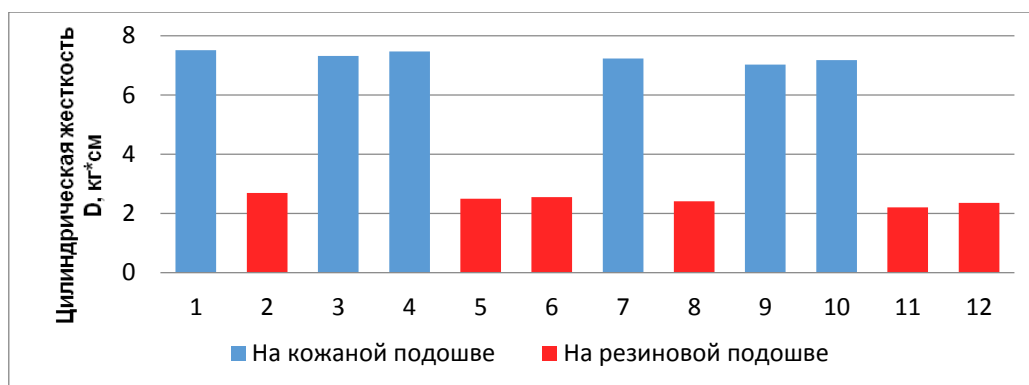


Рисунок 2.1 Гистограмма распределения жесткости узла низа мужской модельной обуви клеевого метода крепления в зависимости от материала подошв

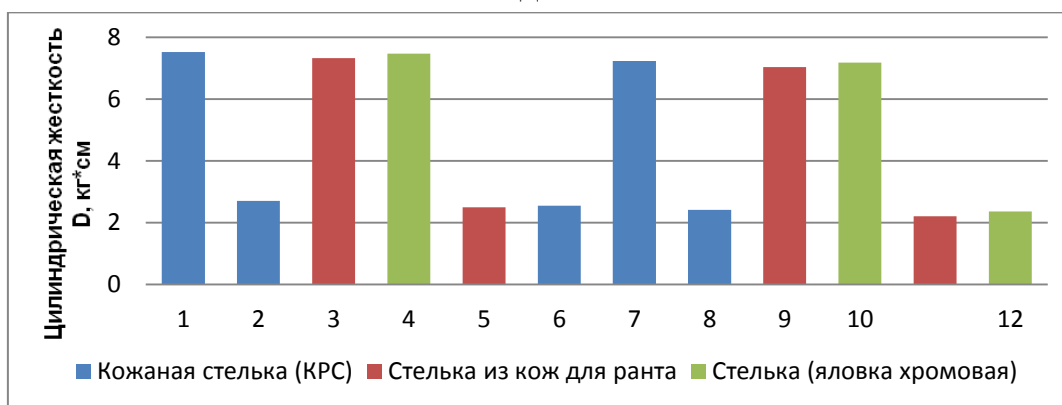


Рисунок 2.2 Гистограмма распределения жесткости узла низа мужской модельной обуви клеевого метода крепления в зависимости от материала стельки

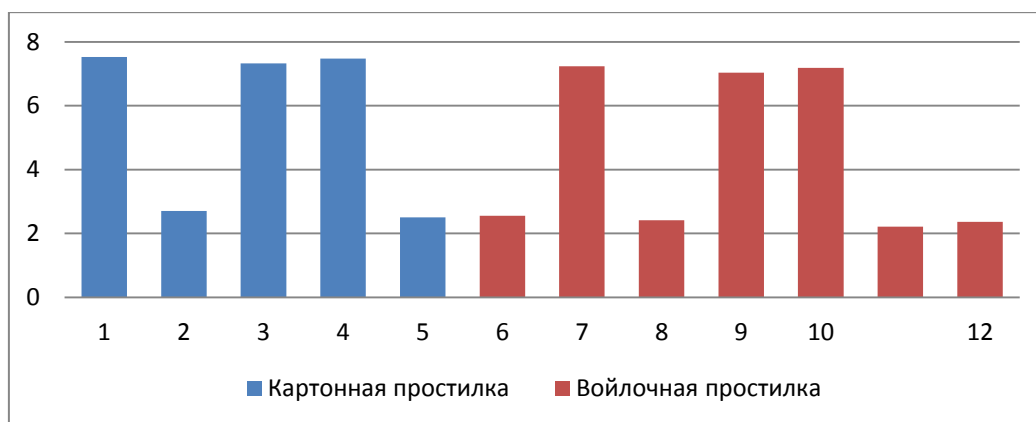


Рисунок 2.3 Гистограмма распределения жесткости узла низа мужской модельной обуви клеевого метода крепления в зависимости от материала простилки

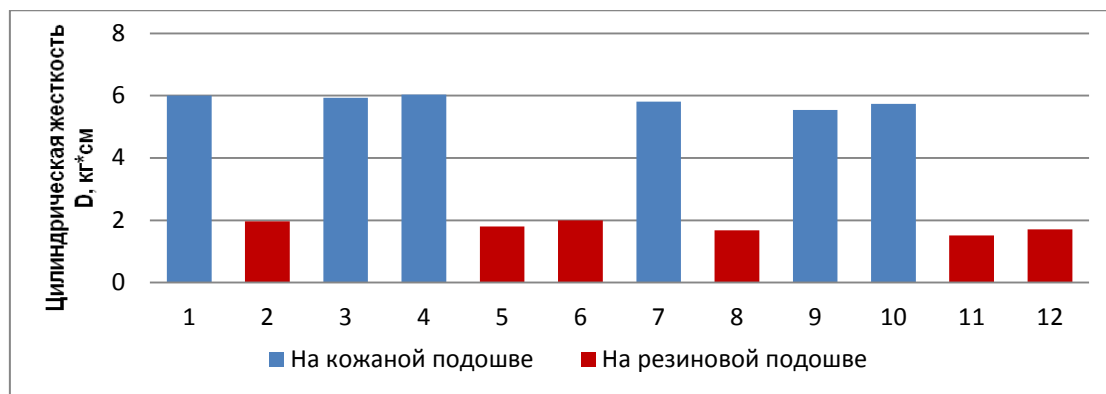


Рисунок 2.4 Гистограмма распределения жесткости узла низа женской модельной обуви клеевого метода крепления в зависимости от материала подошв

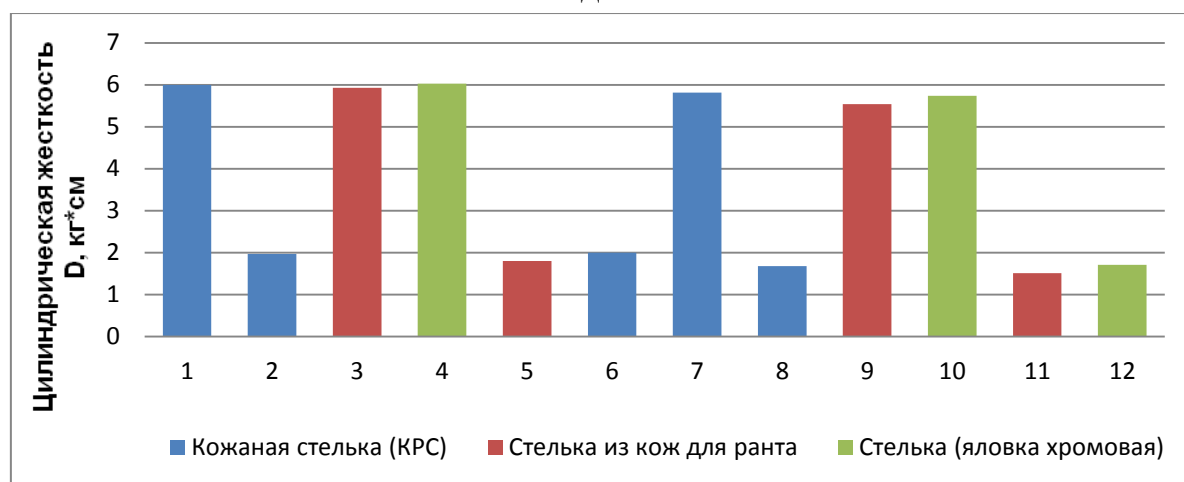


Рисунок 2.5 Гистограмма распределения жесткости узла низа женской модельной обуви клеевого метода крепления в зависимости от материала стельки

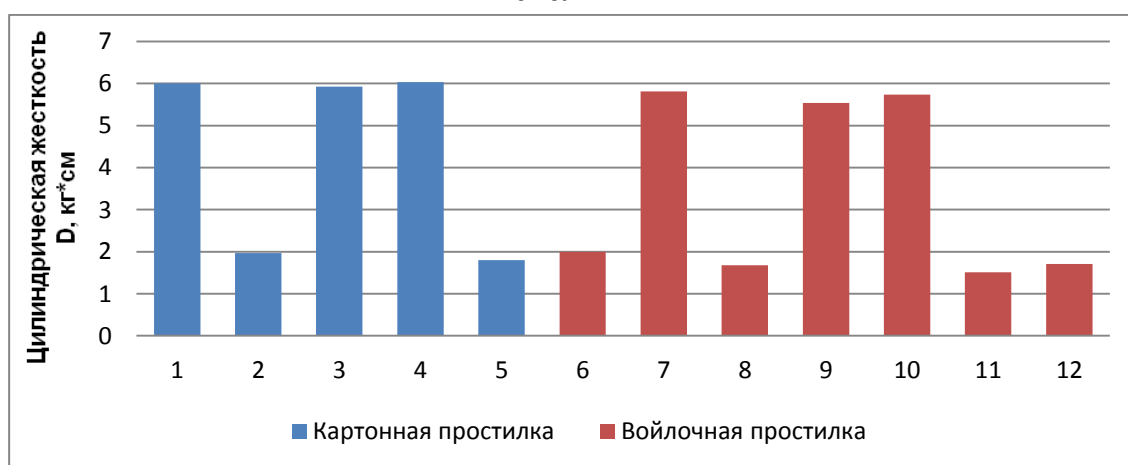


Рисунок 2.6 Гистограмма распределения жесткости узла низа женской модельной обуви клеевого метода крепления в зависимости от материала простилки

Результаты расчета теоретической изгибной жесткости низа модельной обуви рантового и прошивного методов крепления приведены в ПРИЛОЖЕНИИ А. Заметим, что нумерация комбинаций материалов в таблицах и на гистограммах (ПРИЛОЖЕНИЯ А) соответствует нумерации, принятой в табл.5.

Представим сравнительный анализ жесткостей различных комбинаций материалов и методов крепления. Гистограммы жесткостей систем низа для различных методов крепления мужской и женской обуви представлены на рисунках 2.7, 2.8 Комбинации материалов под номерами 4, 6, 10, 12 не показаны на гистограммах, так как характерны только для одного метода крепления.

На гистограммах видно, что наибольшую жесткость во всех комбинациях материалов показывает рантовый метод крепления для мужской модельной обуви, и прошивной - для женской модельной обуви. Наименьшую жесткость для мужской и женской модельной обуви во всех случаях демонстрирует клеевой метод крепления.

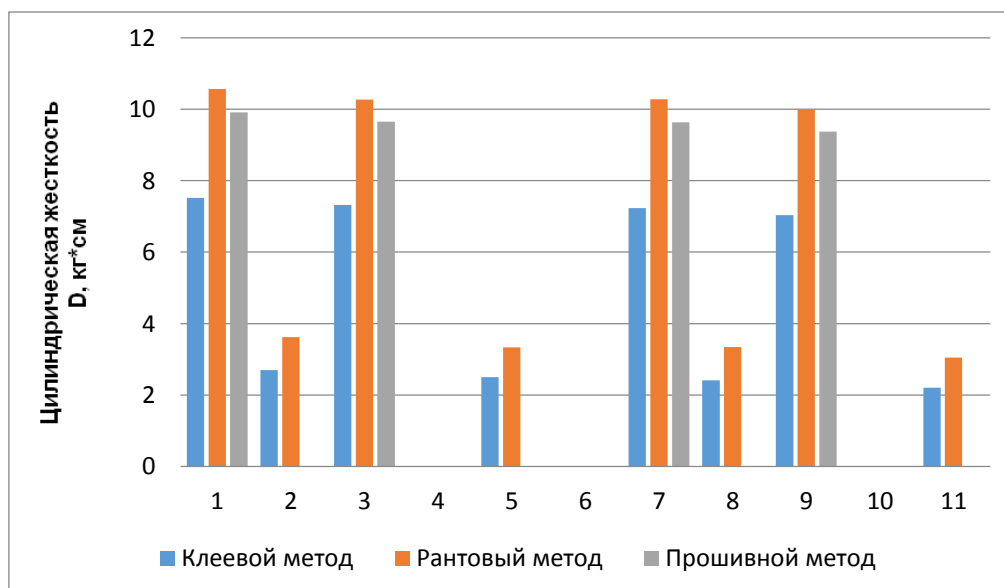


Рисунок 2.7 Гистограмма показателей жесткости низа обуви различных методов крепления и комбинаций материалов мужской модельной обуви

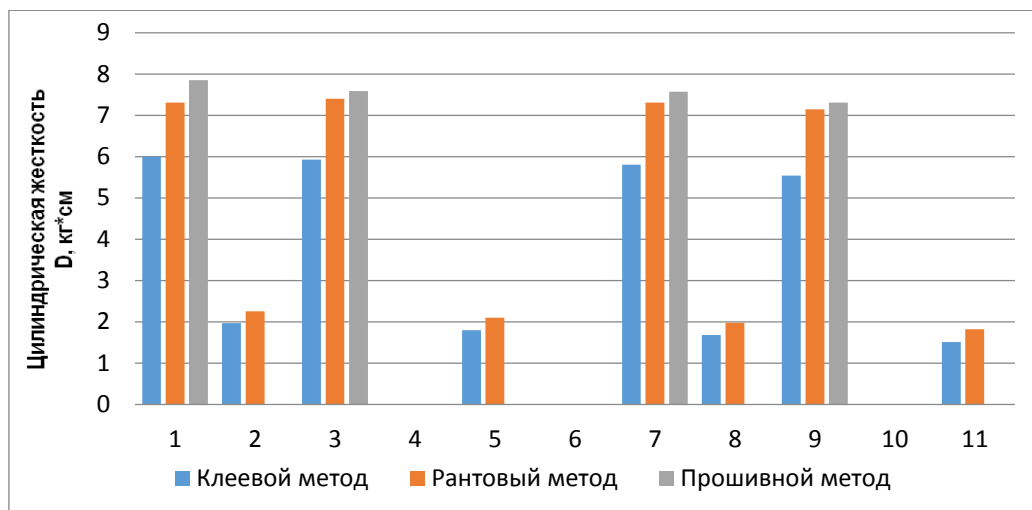


Рисунок 2.8 Гистограмма показателей жесткости низа обуви различных методов крепления и комбинаций материалов женской модельной обуви

Обратимся к таблице 6, в которой представлен перечень возможных материалов конструкций низа для различных методов крепления.

Таблица 6. Материалы конструкций низа различных методов крепления [77, 78]

Методы крепления	Подошва (материалы)						
	кожа	резина	ПВХ	ТЭП	ПУ	ИК	войлок
Винтовой							
Гвоздевой	+	+					
Деревянно-шпилечный	+	+					
Прошивной	+	+					
Рантовый	+	+					
Доппельный	+	+					
Сандальный	+	+					
«Парко»	+	+					
Выворотный	+	+				+	+
Ранто-прошивной	+	+					
Строчечно-рантовый	+	+					
Бортовой	+	+		+			
Клеевой	+	+	+	+	+		
Горячей вулканизации		+					
Котловой вулканизации	+	+					
Литьевой		+	+	+	+		
Гвозде-клеевой	+						
Строчечно-клеевой	+	+					
Клеепрошивной	+	+		+			
Строчечно-клеепрошивной	+	+					
Строчечно-прессовой вулканизации		+					
Строчечно-литьевой		+	+	+	+		

Из таблицы 6. видно, что из всего перечня методов крепления низа на обуви, только химические методы позволяют использовать различные материалы. Это открывает широкие возможности для регулирования качества обуви по показателю ее жесткости. При этом подбор материалов необходимо осуществлять на основании их упруго-деформационных характеристик с учетом функциональных требований и назначения обуви.

Таким образом, очевидно, что методика В.Н. Цветкова позволяет теоретически определить жесткость обуви в зависимости от целого ряда факторов, значения которых наряду со справочными данными, могут составить основу условной постоянно хранимой информации в САПР обуви.

Однако, современное обувное производство нуждается в совершенствовании методологии и практики оценки уровня качества изделий при планировании, разработке ассортимента, подготовке новой продукции к постановке на производство.

Оценка качества продукции только с точки зрения потребителя (например, с помощью широко проводимых опросов, анкетирования покупателей) не всегда гарантирует получение объективной оценки об изделии с позиций ее эксплуатационных свойств и не позволяет принимать решения по применению новых конструкторско-технологических предложений, материалов и др. [42].

В производстве обуви методы автоматизации проектирования и технологической подготовки производства формируются в систему взаимосвязанных конструкторских, технологических и расчетных решений, обеспечивающих эффективность новых разрабатываемых технологий, снижение себестоимости и сокращение сроков проектирования. Имитация эксплуатации обуви и ее деталей с использованием новых технических средств позволяет в ряде случаев исключить опытную носку при оценке эксплуатационных свойств обуви различного назначения [42].

При создании новых конструкций ведущие мировые производители всё более широко используют результаты анализа напряженно-деформированного состояния отдельных деталей. Главные усилия ученых сосредоточены на изучении критериев комфортности обуви, анализе взаимодействия стопы и обуви в статике и динамике, аналитическом и численном моделировании этих процессов, определении физико-механических свойств материалов и деталей обуви, поиске оптимальных сочетаний материалов и геометрических размеров деталей обуви [79].

Накоплен значительный объём экспериментальных данных о деформационных и прочностных характеристиках обувных материалов и деталей; достаточно подробно исследованы вопросы, связанные с формулировкой критериев комфортности обуви, моделированием напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей обуви с оценкой остаточных деформаций и напряжений в них, определением характеристик прочности, описанием процесса приформовываемости.

Необходимость экспериментальных данных о большом числе свойств, характеризующих комфортность обуви обусловлена сложностью вязко-упругопластических свойств обувных материалов, эффектами геометрической нелинейности процесса деформирования и взаимодействия со стопой, необходимостью учета влияния внешних физических полей: температуры, влажности и других [79].

Тенденции, наметившиеся в преодолении сложившейся ситуации, указывают, что дальнейшее развитие теории и практики проектирования обуви будет связано с разработкой и внедрением методов, в значительной степени опирающихся на использование современных численных процедур. Так, разработан метод оценки условий приформовываемости, который учитывает реальные условия эксплуатации обуви и позволяет выполнять расчеты приспособляемости при многофакторных силовых воздействиях [79].

Разработке конструкторско-технологических решений повышения комфортности за счет изменения опорной жесткости обуви посвящены исследования [80]. Вопросам повышения эргономических требований качества посвящен ряд отечественных и зарубежных научных работ [80].

Новейшие химические материалы и технологии изготовления системы низа обуви со сложной геометрией внутреннего следа методом жидкого формования и литьем под давлением вызывает к жизни новую систематизацию эргономических свойств обуви. Это подтверждается появлением понятия «опорная комфортность», которое активно используется в научных работах. В дополнение к «опорной комфортности» часто употребляется термин «распорная комфортность» [80].

Известно, что при любом виде локомоций стопа испытывает наибольшие нагрузки с плантарной поверхности. Следовательно, повышение опорной комфортности обуви является важнейшей задачей специалистов обувной промышленности. Один из наиболее значимых критериев опорной комфортности - это распределение динамических нагрузок (давления) по плантарной поверхности стопы. Однако для получения адекватной оценки комфортности обуви, названный критерий необходимо рассматривать в аспекте функционирования системы «стопа-обувь-опорная поверхность» [80].

Проблемы биомеханики движения и определение характера контактного взаимодействия стопы с опорой изучались многими исследователями, которые показали, что обуви свойственно изменять взаимодействие между стопой и опорой. В работах Т.С. Кочетковой и В.М. Ключниковой [59, 67] анализируются антропологические и биомеханические основы конструирования обуви, рассматривается биомеханика стояния, ходьбы и других движений [79].

Ю.П. Зыбиным и Т.С. Кочетковой проведены исследования распределения давления пяточной части стопы на опору. Отмечено, что во время стояния на мягкой опоре её поверхность принимает форму плантарной

поверхности стопы. Это позволяет рассредоточить нагрузку и равномерно распределить давление стопы на опору. При этом ощущение комфортности обуви возрастает. Следовательно, создание ложа в обуви для стопы по форме её плантарной поверхности рационально. Этой цели в некоторой степени служит процесс приформовываемости системы низа обуви при носке [79].

Для приформовываемости системы низа обуви наиболее важным является контакт стопы и опоры. Поэтому необходимо подробно изучить первую, вторую и третью фазы движения, определить и сопоставить величины давления различных участков стопы с целью выявления наиболее нагруженной зоны опоры [79].

Величина давления и характер взаимодействия стопы и опоры зависят от влияния разных параметров движения. По данным ряда исследований возможен различный темп движения: от 100-120 шагов в минуту при обычной ходьбе до 170 шагов в минуту при быстрой ходьбе и 190-200 шагов в минуту при беге. Скорость ходьбы у мужчин составляет в среднем 1,5 м/с, у женщин - 1,47 м/с. От скорости ходьбы зависит продолжительность отдельных фаз движения [79]. При продолжительности двойного шага, равного 1 с, период опоры на пятку составляет 7% от всего опорного периода, период опоры на стопу - 33%, на переднюю часть стопы - 60%. При этом время опоры на всю стопу по отношению к продолжительности двойного шага увеличивается с высотой приподнятости пяточной части. Наибольшее давление при любой высоте каблука во время ходьбы наблюдается, как и при стоянии, под бугром пяточной кости, головкой пятой плюсневой кости и под большим пальцем [79].

В работах К.М. Платунова исследован процесс ходьбы людей с различной походкой [27]. Выявлено, что более чем у 50% людей наибольшее усилие приходится на начальные фазы опорного периода; при этом давление связано со скоростью движения: чем быстрее перемещается человек, тем выше давление. Естественно, что дополнительный груз увеличивает давление [79].

Современное развитие методов и систем моделирования позволяет учитывать перечисленные выше факторы при разработке метода определения показателей комфортности обуви. Для того чтобы адекватно охарактеризовать взаимодействие биологической ткани стопы с материалом обуви, необходимо учитывать механические свойства обоих компонентов, выделив основные участки стопы, взаимодействующие с обувью [79].

Используемый в настоящее время метод конечного элемента для исследования механического поведения деталей обуви разнообразных по геометрическим размерам и свойствам материалов, позволил рассмотреть вопросы биомеханики стопы, решить некоторые проблемы проектирования комфортной обуви и отдельных ее деталей [81]. Наряду с этим, решаются вопросы, связанные с нелинейностью и вязкоупругостью свойств материалов изделий, изменением контактного взаимодействия стопы и обуви в процессе носки, циклическим характером действующих нагрузок. Разработаны простые численные процедуры, которые могут быть использованы в практике проектирования обуви для обеспечения комфортности, а значит и качества обуви [79].

Известен ряд поисковых научных работ, в которых исследование геометрии формообразования объекта и создание алгоритма автоматизированного проектирования, который обеспечивает совершенствование существующих методов и современных технических средств и приборов для оценки эксплуатационных свойств изделия, прогнозирования поведения деталей обуви в процессе эксплуатации, минуя стадию их изготовления. Однако, по - прежнему сохраняется актуальность определения комплексного показателя качества обуви и обувных материалов по результатам лабораторных и стендовых испытаний в условиях, близких к реальным. В связи с этим представляется целесообразным проведение анализа методов и приспособлений для определения изгибной жесткости обуви [42].

2.2. Обзор методов и приспособлений для определения изгибной жесткости обуви

Для количественного определения изгибной жесткости обуви имеются различные методы и приборы. Все они опираются на одинаковый подход, к измерению жесткости, который предусматривает изгиб обуви в пучках на угол 25° . Наиболее известные приборы по характеру воздействия на обувь составляют две большие группы. В первой - методы и устройства, в которых при измерении жесткости предполагают изгиб обуви при подъеме носочной части и неподвижном положении пяточно-геленочной. Во второй, наоборот, поднимают пяточную часть обуви при неподвижном положении носочно-пучковой [82].

Характеристики всех известных отечественных и зарубежных приборов и приспособлений для проведения испытаний жесткости обуви представлены в работе [57], приведем их (табл.7).

Из таблицы 7 следует, что мерой жесткости служит величина усилий, необходимая для изгибания обуви на угол 25 градусов при подъеме носочной части, приведенная к какому-либо единичному показателю: ширине подошвы по месту изгиба (Н/м – в СССР), общему углу изгиба (Н/град – в ЧССР) [57]. В некоторых приборах показатель жесткости выражается в условных единицах Fe. Жесткость обуви, определяемая с помощью приборов второй группы, характеризуется величиной усилий (Н), которое необходимо для изгиба обуви на угол 25 градусов при подъеме пяточной части [57].

Как видно из таблицы 7 изгибная жесткость определяется либо с применением разрывной машины, либо в ручном режиме. В конструкциях автономных приборов в качестве движущего и измерительного элемента разрывная машина не используется. Так оценка жесткости при изгибе в соответствии с ГОСТ 9718-88 «Обувь, Метод определения гибкости» в

испытательных лабораториях предприятий предполагает использование приспособления, схема которого изображена на рисунке 2.9 [55].

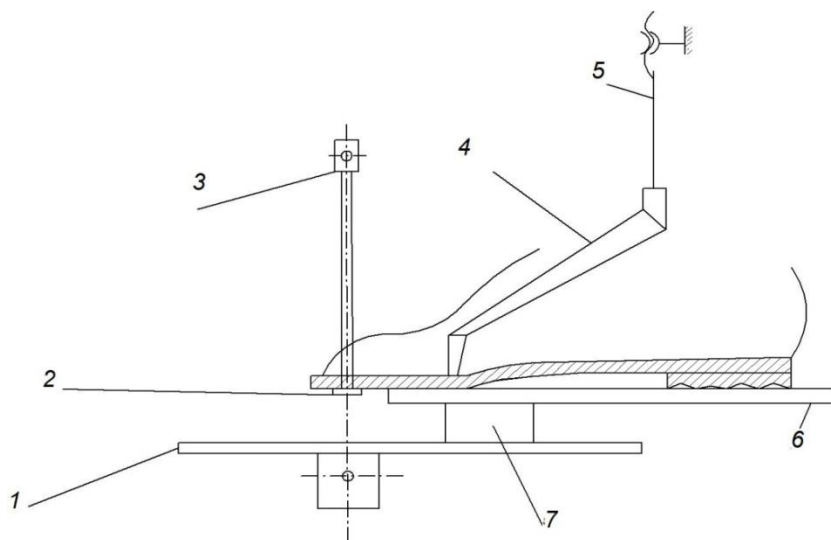


Рисунок 2.9 Схема приспособления УкрНИИКП (ГОСТ 9718-88) [68]:

1 - платформа; 2 - упор; 3 - захват разрывной машины; 4 - съемные упоры (2 шт.); 5 - винтовой прижим; 6 - столик; 7 – стойка.

Приспособление состоит из узлов для крепления испытуемой полупары, устройства, изгибающего носочную часть обуви по линии изгиба на угол 25° .

В приспособлении [83] (рис.2.10), изгибается пяточная часть обуви, при неподвижном положении носочно-пучковой. Приспособление представляет собой закрепляемую в нижней клемме разрывной машины платформу 1, снабженной перемещающейся вдоль нее кареткой 2, предназначенной для зажима носочно-пучковой части обуви, закрепляемый в верхней клемме разрывной машины. Захвата каблука 5, состоит из двух шарнирно укрепленных скоб, соединенных между собою стержнем и снабженных на концах конусными упорами.

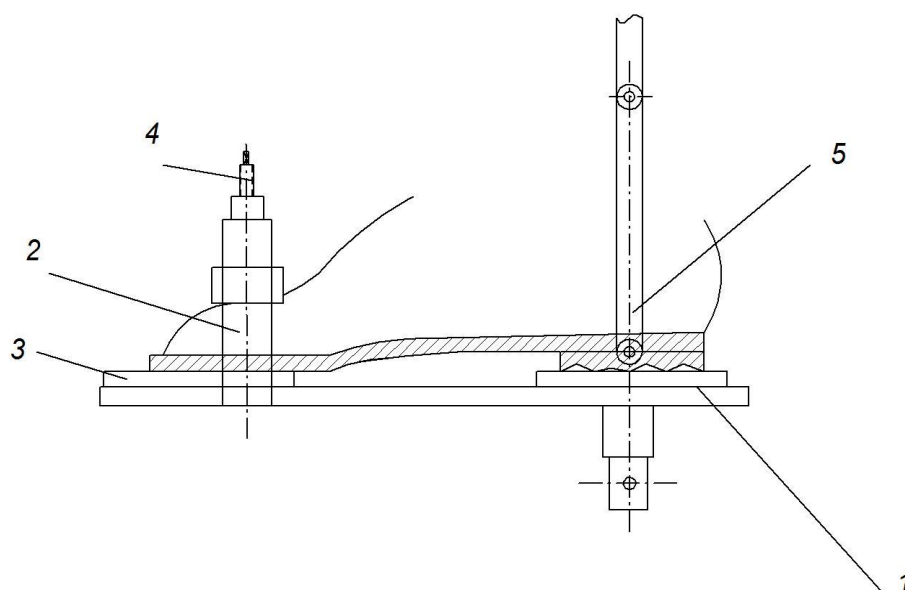


Рисунок 2.10 Схема приспособления [83]:

1 – платформа; 2 – каретка; 3 – упор носочной части; 4 – прижимной винт; 5 – захват каблука

21 век не отличается большим разнообразием приборов подобного назначения, однако, те из них, которые созданы за последние 15 лет, требуют особого внимания, так как по техническим решениям значительно отличаются от своих аналогов 20-го века. Так, на рисунке 2.11 изображена схема прибора Белокурова В.Н. [84, 85], предназначенного для определения изгибной жесткости готовых конструкций обуви. Он содержит приспособления для закрепления образца обуви. Деформации изгиба задается на электромагните и двух сменных постоянных магнитах, закрепляемых в носочной части конструкции обуви. Регистрация деформации изгиба осуществляется в резонансном режиме на фотоэлектрическом датчике [84].

При прохождении по катушке электромагнита 8 синусоидального тока, поступающего от генератора стандартных сигналов, вокруг сердечника электромагнита 8 возникает переменное магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита 7, в результате чего постоянный магнит 7 вместе с носочной частью образца обуви 6

Таблица 7. Приборы и приспособления 20-го века для определения жесткости готовой обуви [57]

Метод испытания	Страна	Прибор, приспособление	Назначение	Условие работы	Регистрация измерений	Единица измерений
1	2	3	4	5	6	7
Подъем носочно-пучковой части обуви	СССР	Устройство УкрНИИКП (Е.С. Овечкис и др.)	Определение начальной изгибной жесткости	Приспособление к разрывной машине	Динамометр	Н/м
	СССР	Устройство УкрНИИКП (В.С. Островский и др.)	Определение начальной изгибной жесткости	В ручном режиме	Индикатор деформаций	Н/м
	ГДР	Флексометр Мёллера- Лубича	Определение начальной изгибной жесткости	В ручном режиме	Передвижной груз	ед. Fe
	ГДР	Прибор Шраера-Бесле	Многократный изгиб	Автономно	—	ед. Fe
	ЧССР	Флексометр Ин-та Кожи г. Готвальдов	Определение начальной изгибной жесткости	Приспособление к разрывной машине	Динамометр	Н/град
	СРР	Устройство для определения эластичности кожи	Определение начальной изгибной жесткости	Приспособление к разрывной машине	Динамометр	Н/м

Продолжение таблицы 7.

1	2	3	4	5	6	7
Подъем пяточно-геленочной части обуви	СССР	Прибор ЦНИИКП	Определение начальной изгибной жесткости	В ручном режиме	Постоянный груз (180Н)	Град
	СССР	Прибор ЦНИИКП, ВЕМ (Т.С. Максимова)	Универсальный	Автономно	Монометр	Н
	СССР	Прибор ЦНИИКП, (Н.Г. Хоменкова)	Определение начальной изгибной жесткости	Приспособление к разрывной машине	Динамометр	Н
	СССР	Прибор ОСНИТЛ при Минском ПОО «ЛУЧ»	Определение начальной изгибной жесткости	В ручном режиме	Индикатор усилий	Н
	ПНР	Устройство Института кожаной промышленности	Определение начальной изгибной жесткости	Приспособление к разрывной машине	Динамометр	Н
	НРБ	Устройство для определения жесткости обуви	Определение начальной изгибной жесткости	Приспособление к разрывной машине	Динамометр	Н
	Англия	Устройство для определения жесткости обуви	Определение начальной изгибной жесткости	В ручном режиме	Индикатор усилий	—

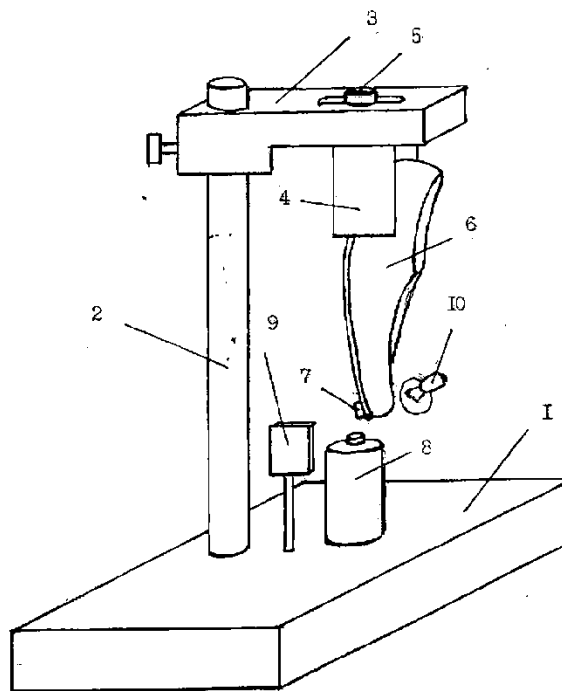


Рисунок 2.11 Схема устройства Белокурова В.Н. [84]:

1 - массивное основание; 2 – штанга круглого сечения диаметром 30 мм;
3 – кронштейн; 4 – зажим; 5 – винт; 6 - образец обуви; 7 - постоянный магнит, выполненный из ферромагнитного материала; 8 - электромагнит с ферритовым стержнем; 9 - фотоприемник с внутренним фотоэффектом, выполненный в виде элемента солнечной батареи; 10 -лампа накаливания

совершает колебательные движения. При этом проекция светового потока, возникающая от плоскости постоянного магнита 7, изменяет свое положение на плоскости фотоэлемента 9, вследствие чего на нем возникает переменная ЭДС, величину которой измеряет цифровой вольтметр [84]. Прибор относится к группе приборов, в которых измерение жесткости проводится при изменении положения носочной части и неподвижном положении пяточной.

В Витебском государственном технологическом университете разработано устройство [86] для измерения изгибной жесткости обуви, которое относится к 1- й группе приборов (рис. 2.12). При испытаниях обувь

захватывает специальный зажим в области пяточного закругления, соединенный с цифровым динамометром, фиксирующим усилие изгиба. Устройство исключает предварительную разметку обуви, в отличие от методов с использованием разрывных машин, и позволяет производить более точные измерения благодаря использованию электронного динамометра в качестве измерительного элемента [86].

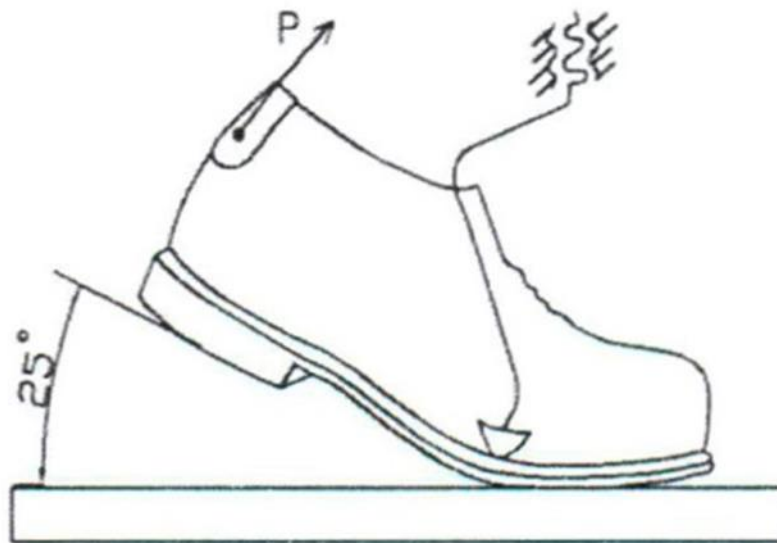


Рисунок 2.12 Схема нагружения обуви на приборе ВГТУ [86]

Принципиальным отличием измерений на приборах первой и второй групп является величина плеча изгиба, которая либо меняется в зависимости от размера обуви, либо остается постоянной.

Очевидно, что при большем плече изгиба (расстояние от места приложения силы до места изгиба), меньше усилие, необходимое для изгиба обуви. Так, по данным Н. Г. Хоменковой усилия для изгибания обуви 245 размера составляет 60 Н, 280 размера — 45 Н, т. е. ниже примерно на 25% [48, 64]. Серьёзным недостатком результатов измерений на приборах первой группы является отсутствие согласованности результатов испытаний с реальными процессами при ходьбе. В фазе переката через передний отдел

носочно-пучковая часть подошвы плотно прижимается к поверхности, а ее пяточно-геленочная часть поднимается на максимальный угол, что вызывает максимальное напряжение по линии изгиба. Следовательно, при определении изгибной жесткости обуви поднимать необходимо именно пяточно-геленочную часть. Кроме того, следует принимать во внимание высоту каблука испытуемой обуви, так как в обуви на каблуке даже в статике стопа уже изогнута на некоторый угол. Очевидно, что при проведении испытаний угол должен быть уменьшен, в зависимости от высоты приподнятости пяточной части, а испытания обуви на высоком каблуке нецелесообразны, так как изгиба при ходьбе в такой обуви фактически не происходит.

Толщина и модуль упругости материалов деталей, составляющих систему низа обуви, при прочих равных условиях (метод крепления, материал и конструкция верха, вид затяжки и д.р.) оказывают наибольшее влияние на изгибную жесткость [57]. С уменьшением величины этих показателей снижается и жесткость обуви в целом. Исходя из этого следует, что исследованию должен подвергаться собственно узел низа, как наиболее значимый элемент в формировании изгибной жесткости обуви [87].

Обобщив накопленный опыт и современные представления об изгибной жесткости обуви, нами сконструировано приспособление к разрывной машине (рис.2.13), предназначенное для испытания узла низа низкокаблучной обуви. Приспособление дает возможность изгибать обувь на угол 25 градусов путем подъема носочной или пяточно-геленочной части и сравнивать полученные величины жесткости низа обуви [87].

При подъеме носочной части (рис.2.14) низ обуви располагают так, чтобы упор 2 совпадал с линией приложения силы, расположенной на расстоянии 60 мм от линии закрепления (линии пучков) подошвы в сторону носка [87]. Нижний захват 4 платформы 5 закрепляют в нижних клещах

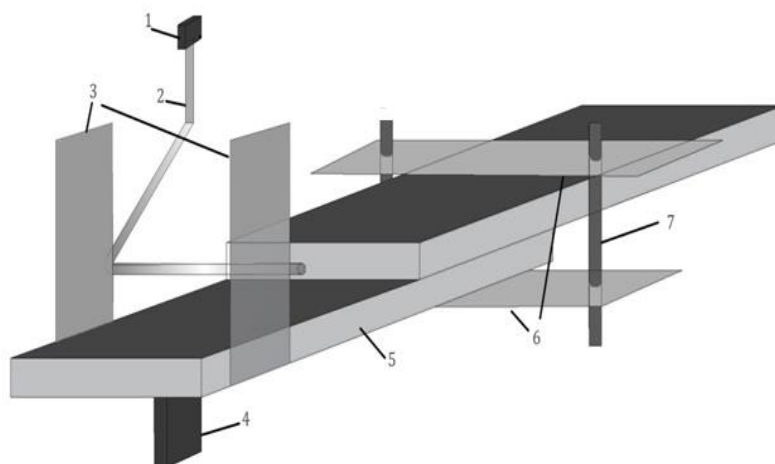


Рисунок 2.13 Общий вид приспособления [87]:

1 – верхний захват разрывной машины; 2 - упор; 3 - направляющие; 4 – нижний захват разрывной машины; 5 - платформа; 6 – прижимные пластины; 7 – болты

разрывной машины, а верхний захват разрывной машины 1 упора 2 - в верхних. Приводя в действие разрывную машину, упор 2 доводят до линии приложения силы. Затем образец изгибают, фиксируя на шкале разрывной машины удлинение равное 25мм, что соответствует изгибу обуви на угол 25° , одновременно фиксируя усилие необходимое для этого изгиба.

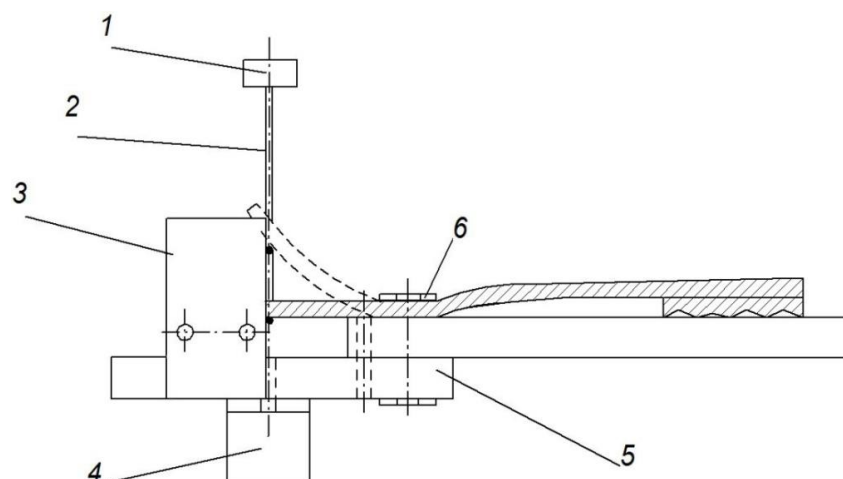


Рисунок 2.14 Схема изгиба обуви при подъеме носочной части (1 группа) [87]:

1 – верхний захват разрывной машины; 2 - упор; 3 - направляющие; 4 – нижний захват разрывной машины; 5 - платформа; 6 – прижимные пластины

Металлические направляющие 3 удерживают упор 2 в вертикальном положении, препятствуя горизонтальной выталкивающей силе низа обуви при изгибании [87].

Для изгибания обуви при подъеме пяточно-геленочной части (рис.2.15) низ обуви располагают и фиксируют в пучках металлическими пластинами так, чтобы линия середины пяточной части подошвы (линия приложения силы) располагалась на упоре 2. Затем образец изгибают на тот же угол 25° градусов [87]. Перед испытанием нужно измерить высоту приподнятости пяточной части обуви и вычесть ее из рассчитанной величины подъема. Полученное значение должно быть зафиксировано при изгибе на шкале разрывной машины [87]. Так, для средних размеров мужской и женской обуви установлено, что при определении жесткости на изгиб подъемом пяточно-геленочной части на 25° высота составляет 56 мм для мужской обуви и 48 мм - для женской. Отсюда следует, что не имеет смысла испытывать образцы обуви с высотой каблука, превышающей эти величины, так как при ходьбе изгиба обуви практически не происходит [87].

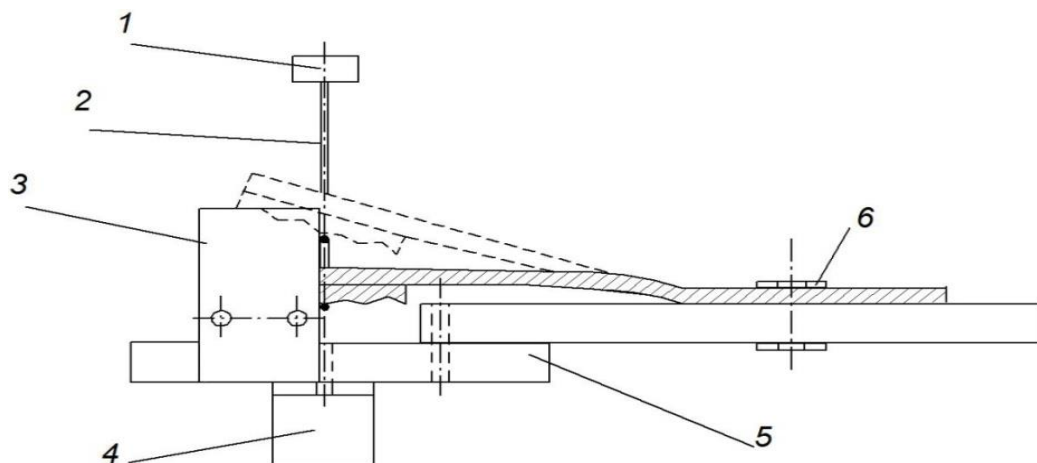


Рисунок 2.15 Схема изгиба обуви при подъеме пяточно-геленочной части (2-ая группа) [87]:

1 – верхний захват разрывной машины; 2 - упор; 3 - направляющие; 4 – нижний захват разрывной машины; 5 - платформа; 6 – прижимные пластины

Проверим экспериментально показатели изгибной жесткости обуви, полученные двумя основными способами.

Для проведения испытаний было отобрано 20 образцов мужской и женской обуви (по десять образцов для каждой родовой группы) среднего размера, из различных материалов и разных методов крепления [87]. Целью испытаний являлось определение изгибной жесткости узла низа, без учета жесткости верха на приспособлениях 1-ой и 2-ой групп. Все образцы - повседневная обувь с углом подъема пяточной части не более 25 градусов. Результаты испытаний приведены в таблице 8.

Таблица 8. Результаты испытания жесткости низа мужской и женской обуви на приспособлении предложенной конструкции [87]

Род обуви	№ образца	Ширина подошвы в пучках, мм	Жесткость, Н при испытании на приспособлении группы								Средняя разница показателей, Н
			1-ой				2-ой				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
Мужская	1	108	30	28	27	27	7	7	6	5	22
	2	108	19	18	18	17	6	6	6	5	12
	3	97	15	15	14	14	8	7	6	6	8
	4	107	22	22	21	20	10	9	9	9	11
	5	103	19	19	19	18	9	8	8	7	11
	6	98	30	28	26	27	12	13	11	11	16
	7	101	9	7	6	7	6	5	5	4	2
	8	114	48	47	47	46	14	13	11	11	35
	9	114	55	54	54	53	12	11	10	10	43
	10	111	49	45	44	44	8	8	7	6	38
Женская	11	85	18	16	15	15	5	5	5	4	11
	12	85	50	51	49	48	19	17	16	16	32
	13	75	15	16	15	14	5	5	4	4	10
	14	90	11	10	10	10	4	4	3	3	7
	15	80	20	19	19	19	4	3	2	3	16
	16	95	49	47	46	46	7	6	5	6	40
	17	90	26	25	24	24	8	8	7	7	17
	18	80	45	44	44	43	13	11	10	10	33
	19	90	44	43	42	42	5	4	4	4	38
	20	75	15	14	14	14	3	2	2	1	13

В большинстве своем отмечается большая разница между показателями, полученными с использованием нашего приспособления,

позволяющего воспроизводить измерения по схеме приборов обеих групп, которая в отдельных случаях достигает 43 Н.

Значения жесткости при изгибании носочно-пучковой части во всех случаях превышают значения, полученные по схеме испытаний на устройствах 2-ой группы. Это обусловлено тем, что в первом случае изгибание происходит с постоянным плечом изгиба 60 мм, во втором же - с различным плечом, рассчитываемым для каждого размера обуви отдельно (для среднего размера мужской обуви 206 мм и 170 мм – для женской). Однако предложенное приспособление тоже не лишено главного недостатка: оно привязано к разрывной машине [87].

2.3. Разработка конструкции прибора для определения изгибной жесткости обуви

Проанализировав вышеизложенные недостатки существующих методов и приспособлений, на кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи разработан прибор для определения изгибной жесткости обуви [88] (рис. 2.16).

Прибор содержит платформу 7 с шарнирно закреплённой на ней подъёмной площадкой 5, узел 4 для закрепления образца, стойки 2 с закрепленным электронным динамометром 1 и рамкой-упором 3 для каблука, шкалу измерения 6 для контроля угла изгиба [88].

Для проведения испытаний образец обуви располагают на площадке 5 и фиксируют узлом закрепления 4 таким образом, чтобы линия пучков совпадала с линией закрепления. Платформа 7 задвигается без жесткого соединения в пазы стоек 2. Перед испытаниями платформу 7 смещают относительно стоек 2 так, чтобы площадь набоечной поверхности полностью размещалась на площадке рамки-упора 3 [88].

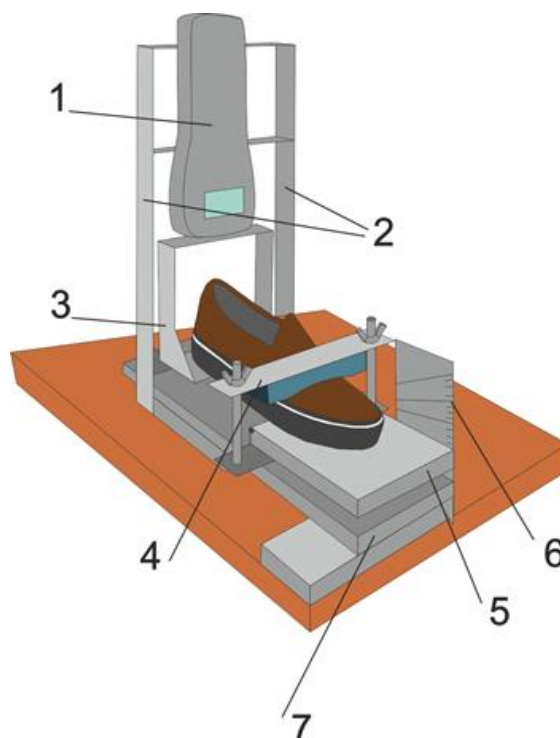


Рисунок 2.16 Схема прибора МГУДТ для определения изгибной жесткости обуви [88]:

1-электронный динамометр, 2- стойки, 3-рамка-упор, 4-узел закрепления, 5-подъемная площадка, 6-шкала измерения угла, 7-платформа

Испытания предусматривают учет начальной приподнятости пяточной части обуви. Угол необходимого изгиба для испытаний рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 25 - \arcsin \frac{h_k}{0.68 D_{\text{ст}}}, \quad (4)$$

где h_k – высота приподнятости пяточной части, см; $D_{\text{ст}}$ – длина стопы, см.

При поднятии площадки 5 (рис. 2.17) до заданного значения угла, отмечаемого на шкале 6 и рассчитанного по формуле (4), на динамометре фиксируется максимальное давление пяточной части обуви на рамку-упор 3, которое характеризует усилие, необходимое для изгибания образца обуви [88].

В процессе измерений пяточная часть обуви и упор 3 остаются неподвижными, так как в динамометре используется тензодатчик, не требующий движения измерительной головки. Такое решение позволяет получать данные, в условиях близких к реальным процессам воздействия обуви на стопу. Кроме того, использование динамометра малых напряжений марки РСЕ-FM 50 фиксирует оперативные данные с погрешностью 0,04% [89].

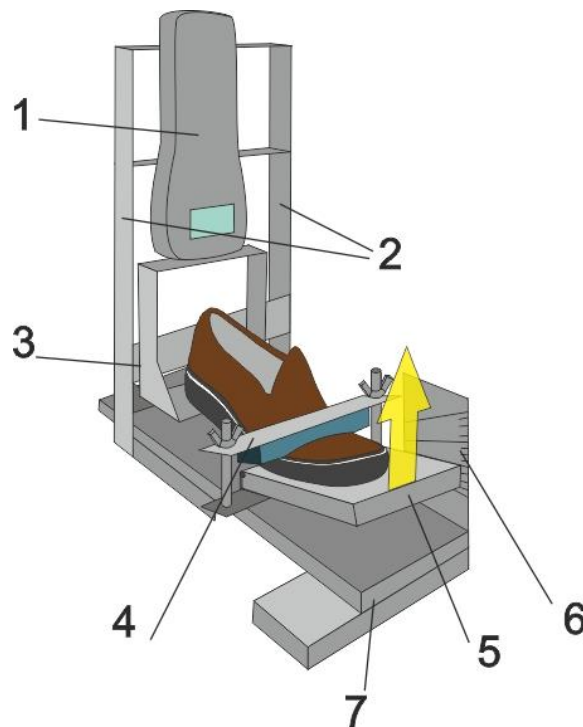


Рисунок 2.17 Схема проведения измерений изгибной жесткости обуви на приборе МГУДТ [88]:

1-электронный динамометр, 2- стойки, 3-рамка-упор, 4-узел закрепления, 5-подъемная площадка, 6-шкала измерения угла, 7-платформа

Технические задачи, на решение которых направлено предлагаемая конструкция сводятся к повышению объективности и точности результатов измерения, упрощению установки испытуемой обуви в конструкции устройства, снижению трудоемкости и достигаются изменением процесса

определения показателя изгибной жесткости, упрощением механизма изгибания обуви, исключением электропривода и использованием в качестве измерительного элемента портативного динамометра малых напряжений [88].

Прибор легко разбирается на отдельные узлы. Единственным условием для его эксплуатации является наличие ровной поверхности, на которой четко должна фиксироваться платформа (рис.2.18) [88].

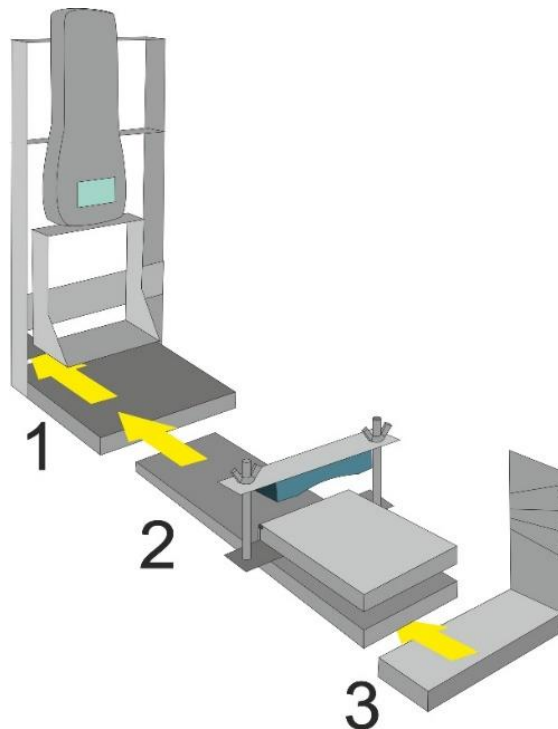


Рисунок 2.18 Узлы прибора МГУДТ для определения изгибной жесткости обуви [88]:

1 - стойки с измерительным прибором, 2 - платформа с изгибающей площадкой, 3 - опора со шкалой угла подъема

Основание, подвижное относительно стойки с измерительным элементом и упором каблука, позволяет без значительных временных затрат проводить испытания обуви любых размеров [88].

Прибор не имеет электропривода, что значительно упрощает получение оперативных данных. Электронный динамометр малых напряжений работает

от портативного источника энергии и не требует подключения к сети электропитания [88].

Для сравнения результатов измерения изгибной жесткости обуви, устанавливаемых по ГОСТ 9718-88 [55], ТР ТС 007/2011 [90], ГОСТ 14226-80 [91] и экспериментальной методике нами выбраны 4 образца детской обуви ОАО «Егорьевск обувь» торговой марки «Котофей». Результаты исследований приведены в таблице 9.

Таблица 9. Сравнение показателей изгибной жесткости обуви, полученной по ГОСТ 9718-88 [55], ТР ТС 007/2011 [90], ГОСТ 14226-80 [91] и экспериментальной методике

Сезон носки	Половозрастная группа	Материалы подошвы	Гибкость /Изгибная жесткость			
			ГОСТ 9718-88 Н/см, (Н)	ТР ТС 007/2011, не более Н/см, (Н)	ГОСТ 14226-80, не более Н/см	Новая методика. Н/см, (Н)
Летний	Ясельная	Кожа	7(46)	6 (40)	6	0,14(1)
Весенне-осенний	Ясельная	ТЭП	6(40)	6 (40)	6	0,1(1)
Зимний	Ясельная	ТЭП	11(72)	6 (40)	-	0,27(2)
Летний	Дошкольная	ПУ	5(45)	11 (100)	-	0,03(0,2)

Из таблицы 9 видно, что показатели изгибной жесткости, полученные по новой методике, отличаются от показателей по ГОСТ 9718-88 [55]. Это согласуется с выводами сделанными ранее (см. раздел 2.2). Такая разница вызвана тем, что ГОСТ 9718-88 [55] предусматривает изгиб образца детской обуви по линии, отстоящей от линии пучков на 30мм в сторону пятки, при плече изгиба, равном 60мм. Испытания на новом приспособлении предусматривают изгиб образца по линии пучков, с плечом приложения силы, равном расстоянию от линии пучков до наиболее выступающей точки на линии каблука. Таким образом, разница длины плеча приложения силы

приводит к значительным отличиям показателей изгибной жесткости обуви. Абстрагируясь от уровня полученных значений изгибной жесткости, следует отметить, что в число обуви с наибольшей и наименьшей изгибной жесткостью попали одни и те же конструкции независимо от метода испытания. Это позволяет говорить о состоятельности измерений изгибной жесткости обуви с использованием нового устройства.

2.4. Экспериментальные исследования изгибной жесткости деталей обуви

2.4.1. Факторы формирования изгибной жесткости обуви

Успешные решения по разработке рациональной конструкции обуви в значительной степени определяются применяемыми методами прогнозирования, наиболее целесообразным из которых в инженерном проектировании сегодня считают теоретическое моделирование взаимодействия стопы и обуви в различных условиях. Для прогнозирования конструкций обуви на стадии проектирования [10, 11, 84] предлагается использовать такие функциональные модели как модель системы «стопа - обувь - окружающая среда» (физиологическая модель) и системы «стопа - обувь» (биомеханическая) [11]. Биомеханическая модель системы «стопа - обувь» предполагает изучение внутреннего и внешнего силового взаимодействия, так как определяется спецификой функционирования стопы, физико-механическими свойствами обуви и особенностями их совместного взаимодействия. Показано, что прогнозирование конструкций на основе функционального моделирования допускает такие степени комфортности обуви как:

- удовлетворение требований к антропометрическим и психофизиологическим свойствам, предъявляемым к обуви. Они являются

достаточными при выборе или приобретении обуви, так как предполагают соответствие конструкции обуви форме и размерам стопы в статике, положительное эмоциональное восприятие, удобство при надевании и снятии ее;

- определяющая микроклимат и обеспечивающая защищенность стопы от воздействий внешней среды, т.е. свойства, которые проявляются в процессе эксплуатации обуви. К ним относятся силовые взаимодействия стопы с обувью.

Силовые взаимодействия стопы с обувью в значительной степени обусловлены жесткостью конструкции обуви. Для контроля жесткости готовой продукции в первую очередь необходимо знать факторы ее формирующие [92]. Ряд авторов [65, 67, 93] считает, что основное влияние на гибкость обуви оказывает вид подошвы и ее толщина. Однако жесткость обуви при изгибе сильно зависит от толщины и жесткости не только материалов подошв, но и других элементов конструкции, в частности, наличия или отсутствия основной стельки и простилки. Некоторые исследователи отмечают, что применение в качестве простилки обувных картонов значительно повышает изгибную жесткость узла низа. Особое влияние стельки на жесткость обуви объясняют тем, что при изгибании обуви наружные и внутренние элементы низа подвергаются разным видам деформации: подошва работает на растяжение, а стелька — на сжатие. Большое сопротивление стельки сжатию является одной из главных причин жесткости конструкции обуви. Отсутствует также единое мнение о влиянии на изгибную жесткость обуви: метода соединения деталей низа: в одних утверждается, что он влияет на сопротивление узла подошвы изгибу, в других — значительно меньше влияет на жесткость обуви, чем жесткость материалов [82]. Влияние конструкции низа на жесткость обуви, с одной стороны, обусловлено ее общей толщиной, а с другой — характером крепления элементов низа, который определяет возможность их смещения

друг относительно друга, что в свою очередь резко сказывается на сопротивлении конструкции низа деформациям при изгибе под действием поперечных нагрузок. В работе [58] низ обуви представляется конструктивной схемой трехслойной пластины, состоящей из подошвы, простилки и стельки. Толщина этих слоев и модуль упругости их материалов различны. При отсутствии крепителей и сил трения, создающих силовые связи между слоями, каждый слой изгибается самостоятельно. При этом общая жесткость составной пластины очень близка к сумме жесткостей ее слоев. Но после их скрепления жесткость системы слоев, сильно изменяется. Например, при скреплении системы деталей механическими крепителями (винтами, деревянными шпильками, гвоздями) жесткость увеличивается в 3-4 раза. На изгибную жесткость влияют такие факторы, как методы крепления низа, конструкция и толщина верха, способ затяжки, ширина затяжной кромки и др., поэтому сведения о степени влияния и их роли в формировании изгибной жесткости обуви носят противоречивый характер. Это объясняется сложностью или невозможностью сопоставления результатов отдельных исследований по причине существенных отличий свойств исследуемых материалов и различий в методиках количественной оценки изгибной жесткости обуви и ее деталей [93].

Вместе с тем, факторы, оказывающие влияние на изгибную жесткость, можно свести к схеме, представленной на рисунке 2.19.

При прочих равных условиях (метод крепления, материал и конструкция верха, вид затяжки и др.) толщина и модуль упругости материалов деталей, составляющих систему низа обуви, оказывают наибольшее влияние на изгибную жесткость. С уменьшением этих показателей снижается и жесткость обуви в целом. Это позволяет заключить, что испытанию следует подвергать непосредственно узел низа, как наиболее значимый элемент в формировании изгибной жесткости обуви [93].



Рисунок 2.19 Факторы, определяющие изгибную жесткость обуви [93]

2.4.2. Оценка влияния элементов конструкции обуви на общую жесткость

Реального снижения толщины и жесткости материалов низа позволяют добиться химические методы крепления низа обуви. Это обусловлено тем, что в химических методах крепления становится возможным применение составных стелек из гибких тонких материалов, перфорации и рифления основных стелек, а также тонких и эластичных материалов. Поэтому в современном производстве обуви наиболее распространены именно химические методы крепления. Анализ и характеристики всех свойств обуви, определение требований к ней позволяют говорить о рациональности конструкции обуви, процесс проектирования которой составляет поиск совокупности различных, функционально связанных между собой факторов.

Обувь на жесткой подошве вызывает увеличение энергозатрат при ходьбе, перегрузку мышц стопы и голени, препятствует достаточной подвижности плюснефалангового сустава, сообщая ему дополнительную нагрузку. Максимальное напряжение при ходьбе в пучковой части подошвы, при наименьшем радиусе кривизны в сочетании с избыточной изгибной жесткостью приводят к разрушению материалов низа. Недостаточная гибкость низа оказывает отрицательное влияние не только на комфортность обуви, но и ее долговечность, что, в конечном счете, приводит к снижению общего показателя качества изделия.

Все детали конструкции обуви в той или иной степени участвуют в формировании общей изгибной жесткости. Степень влияния отдельных деталей на общую жесткость обуви изучена недостаточно, что приводит к трудностям в получении рациональной конструкции [94].

На кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи, проведены исследования степени влияния элементов конструкции обуви на общую жесткость [94]. Испытания проводились на экспериментальном приборе для определения изгибной жесткости обуви и обувных материалов [88]. Для испытаний были отобраны 10 образцов различных конструкций обуви клеевого метода крепления (табл. 10). Измерялась общая жесткость обуви, затем жесткость узла низа, жесткость подошвы и основной стельки. Жесткость простилки и геленка не учитывалась. Модели, принятые к испытаниям, имеют различные размеры, состав и толщины материалов [94]. Характеристики конструкций обуви, принятых к исследованию, и результаты их испытаний приведены в таблице 10.

Полученные данные свидетельствуют, что жесткость узла низа составляет от 83 до 95 % по отношению к общей жесткости конструкции. Следовательно, жесткость верха обуви оказывает незначительное влияние на общую жесткость конструкции [94]. Жесткость подошвы составляет 63 - 79

% всей жесткости обуви, и оказывает наибольшее влияние на общую изгибную жесткость конструкции [94].

Основная стелька обладает малой собственной жесткостью (6-12 %), но, очевидно, ее необходимо учитывать, поскольку она скреплена с подошвой. Выявим степень влияния клеевого шва на общую жесткость. Для этого из жесткости узла низа вычтем жесткости основной стельки и подошвы (табл. 11) [94].

Таблица 11. Степень влияния клеевого шва на общую жесткость обуви [94]

№	Жесткость в процентном отношении к общей жесткости обуви, %			Влияние клеевого шва на общую жесткость, %
	Узел низа	Основная стелька	Подошва	
1	85	11	70	4
2	83	8	63	12
3	95	6	77	12
4	88	8	69	11
5	86	12	67	7
6	87	9	74	4
7	84	9	71	4
8	88	11	67	10
9	93	11	79	3
10	85	9	70	6

Из таблицы 11 следует, что клеевое крепление влияет на жесткость обуви, и для рассмотренных моделей составляет от 3 до 12% общей жесткости. Проведенные измерения подтверждают положение о том, что главным элементом в формировании жесткости обуви является подошва, именно ее материал и толщина определяют жесткость конструкции. Воздействие основной стельки на жесткость всей конструкции нельзя рассматривать отдельно от метода крепления, так как оба фактора взаимосвязаны. Степень их влияния зависит от толщины, материала стельки

и плотности ее скрепления с подошвой. Узел верха оказывает наименьшее воздействие на жесткость обуви [94].

Исходя из результатов испытаний жесткости обуви и ее составляющих, можно сформулировать следующие рекомендации по регулированию показателя изгибной жесткости [94]:

1. Для снижения изгибной жесткости в первую очередь следует обратить внимание на материал подошвы и ее толщину.

2. Не менее важным фактором, определяющим изгибную жесткость обуви, является конструкция и форма подошвы. На сегодняшний день на рынке представлен широкий ассортимент обуви с подошвами разнообразной формы. Зачастую производителей при выборе подошвы, в большей степени привлекает ее внешний вид, не уделяя должного внимания физико-механическим показателям ее материалам. Использование подошвы значительной толщины, всевозможных вставок в ее пучковой части только из соображений дизайна являются факторами, увеличивающими жесткость конструкции обуви. Так, наличие на подошвах вертикальных бортов, частично переходящих на боковую поверхность обуви, делают конструкцию значительно жестче. Это наиболее актуально для детской обуви.

3. Верх обуви меньше всего влияет на общую изгибную жесткость конструкции, тем не менее, наличие декоративных вставок в носочно-пучковой части из жестких материалов, неоправданных назначением обуви, могут сильно изменить ее жесткость при изгибе.

4. Несмотря на то, что скрепления подошвы и основной стельки являются немаловажным факторами в формировании изгибной жесткости обуви, однако, в условиях доминирования клеевого метода в производстве, их изменение не приводит к значительному варьированию жесткости.

Таблица 10. Результаты измерения жесткости обуви и ее элементов [94]

№	Описание обуви	Исследуемый элемент	Жесткость при изгибе на 25 ° по линии пучков, Н	% к жесткости конструкции в целом
1	2	3	4	5
1	Сапоги женские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: резина - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 38	Конструкция в целом	8	100
		Узел низа	6,8	85
		Основная стелька	0,9	11
		Подошва	5,6	70
2	Полусапожки женские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: резина - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 38	Конструкция в целом	7,9	100
		Узел низа	6,6	83
		Основная стелька	0,6	8
		Подошва	5	63
3	Ботинки мужские - Материал верха: текстиль - Материал подошвы: резина - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 42	Конструкция в целом	12,5	100
		Узел низа	11,9	95
		Основная стелька	0,7	6
		Подошва	9,6	77

Продолжение таблицы 10.

1	2	3	4	5
4	Ботинки мужские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: ТЭП - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 44	Конструкция в целом	9	100
		Узел низа	8	88
		Основная стелька	0,7	8
		Подошва	6,2	69
5	Ботинки мужские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: ТЭП - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 43	Конструкция в целом	11,3	100
		Узел низа	9,8	86
		Основная стелька	1,4	12
		Подошва	7,6	67
6	Ботинки мужские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: резина - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 43	Конструкция в целом	13	100
		Узел низа	11,3	87
		Основная стелька	1,2	9
		Подошва	9,7	74

Продолжение таблицы 10.

1	2	3	4	5
7	Ботинки мужские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: ТЭП - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 42	Конструкция в целом	13,8	100
		Узел низа	11,6	84
		Основная стелька	1,3	9
		Подошва	9,8	71
8	Полуботинки мужские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: кожеподобная резина - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 44	Конструкция в целом	7	100
		Узел низа	6,2	88
		Основная стелька	0,8	11
		Подошва	4,7	67
9	Полуботинки женские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: ТЭП - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 36	Конструкция в целом	10	100
		Узел низа	9,3	93
		Основная стелька	1,1	11
		Подошва	7,9	79
10	Туфли женские - Материал верха: кожа - Материал подошвы: ПУ - Материал стельки: картон - Метод крепления: клеевой - Размер: 35	Конструкция в целом	10	100
		Узел низа	8,5	85
		Основная стелька	0,9	9
		Подошва	7	70

Выводы по второй главе

1. Проанализировав теоретические основы оценки жесткости обуви при изгибе, выявлено, что жесткость готовой обуви может быть спрогнозирована на этапе проектирования, а результаты расчетов хотя и не отображают реальной изгибной жесткости готовой обуви, но могут составить основу условной постоянно хранимой информации в САПР обуви. Показано, что экспериментальные методы оценки жесткости обуви не утратили своей актуальности

2. Выявлено, что в существующих методах и приспособлениях для определения изгибной жесткости при измерении жесткости обуви происходит подъем либо пяточной части при неподвижном положении носочно-пучковой; либо, наоборот, носочной при неподвижном положении пяточно-геленочной.

3. Установлено, что наиболее распространённые приспособления для определения изгибной жесткости обуви значительно устарели и требуют модернизации.

4. Разработана конструкция экспериментального прибора для определения изгибной жесткости обуви, позволяющая исключить ряд недостатков существующих приспособлений, существенно снизить временные затраты на проведение испытаний, повысить точность измерений.

5. Реализованная методика измерений благодаря предложенной конструкции прибора, которая согласуется с реальными процессами силового взаимодействия в системе «стопа-обувь».

6. Проведенный анализ всех возможных факторов, оказывающих влияние на изгибную жесткость обуви, выявил, что наиболее значимыми из них являются толщина и вид материала деталей, составляющих систему низа. Экспериментально в ходе оценки влияния отдельных элементов конструкции

обуви на ее изгибную жесткость выявлено, что жесткость низа составляют 83-95 % от общей изгибной жесткости обуви, из которой 63-79 % приходится на подошву.

7. Сформулированы рекомендации по регулированию показателя изгибной жесткости, основные из которых сводятся к следующему: для исключения излишней изгибной жесткости готовой обуви следует уделять внимание рациональному подбору материалов подошвы, а также форме и конструкции подошвы: чем ближе по своей форме она будет к форме пластины, тем меньше будет ее жесткость.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОБУВИ НА БИОМЕХАНИКУ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

3.1. Основы анатомии и биомеханики свободной нижней конечности

3.1.1. Скелет свободной нижней конечности

Анатомия человека, как биологическая дисциплина, изучает форму и строение человеческого организма, а также исследует закономерности развития этого строения [95].

Анатомия изучает внешние формы тела человека, его органы, их микроскопическое и ультрамикроскопическое строение, в различные периоды жизни, начиная от зарождения и формирования органов и систем у зародыша и плода и до старческого возраста, изучает человека в условиях влияния внешней среды [96].

Верхние и нижние конечности человека различаются по своим функциям и задачам. Верхние конечности можно назвать «рабочим инструментом» человека, они очень подвижны и способны выполнять самые разнообразные движения. Нижние конечности служат для опоры и передвижения. Их кости и соединения более массивные, их подвижность по сравнению с верхними конечностями ограничена.

Скелет нижних конечностей — представляет собой систему рычагов. Конечности состоят из пояса, кости которого соединяются со скелетом туловища и свободной части [96].

К костям свободной нижней конечности принадлежат (рис.3.1): бедренная кость 1, кости голени (большеберцовая 2 и малоберцовая 3 кости)



Рисунок 3.1 Скелет нижней конечности [70]

и кости стопы 4. Кости свободной нижней конечности по своему строению и развитию сходны с костями свободной верхней конечности. Бедренная кость – самая длинная и большая трубчатая кость тела человека. На верхнем конце бедренной кости имеется шаровидная головка. Ниже головки находится суженная часть кости – шейка, расположенная к продольной оси кости под тупым углом. Нижний конец бедренной кости расширяется и переходит в утолщенный и несколько уплощенный дистальный эпифиз. Он имеет два мыщелка – внутренний (или медиальный) и наружный (или латеральный). Мыщелки имеют суставные поверхности для соединения с большеберцовой костью [70].

В образовании коленного сустава принимает участие так называемая надколенная чашка, или надколенник 5. Он представляет собой самую крупную сесамовидную кость, которая располагается в толще сухожилий мышц бедра [70].

В состав скелета голени входят большеберцовая 2 и малоберцовая 3 кости (рис. 1.). Как и бедренная кость, это длинные трубчатые кости.

Большеберцовая кость располагается на голени медиально. Она более массивная по сравнению с малоберцовой. На верхнем конце она наиболее толстая и образует два мыщелка – медиальный и латеральный, которые своими суставными поверхностями соединяются с мыщелками бедренной кости. На наружной стороне латерального мыщелка расположена небольшая суставная площадка – место соединения с верхним концом малоберцовой кости. Нижний (дистальный) конец кости утолщен. С внутренней стороны его находится направленный вниз костный отросток, называемый внутренней лодыжкой. С наружной стороны имеется вырезка – место присоединения нижнего конца малоберцовой кости. Малоберцовая кость – длинная и тонкая, располагается снаружи от большеберцовой кости. Верхний конец ее утолщен и называется головкой. Головка сочленяется с большеберцовой костью. Тело кости (диафиз) – тонкое, трехгранной формы. Нижний конец малоберцовой кости утолщен и называется наружной лодыжкой [70].

Завершающим и важнейшим элементом в строении нижних конечностей является стопа. Именно стопа непосредственно соприкасается с опорной поверхностью во время движения или стояния на месте, в связи с чем, в рамках диссертации именно к стопе обращено наибольшее внимание.

Кости стопы, сочленяясь друг с другом, образуют дуги (своды), ориентированные в продольном и поперечном направлениях [70].

Врачи давно разделили стопу на три части: передний, средний и задний отделы стопы. Передний отдел стопы (мысок) включает в себя пальцы и кости плюсны (5 костей, которые служат для связи пальцев с костями среднего и заднего отдела). Средний отдел (свод) стопы состоит из клиновидных, кубовидной и ладьевидной костей. Задний отдел (пятка) – из таранной и пяточной костей [97]. Подошвенный свод стопы удерживается системой трех арок: внутренней, передней и наружной. Внутренняя арка перекинута между бугром пяточной кости и головкой первой плюсневой

кости. Наружная арка соединяет бугор пяточной кости с головкой пятой плюсневой кости.



Рисунок 3.2 Кости стопы [97]

Передняя арка располагается поперечно к длинной оси стопы. Высота подъема стопы определяется состоянием ее свода[97].

В стопе находится четверть всех костей организма. Нормальная ступня состоит из 26 костей различных форм и размеров (рис. 3.2), плюс две кости: латеральная и медиальная сесамовидные, которые находятся под I-й плюсневой костью. Не редкость, если человек рождается с несколькими дополнительными косточками, которые называются добавочными костями стопы [97].

Две или более костей, соединенных между собой подвижно, образуют сустав. Суставы бывают различной формы, от чего зависит их подвижность. На рис.3.3 приведены различные формы суставов и их схемы [97].

Соединение костей свободной нижней конечности, в отличие от верхней, имеет ряд особенностей, отражающих их функции.

Тазобедренный сустав – ореховидный по форме (разновидность шаровидного), образован вертлужной впадиной тазовой кости и головкой бедренной кости. Движения в тазобедренном суставе: вокруг фронтальной оси – сгибание и разгибание бедра, вокруг сагиттальной – приведение и отведение, вокруг вертикальной – вращение внутрь и вращение наружу. Кроме того, как и во всяком трехосном суставе, здесь может производиться круговое движение [70].

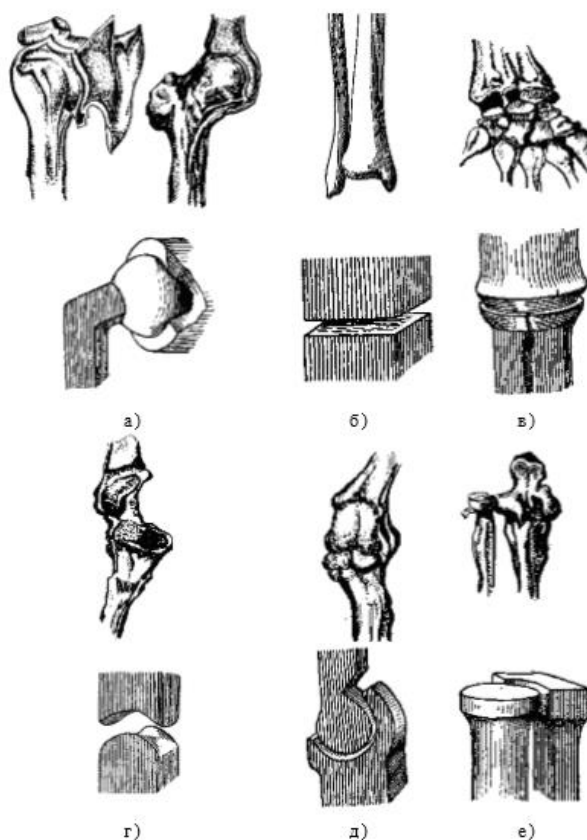


Рисунок 3.3– Различные формы суставов и их схемы [70]:

а – шаровидный; б – эллипсоидный; в – седловидный; г – плоский; д – блоковидный; е – цилиндрический

Коленный сустав относится к сложным суставам, так как образован тремя костями: бедренной, большеберцовой и надколенной чашкой. Наружный и внутренний мыщелки бедренной кости противостоят

наружному и внутреннему мыщелкам большеберцовой кости. Однако кривизны суставных поверхностей мыщелков этих костей друг другу не соответствуют (суставные поверхности мыщелков бедренной кости имеют большую кривизну). Это несоответствие выравнивается наличием внутреннего и наружного менисков, расположенных между мыщелками бедренной и большеберцовой костей. Мениски также смягчают толчки при движении тела. Особенностью коленного сустава является также наличие в полости сустава крестообразных связок, которые соединяют друг с другом бедренную и большеберцовую кости, и синовиальных сумок [70].

Коленный сустав является блоковидно-вращательным суставом. В нем возможны движения: сгибание и разгибание голени, а при согнутом положении – незначительное вращение голени [70].

Большеберцовая и малоберцовая кости соединяются в верхней части **плоским суставом**. На протяжении диафизов костей они соединены межкостной перепонкой. Нижние концы этих костей соединены связками [70].

В области стопы имеются многочисленные малоподвижные суставы, сложный и прочный связочный аппарат, который укрепляет стопу и обеспечивает ее опорную функцию [70]

Голеностопный сустав – соединяет обе кости голени со стопой. Он образован суставными поверхностями блока таранной кости и суставными поверхностями нижних концов костей голени. При этом П-образное углубление в виде вилки, образованное берцовыми костями (нижней поверхностью большеберцовой кости и лодыжками обеих костей голени) охватывает блок таранной кости. Сустав укреплен крепкими связками, которые идут со всех сторон от костей голени к таранной, ладьевидной и пяточной костям. По форме голеностопный сустав представляет разновидность блоковидного, называемый винтообразным суставом. Движения происходят вокруг фронтальной оси – сгибание и разгибание

стопы. Тыльное сгибание – стопа поднимается, подошвенное сгибание – стопа опускается. При подошвенном сгибании возможны небольшие движения в стороны – приведение и отведение, т.е. движение носком внутрь и наружу [70].

Кости стопы, сочленяясь между собой, образуют суставы, которые можно разбить на четыре основные группы [70].:

- 1 межпредплюсневые;
- 2) предплюсне-плюсневые;
- 3) плюсне-фаланговые;
- 4) межфаланговые.

К межпредплюсневым относится несколько суставов, находящихся между костями предплюсны.

Сустав таранно– пяточный – цилиндрический по форме, имеет одну ось вращения, идущую в передне-заднем направлении. Вокруг этой оси возможен поворот стопы внутрь и наружу, т.е. ее пронация и супинация. При пронации происходит поднятие наружного края стопы и опускание внутреннего, при супинации – наоборот [70].

Сустав таранно-пяточно-ладьевидный составляется головкой таранной кости и суставной ямкой, образованной ладьевидной и пяточной костями. Сустав имеет сферическую форму и относится к типу шаровидных суставов. Движение в таранно-пяточном и таранно-пяточно-ладьевидном суставах происходит одновременно. Поэтому в функциональном отношении оба сустава объединяются в один комбинированный сустав, называемый подтаранным [70].

Хотя движение в голеностопном и подтаранном суставах может происходить самостоятельно, но обычно эти два сустава функционируют одновременно [70].

При подошвенном сгибании стопы обычно одновременно происходят ее приведение и супинация, а при разгибании (тыльном сгибании) – отведение и пронация [70].

Пяточно-кубовидный сустав образуется между суставными поверхностями пяточной и кубовидной костей. Он имеет седловидную форму, но и функционирует как одноосный, причем ось вращения в нем проходит в передне-заднем направлении [70].

Пяточно-кубовидный сустав и таранно-ладьевидный объединяются под общим названием поперечного сустава предплюсны [70].

Остальные суставы предплюсны, а именно суставы между клиновидной, кубовидной и ладьевидной костями, имеют плоскую форму и малоподвижны. Они хорошо укреплены связками, расположенными не только с тыльной и подошвенной сторон сустава, но также в некоторых местах между костями внутри самих суставов [70].

Предплюсне-плюсневые суставы расположены между костями предплюсны и плюсны. Эти суставы имеют плоскую форму, подвижность в них незначительна. Они хорошо укреплены связочным аппаратом с тыла и подошвы, в некоторых местах имеют межкостные связки [70].

Комплекс костей в суставе ладьевидной, клиновидных, кубовидной и всех плюсневых обладает наименьшей подвижностью среди всех костей стопы. Эти десять костей составляют твердую основу стопы [70].

Плюснефаланговые суставы образованы головками плюсневых костей и основными фалангами пальцев. Они имеют несколько неправильную шаровидную форму и относятся к типу шаровидных суставов. Движения в них происходят главным образом вокруг фронтальных осей, т.е. имеют место сгибание и разгибание. На подошвенной стороне первого плюснефалангового сочленения находятся так называемые сесамовидные косточки, соответственно которым на нижней части суставной поверхности головки первой плюсневой кости имеются борозды. Поэтому этот сустав в

функциональном отношении является скорее блоковидным, чем шаровидным [70].

Межфаланговые суставы представляют собой сочленения между основными и средними, а также между средними и ногтевыми фалангами пальцев стопы. Они относятся к типу блоковидных суставов. Это одноосные суставы, в которых возможны только сгибание и разгибание [70].

3.1.2. Основы биомеханики нижних конечностей

Возможность нижних конечностей беспрепятственно совершать полноценные движения при ходьбе в обуви – одно из главных требований комфортности и качества обувных изделий. Идеально комфортной обувью можно назвать такую, в которой биомеханические показатели нижних конечностей при движении будут идентичны показателям при движении без обуви. Создание комфортной обуви – сложная инженерная задача, поскольку при проектировании нужно учитывать не только параметры стопы в статике, но и в динамике [98].

В современном представлении биомеханика – это наука о механическом движении живых организмов и их отдельных органов, суставов и тканей, жидких и газообразных сред в них [99], которая затрагивает обширный круг вопросов, касающихся работы как всего человеческого тела при различных его положениях и движениях, так и отдельных его органов. В биомеханических исследованиях обычно рассматривают основное положение человеческого тела – стояние – и важнейшие его движения – ходьбу и бег [70].

С точки зрения биомеханики особое внимание в строении и функционировании человеческого организма отводится опорно-двигательному аппарату, специфические биомеханические функции в

котором выполняют стопы. Наиболее характерно это проявляется при ходьбе [98].

Кинематическую цепь нижней конечности следует обозначить, как кривошипно-ползунный механизм, переводящий возвратно-поступательные движения стопы через голень в возвратно-вращательные таза через бедро, которые, в свою очередь, переходят в восходящие попеременные разнонаправленные движения согнутой пологой спирали позвоночного столба [99].

Ходьба относится к самым древним способам передвижения. За 70 лет жизни человек совершает в среднем 500 миллионов шагов и преодолевает путь, приблизительно равный расстоянию от Земли до Луны (384 000 км). Мы привыкли, что идти пешком – это значит идти медленно. Но в наш век больших скоростей и ходьба стала стремительной. Победитель Кубка мира в спортивной ходьбе в 1983 г. прошел 20 км со средней скоростью 15,9 км/ч [99].

Будучи «фундаментальными человеческими движениями», ходьба интересна сама по себе. Но, кроме того, ввиду своей общедоступности она используется для изучения общих закономерностей циклических локомоций. Человек является самодвижущейся системой, поскольку первопричиной его движений служат внутренние силы, создаваемые мышцами, приложенные к подвижным звеньям тела [99].

К внутренним относятся и силы инерции, приложенные к центру масс разгоняемых и тормозимых звеньев тела («фиктивные» силы инерции) или к другим звеньям тела, либо к внешним предметам («реальные» силы инерции) [99].

Задачи ходьбы [100]:

➤ безопасное линейное поступательное перемещение тела вперёд (главная задача) [100];

- удержание вертикального баланса, предотвращение падения при движении [100];
- сохранение энергии, использование минимального количества энергии за счёт её перераспределения в течение цикла шага [100];
- обеспечение плавности передвижения (резкие движения могут являться причиной повреждения) [100];
- адаптация походки для устранения болезненных движений и усилий [100];
- сохранение походки при внешних возмущающих воздействиях или при изменении плана движений (Стабильность ходьбы) [100];
- устойчивость к возможным иннервационным и биомеханическим нарушениям [100];
- оптимизация передвижения, прежде всего, повышение эффективности безопасного перемещения центра тяжести масс с наименьшим расходом энергии [100].

Наиболее общими параметрами, характеризующими ходьбу, являются линия перемещения центра масс тела, длина шага, длина двойного шага, угол разворота стопы, база опоры, скорость перемещения и ритмичность (рис 3.4) [99].

База опоры – это расстояние между двумя параллельными линиями, проведёнными через центры опоры пяток параллельно линии перемещения [99].

Короткий шаг – это расстояние между точкой опоры пятки одной ноги и центром опоры пятки контралатеральной ноги [99].

Разворот стопы – это угол, образованный линией перемещения и линией, проходящей через середину стопы: через центр опоры пятки и точку между 1 и 2 пальцем [99].

Ритмичность ходьбы – отношение длительности переносной фазы одной ноги к длительности переносной фазы другой ноги [99].

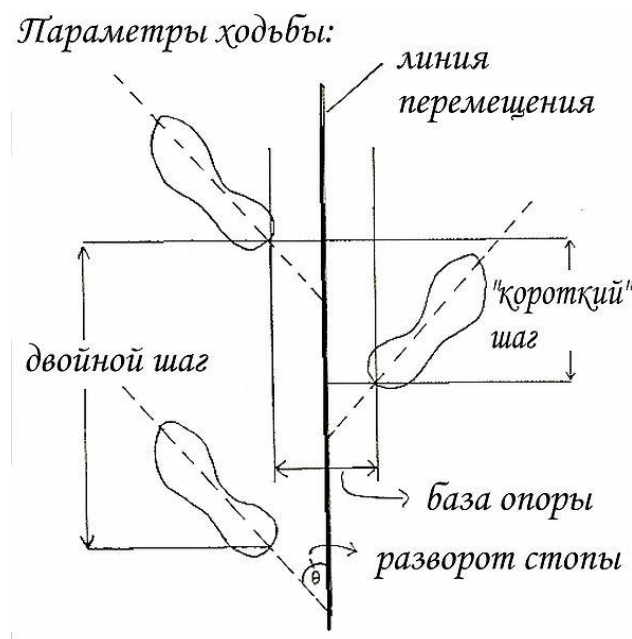


Рисунок 3.4 Параметры ходьбы [99]

Скорость ходьбы – число больших шагов в единицу времени. Измеряется в единицах: шаг в минуту или км в час. Число шагов в минуту может возрастать от 70 при медленной ходьбе до 113 шагов – при быстрой. Взрослый человек, идущий в темпе 90 шагов в минуту, проходит за час около 4 км [99].

Ходьба – это сложное циклическое движение, связанное с отталкиванием тела от опорной поверхности и перемещением его в пространстве. Характерным для ходьбы является постоянное сохранение опоры на одну или обе ноги. Движение человеческого тела является результатом взаимодействия внешних и внутренних сил. К внешним силам относятся сила тяжести тела, сила притяжения земли, опорные реакции, сопротивление среды (сопротивление воздуха). Внутренние силы возникают внутри тела человека, при взаимодействии отдельных его участков [99].

При шаге одна нога выдвигается вперед благодаря сокращению мышц, поднимающих бедро и разгибающих голень. В этот момент опорной является только одна нога, так как другая движется в воздухе над опорной

поверхностью. Разгибание в коленном суставе к концу переносного периода обычно бывает неполным. Небольшое сгибание колена в начале опорного периода обеспечивает амортизацию (смягчение) толчка, когда выпрямленная нога наталкивается на поверхность опоры. В момент, когда выдвинутая вперед нога опускается на опору, наступает момент двойной опоры, т.е. тело опирается и «передней» и «задней» ногой. Затем стопа опускается и касается всей подошвенной поверхностью опоры. Вслед за этим происходит движение голени вперед с вращением вокруг голеностопного сустава, в то время как стопа неподвижна на опорной поверхности. Стопа отделяется от опоры, начиная с пятки и кончая носком. При этом она отталкивается концом носка, увеличивая тем самым скорость поступательного движения всего тела. Таким образом, из опорной эта нога становится движущейся. Исходя из механизма движения, при ходьбе различают следующие фазы шага [70]:

- перекат через пятку;
- опора на всю стопу;
- перекат через передний отдел;
- переносной период.

Ниже в таблице 12 приводятся показатели относительной продолжительности отдельных фаз шага при нормальной ходьбе (в % от общей длительности шага).

Таблица 12. Продолжительность фаз шага [70]

Общая продолжительность шага, с	$1,2 \pm 0,18$
Фаза переката через пятку, %	$8 \pm 1,5$
Фаза опоры на всю стопу, %	$37 \pm 2,9$
Фаза переката через передний отдел, %	$20 \pm 2,7$
Переносной период, %	$35 \pm 1,7$

На рисунке 3.5 представлена «идеальная» схема, отражающая опорные фазы ходьбы. Наиболее нагружены стопы в фазах контакта (100% нагрузки

воспринимается пяткой) и отталкивания (100% нагрузки несет передний отдел стопы).

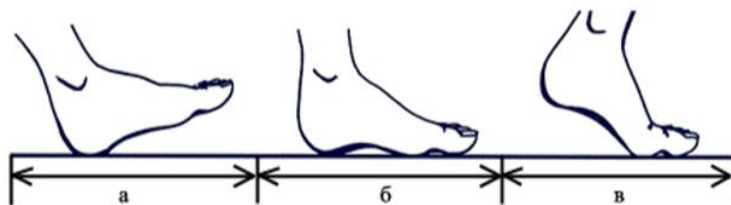


Рисунок. 3.5 Опорные фазы ходьбы:

а) контактная фаза (в цикле шага, на пятку приходится 100% нагрузки); б) средняя фаза (27% нагрузки приходится на передний отдел стопы, 67% – на пятку; в) фаза отталкивания (100% нагрузки приходится на пальцы ног) [101]

Во время движения стопа изгибается в голеностопном и плюснефаланговом сочленениях. Такие же явления наблюдаются и при подъеме пяточной части стопы на каблук, при этом происходит небольшой изгиб стопы в межпредплюсневых суставах. При качании стопы вокруг оси вращения в плюснефаланговом сочленении выпуклости головок плюсневых костей скользят по выемкам оснований первых фаланг. Причем эти выпуклости и вогнутости имеют очень сложное очертание. Однако, чтобы определить центр качания плюсневых костей, их весьма приближенно принимают за цилиндрические. В этом случае центр качания будет находиться на оси воображаемого цилиндра, т.е. где-то в области центра головок плюсневых костей. Благодаря наличию между головкой плюсневых костей и опорой прокладки из жирового слоя, сухожилий и кожи центр качания будет располагаться на каком-то расстоянии от опорной поверхности. Необходимо учитывать также, что центр качания каждой из плюсневых костей расположен на разных расстояниях от пятки. Для средней длины стопы радиус кривизны примерно равен 20–30 мм при максимальном изгибе стопы. Это вызывает растяжение связок и кожи под

плюснефаланговым сочленением на данном участке в момент опоры на пучки, когда пятка высоко поднята над землей. В момент изгибания стопы в плюснефаланговом сочленении происходит перемещение тела в направлении движения. На это затрачивается значительная энергия. При ходьбе же в обуви затрачивается дополнительная энергия на изгибание обуви [70].

Изложенные выше положения составили основу концепции методики кинематического анализа биомеханики ходьбы.

3.2. Разработка концепции методики кинематического анализа биомеханики ходьбы в обуви различной жесткости

Обувь предохраняет стопу от различных внешних воздействий. Современные условия вынуждают человека длительное время находиться в обуви, что противоречит естественному запрограммированному развитию стопы. Проблемы формирования архитектуры стопы, усугубляются при ношении неправильно подобранной обуви. Следовательно, изгибную жесткость обуви и обувных материалов нельзя рассматривать отдельно от биомеханики ходьбы, так как ее влияние проявляется именно в процессе ходьбы, и непосредственно связано с движением в суставах нижних конечностей.

При биомеханических исследованиях нижних конечностей чаще всего применяют компьютерный видеоанализ двигательной деятельности, который основан на технологии бесконтактного исследования видеоряда движений биологического объекта (человека или животного) для количественной и качественной оценки биомеханических характеристик двигательных функций [92].

Такой анализ позволяет создать модель биомеханической системы, построить проекты изучения двигательных актов с анализом линейных, угловых кинематических профилей и их производных.

Сущность таких исследований заключается в фиксации на видеокамеру движений маркеров из светоотражающего материала, закрепленных на суставах или точках, соответствующих положению центров тяжести звеньев тела, и их последующем анализе.

В сагиттальной плоскости стопа может быть представлена в виде шарнирно-стержневой системы, имеющей жесткий геленочно-пяточный и подвижные относительно него носочно-пучковый и голеностопный отделы (рис.3.6) [92].

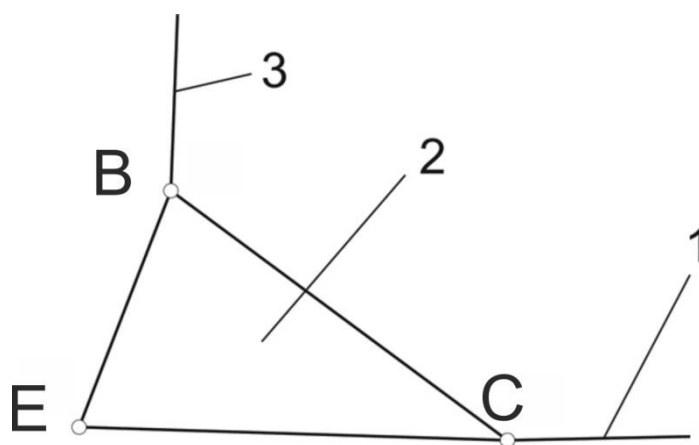


Рисунок 3.6 Кинематическая схема стопы:

В – центр вращения голеностопного сустава; С – центр головки первой плюсневой кости; Е – опорная точка пяточной кости; 1 – носочно-пучковый отдел; 2 – геленочно-пяточный отдел; 3 – голень

Вершинами жесткого треугольника являются определенные антропометрические точки. Для стопы такими точками в продольном направлении являются центры головки первой плюсневой кости и голеностопного сустава С и В соответственно, а также опорная точка Е бугра пяточной кости [92].

Таким образом, модель в продольно-осевом сечении представляет собой систему из двух биомеханических пар, характеризующих соединения пальцевого и геленочно-пяточного отделов и голени с геленочно-пяточным отделом. Для полноты количественной и качественной оценки

биомеханических характеристик двигательных функций свободной нижней конечности маркеры необходимо поместить в коленном (рис. 3.7, точка А) и бедренном суставах (рис. 3.7, точка F).

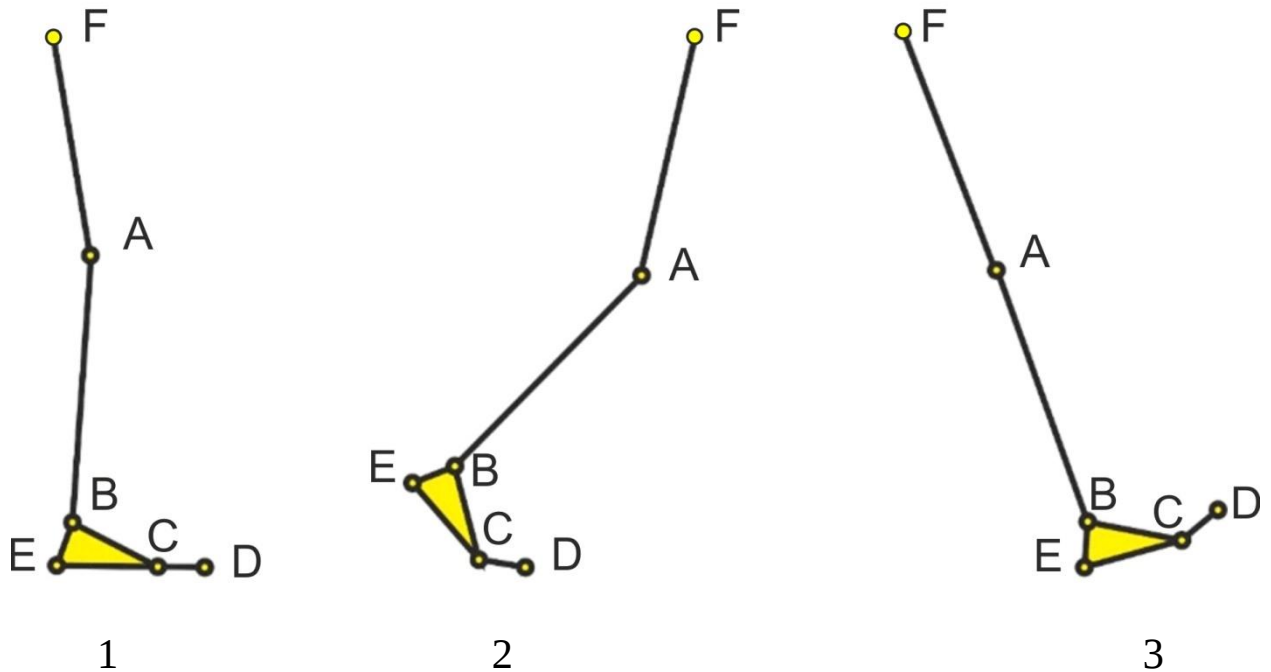


Рисунок 3.7 Кинематическая схема движения правой ноги:

1 – фаза опоры на всю стопу; 2 – фаза толчка; 3 – фаза опоры на пятку
 F – центр вращения тазобедренного сустава; A – центр вращения коленного сустава; B – центр вращения голеностопного сустава; C – центр головки первой плюсневой кости; E – опорная точка пяточной кости

Позиции 1, 2 и 3 на рисунке 4.2 соответствуют определенным фазам шага. Анализ схемы позволил получить величины углов между звеньями в интересующих нас суставах. Выделив ключевые кадры в видеоряде, мы можем по временной шкале определить время перехода из одной фазы в другую.

Для получения данных о степени влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику ходьбы необходимо произвести измерения угловых характеристик суставов нижних конечностей при ходьбе в обуви разной

изгибной жесткости. Во время проведения испытаний необходимо выполнить следующие условия:

- все образцы обуви должны иметь одинаковые конструкции верха и низа, вид, высоту подъема пяточной части, метод крепления;
- конструкция обуви должна допускать изменение ее жесткости;
- все образцы обуви должны допускать постепенное увеличение жесткости.

Для решения данной задачи была изготовлена нагружающая конструкция (рис. 3.8), которая представляет собой заготовку верха обуви из кожи, без подкладки, затянутую на виниловое полотно, к которой приклеена тонкая, плоская подошвы из полиуретана. Для того чтобы добиться постепенного увеличения жесткости конструкции нами были отобраны 8 вкладышей из различных листовых материалов и их комбинаций. Такая конструкция позволяет передать стопе заведомо известное сопротивление изгибу, при прочих неизменных параметрах.

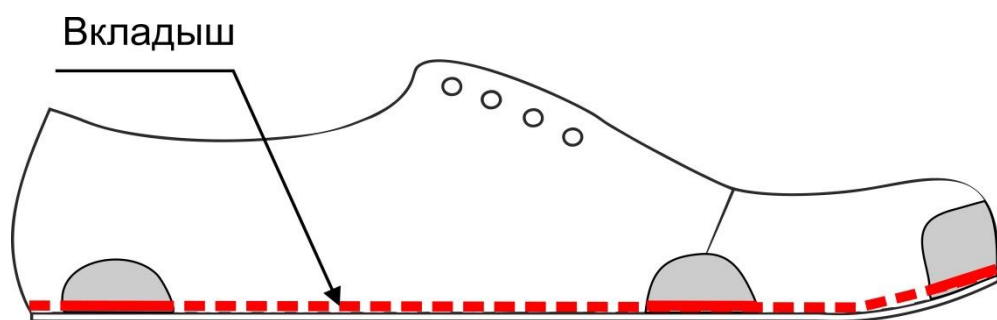


Рисунок 3.8 Схема конструкции эталона-образца обуви

Верх обуви имеет свойство деформироваться в процессе ходьбы, из-за чего положение на нем маркеров может искажаться и не соответствовать положению анатомических точек стопы. Для исключения искажения

результатов в заготовке сделаны небольшие вырезы в соответствующих местах (рис. 3.9), не приводящих к разрушению верха.

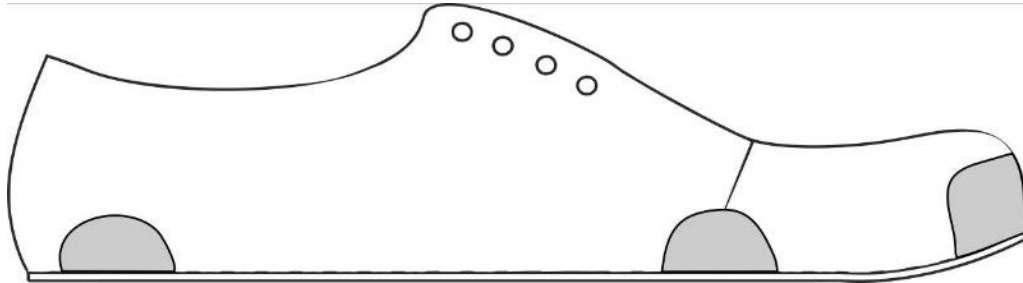


Рисунок 3.9 Схема расположения вырезов на эталоне-образце обуви

Таким образом, концепция методики кинематического анализа биомеханики ходьбы в обуви различной жесткости для получения данных предполагает наличие эталона-образца обуви, жесткость которого можно постепенно увеличивать, без существенного изменения его конструкции, а также шарнирно-стержневой модели стопы, которая представляет собой систему из двух биомеханических пар, характеризующих соединения пальцевого и геленочно-пяточного отделов и голени с геленочно-пяточным отделом, допускающей изучение двигательных актов с анализом линейных, угловых кинематических профилей отснятого видеокамерой видеоряда с частотой кадров 60 кадров в секунду.

Заметим, что вкладыши подбирались из материалов, представляющие собой неформованную пластину, соответствующую внутренней форме эталона-образца обуви. В рамках нашего исследования не ставилось задачи изучить свойства обувных материалов, представленных на рынке. Материалы подбирались с целью получения запланированной результирующей жесткости конструкции (вкладыш+ эталон-образец обуви), посредством которой стопе сообщалась дополнительная нагрузка, равная ее изгибной жесткости.

Конструкция эталона-образца имеет ряд отличий от типовых. В рамках данного эксперимента эти отличия не имеют значения, так как две различные по конструкции пары обуви, имеющие одинаковую общую изгибную жесткость, в итоге будут оказывать на стопу одинаковое сопротивление при изгибе.

Таким образом, мы имитируем присутствие на стопе обуви любой конструкции, но с разной изгибной жесткостью. Это позволяет получить зависимость биомеханических параметров непосредственно от нагрузки, сообщаемой стопе, и оценку влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику нижних конечностей. Ниже представляются результаты этих исследований.

3.3. Оценка влияния изгибной жесткости обуви на биомеханику нижних конечностей

На экспериментальном приборе МГУДТ определялась изгибная жесткость конструкции эталона-образца с вкладышами из различных материалов. Образец изгибали на 25 градусов, фиксируя усилие изгиба в Н. Результаты измерений представлены в таблице 13.

В исследованиях влияния изгибной жесткости на биомеханику нижних конечностей испытуемый должен был пройти в образце-эталоне обуви с различными вкладышами при проходе (10 шагов). Ходьба фиксировалась на видеокамеру с частотой кадров 60 кадров в секунду, для того, чтобы во время обработки видеоряда, необходимый кадр был достаточно четким. Изгибной жесткостью нагружающей конструкции эталона-образца имитируется изгибная жесткость, испытываемая стопой.

Таблица 13. Усилия изгиба Н, нагружающей конструкции эталона-образца с вкладышами из различных материалов

№	Материалы вкладышей								
	Без вкладыша	1	2	3	4	5	6	7	8
Материал (комбинация материалов)	-	Картон	Картон	ПВХ	Орг стекло + ПВХ	Орг стекло	Орг стекло	Металл. лист.+ Орг стекло	ПВХ
Толщина, мм	-	2	2,5	2	2	2	2,5	2,5	3
Изгибная жесткость конструкции (эталон- образец +вкладыш), Н	1	2	4	6	8	10	12	15	20

В наших исследованиях в качестве испытуемого выступал молодой человек, спортсмен, в возрасте 24 лет, ростом 180 см и весом 80 кг, с развитой мускулатурой нижних конечностей, без патологических отклонений в их строении.

На правой нижней конечности испытуемого, в определенных анатомических точках, необходимых для дальнейшего биомеханического анализа ходьбы размещали белые маркеры.

Расположение маркеров на ноге испытуемого показаны на рис. 3.10.

Маркер под номером 1 соответствует центру вращения бедренного сустава и располагается только с внешней стороны ноги; маркеры под номерами 2 и 3, расположенные в центрах вращения коленного и голеностопного суставов, соответственно, крепятся на внешней, и внутренней сторонах; маркеры 4,5 и 6 располагаются только с внутренней стороны. Маркер 4 определяет середину пятки, маркер 5 соответствует

центру вращения головки первой плюсневой кости, а маркер 6 располагается на большом пальце стопы.

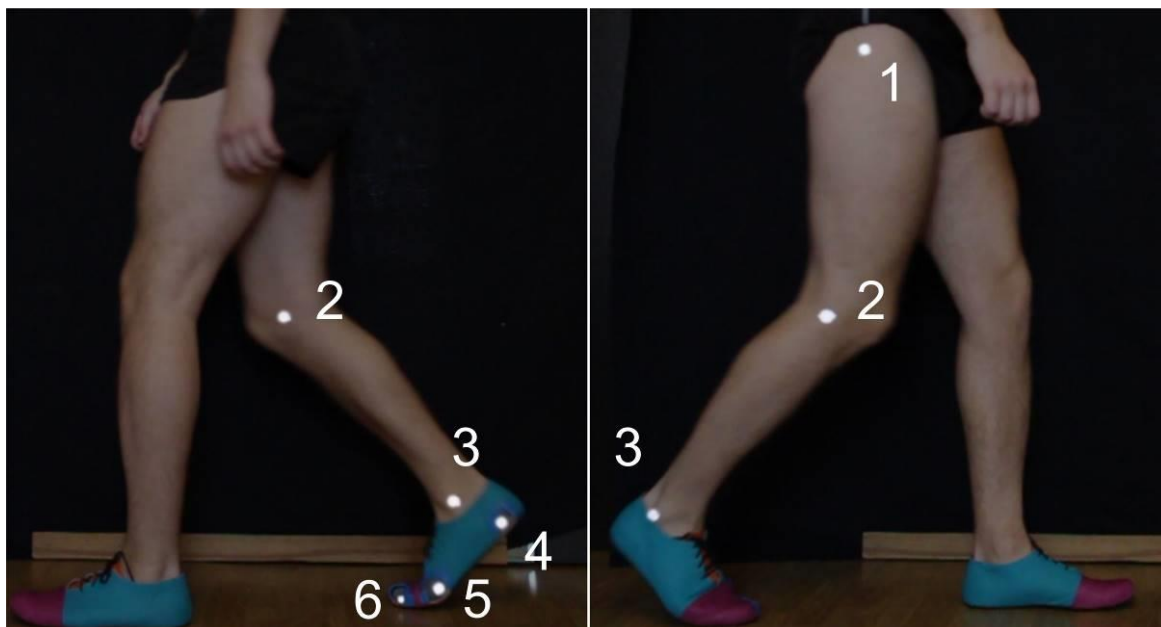


Рисунок 3.10 Расположение маркеров на ноге испытуемого:

1– точка в центре вращения тазобедренного сустава, 2 – точка в центре вращения коленного сустава, 3 – точка в центре вращения голеностопного сустава, 4 – середина пятки, 5 – головка первой плюсневой кости, 6 – середина второй фаланги большого пальца

Как упоминалось ранее, основное воздействие излишней изгибной жесткости проявляется в фазе толчка, когда стопа и обувь, следуя за стопой, достигают максимального изгиба за весь цикл шага. В связи с этим, в наших исследованиях будем рассматривать угловые характеристики суставов именно в фазе толчка, в момент максимального изгиба стопы в плюснефаланговом сочленении.

Для получения данных о величине угла изгиба в суставах в фазе толчка, соединим намеченные маркерами точки так, как это изображено на рис. 3.11.

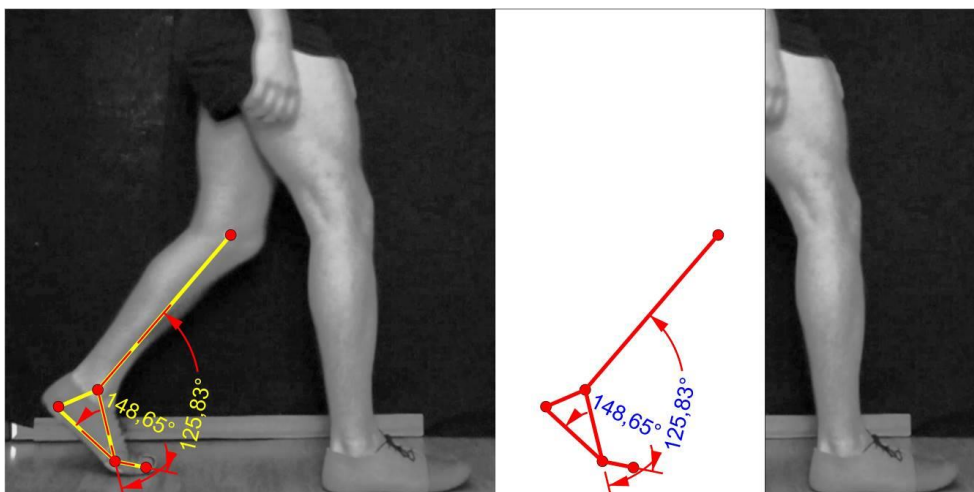


Рисунок 3.11 Шарнирно-стержневая модель ноги в фазе толчка

Таким образом, были получены шарнирно-стержневые модели стопы, по которым при помощи графического редактора определялись угловые характеристики плюснефалангового и голеностопного суставов. Аналогичным образом определялся угол изгиба коленного сустава (рис.3.12).

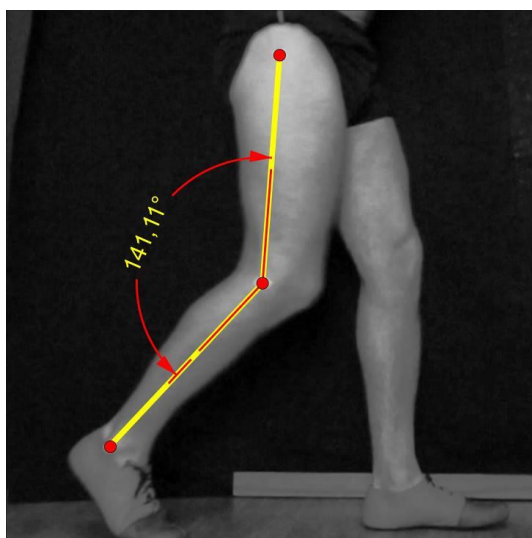


Рисунок 3.12 Угол изгиба коленного сустава в фазе толчка

Из каждого видеоряда отбиралось по десять кадров, соответствующих максимальному изгибу стопы в пучках, затем из них выбирался один ключевой кадр, на котором значение суставных углов было близко к наиболее часто повторяющемуся значению среди отобранных десяти.

Результатом исследований явился ряд кадров (см. ПРИЛОЖЕНИЕ Б,В), соответствующий моменту максимального изгиба стопы в плюснефаланговом сочленении правой ноги испытуемого (рис. 3.13-3.14). Еще раз считаем необходимым подчеркнуть, что исследования проведены для подтверждения выдвинутой в рамках настоящей работы концепции, поэтому полученные данные могут быть экстраполированы на реальные конструкции, для которых априори известны уровни изгибной жесткости.



Рисунок 3.13 Кадры, фиксирующие моменты максимального изгиба плюснефалангового сустава в обуви различной жесткости (внутренняя сторона ноги)



Рисунок 3.14 Кадры, фиксирующие моменты максимального изгиба плюснефалангового сустава в обуви различной жесткости (внешняя сторона ноги)

Обработав полученные кадры в среде графического редактора, мы получили ряд шарнирно-стержневых схем плюснефалангового, голеностопного (рис.3.15) и коленного суставов (рис. 3.16).

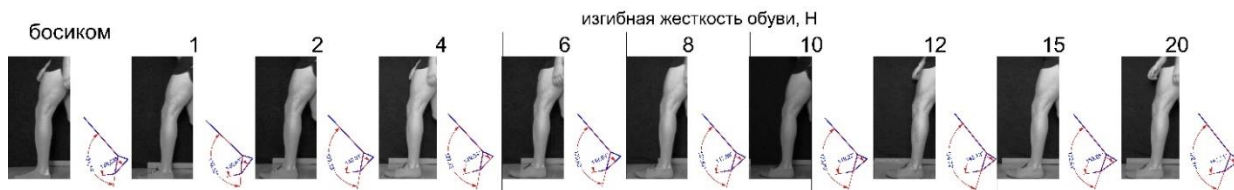


Рисунок 3.15 Шарнирно-стреловые модели плюснефалангового и голеностопного суставов (внешняя сторона ноги)

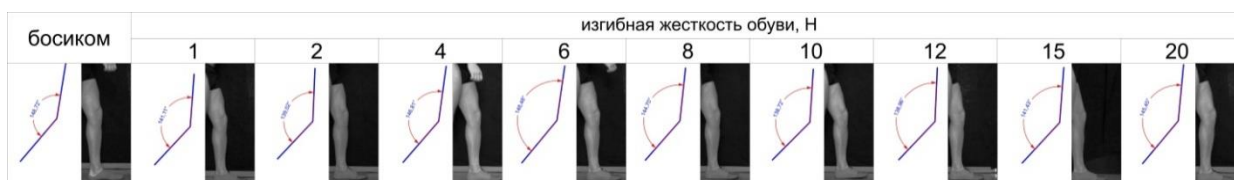


Рисунок 3.16 Шарнирно-стреловые модели коленного сустава (внешняя сторона ноги)

Данные о зависимости величины угла коленного сустава от изгибной жесткости обуви приведены в таблице 14.

Таблица 14. Зависимость величины угла коленного сустава от изгибной жесткости обуви в фазу толчка

Изгибная жесткость обуви, Н	0 (Без обуви)	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Угол изгиба коленного сустава, град.	148	142	140	147	148	145	139	139	142	145

Построим график зависимости угла изгиба коленного сустава от жесткости обуви в фазу толчка (рис 3.17).

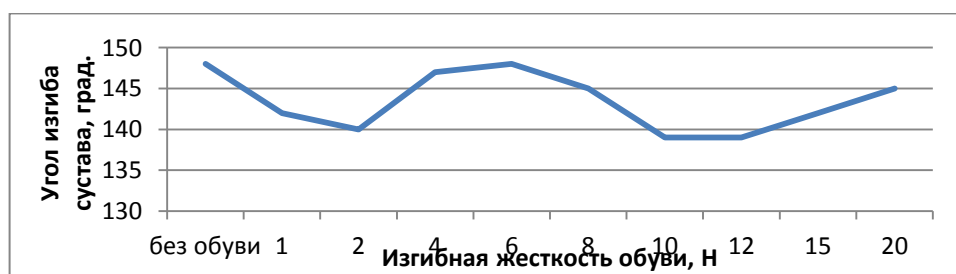


Рисунок 3.17 График зависимости величины угла коленного сустава от изгибной жесткости обуви в фазу толчка

График 3.17 и данные таблицы 14, не предоставляют возможности выявить какую-либо закономерность изменения угла колена от жесткости обуви. Угол изгиба колена в фазу толчка колеблется от 139 до 148°. Такие изменения, видимо, можно объяснить тем, что коленный сустав - один из самых крупных в организме - в момент толчка не достигает максимального изгиба, а продолжает изгибаться в фазе переноса стопы.

Рассмотрим поведение голеностопного сустава в фазу толчка (табл. 15).

Таблица 15. Зависимость величины угла голеностопного сустава от изгибной жесткости обуви в фазу толчка.

Изгибная жесткость обуви, Н	0 (Без обуви)	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Угол изгиба голеностопного сустава, град.	131	130	127	127	125	124	124	124	122	122

Построим график зависимости угла изгиба голеностопного сустава от жесткости обуви в фазу толчка (рис 3.18).



Рисунок 3.18 График зависимости величины угла голеностопного сустава от изгибной жесткости обуви в фазу толчка

На графике 3.18 и в данных таблицы 15 прослеживается тенденция уменьшения величины угла ABC (рис. 3.19) в голеностопном суставе с увеличением жесткости. Уменьшение угла свидетельствует о том, что голеностопный сустав изгибается на больший угол при ходьбе в жесткой

обуви. Голеностопный сустав связан с плюснефаланговым суставом, поскольку имеет общее звено ВС (рис. 3.19). Так как, угол коленного сустава не подвергается влиянию повышенной изгибной жесткости обуви, соответственно звено АВ движется привычным образом, в то время как положение звена ВС напрямую зависит от изгиба стопы в пучках. Эта зависимость является обратной: чем меньше изгиб стопы в пучках (точка С, рис. 3.19), тем больше вынужден изгибаться голеностопный сустав, компенсируя, таким образом, недостаточный изгиб стопы в обуви. Об этой зависимости свидетельствует и снижение угла изгиба (рис. 3.18).

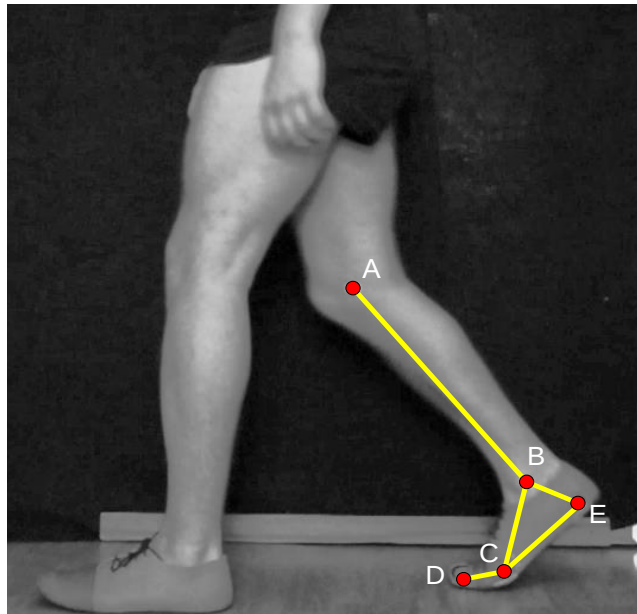


Рисунок 3.19 Состояние шарнирно-стержневой системы свободной нижней конечности в фазу толчка

Рассмотрим изменения угла изгиба в плюснефаланговом сочленении (табл. 16). Этот показатель является наиболее важным в наших исследованиях, так как плюснефаланговое сочленение находится непосредственно в обуви. Изгибная жесткость обуви имеет прямое влияние на работу плюснефалангового сустава, косвенно сказываясь на всех остальных показателях, и по своей сути являясь лишь следствием.

Таблица 16. Зависимость величины угла изгиба плюснефалангового сустава от изгибной жесткости обуви в фазу толчка

Изгибная жесткость обуви, Н	0 (Без обуви)	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Угол изгиба плюснефалангового сустава, град.	139	140	140	149	148	148	148	148	153	157

Построим график зависимости угла изгиба стопы в плюснефаланговом суставе от жесткости обуви в фазу толчка (рис. 3.20).

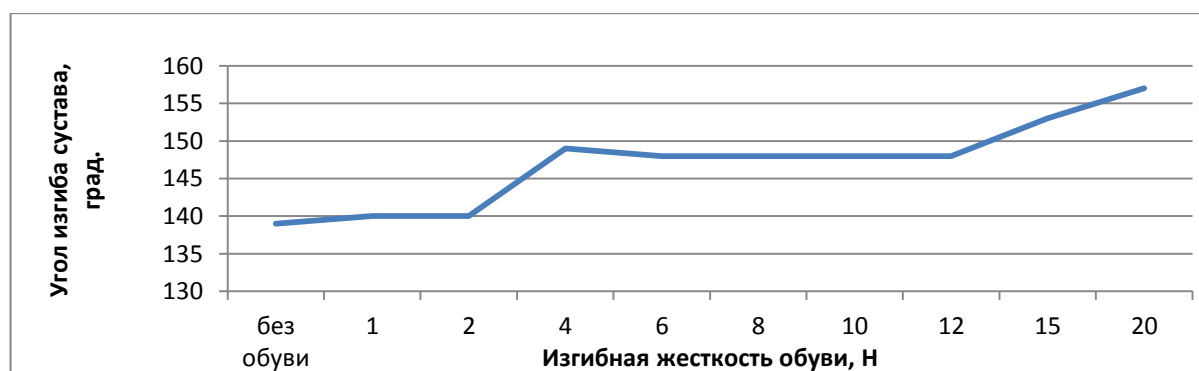


Рисунок 3.20 График зависимости величины угла плюснефалангового сустава от изгибной жесткости обуви в фазу толчка

График 3.20 наглядно демонстрирует рост величины угла изгиба в плюснефаланговом суставе, связанный с ростом изгибной жесткости конструкции обуви. Увеличение угла свидетельствует о том, что в жесткой обуви стопа не достаточно изгибается. Разница между углом изгиба в плюснефаланговом суставе без обуви и в обуви изгибной жесткостью 20 Н достигает 18°.

При опоре на всю стопу угол DCE равен 180° (рис.3.21, а). Примем угол изгиба стопы при опоре на всю стопу, равным 0 градусам, и найдем фактический изгиб стопы в момент толчка:

$$\beta = 180 - \angle DCE,$$

где: β – величина изменения угла плюснефалангового сустава с момента опоры на всю стопу до момента максимального изгиба стопы в момент толчка (рис.3.21, б),

$\angle DCE$ – угол в плюснефаланговом сочленении

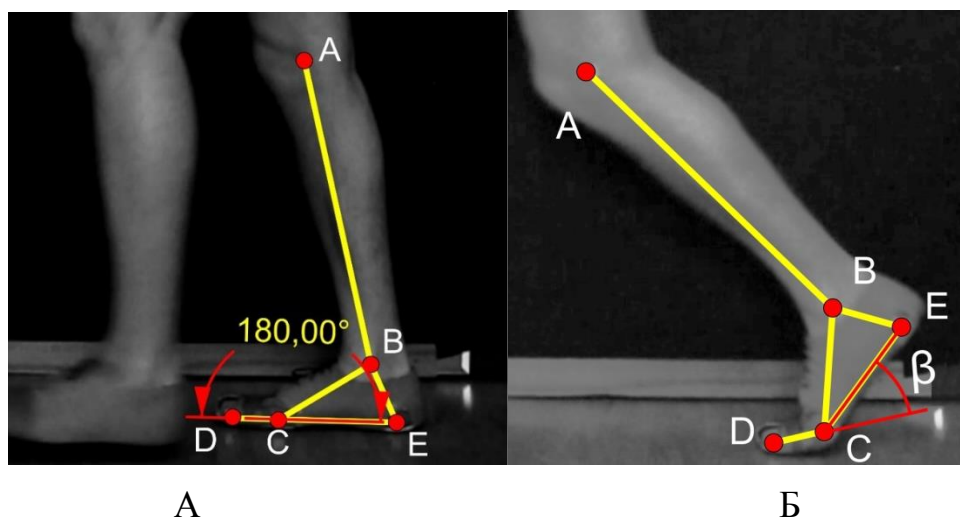


Рисунок 3.21 Схема изменения угла в плюснефаланговом суставе с момента опоры на всю стопу до момента максимального изгиба:
а – опора на всю стопу; б – фаза толчка

Таким образом, получаем максимальную величину изменения угла изгиба стопы в плюснефаланговом суставе за полный цикл шага (табл. 17).

Таблица 17. Максимальная величина изменения угла изгиба стопы в плюснефаланговом суставе за полный цикл шага в зависимости от изгибной жесткости обуви

Изгибная жесткость обуви, Н	0 (Без обуви)	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Угол изгиба плюснефалангового сустава, град	41	40	40	31	32	32	32	32	27	23

Установлено, что при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 20 Н, угол изгиба в плюснефаланговом суставе уменьшается на 42%, практически в 2

раза, по сравнению с ходьбой без обуви. Только обувь с изгибной жесткостью 1 и 2 Н не оказывает значительного влияния на угловые характеристики в плюснефаланговом сочленении. В диапазоне жесткости от 4 до 12 Н наблюдаем практически одинаковые значения угла изгиба в плюснефаланговом суставе.

Совместим графики изменения углов в голеностопном и плюснефаланговом суставах (рис.3.22).

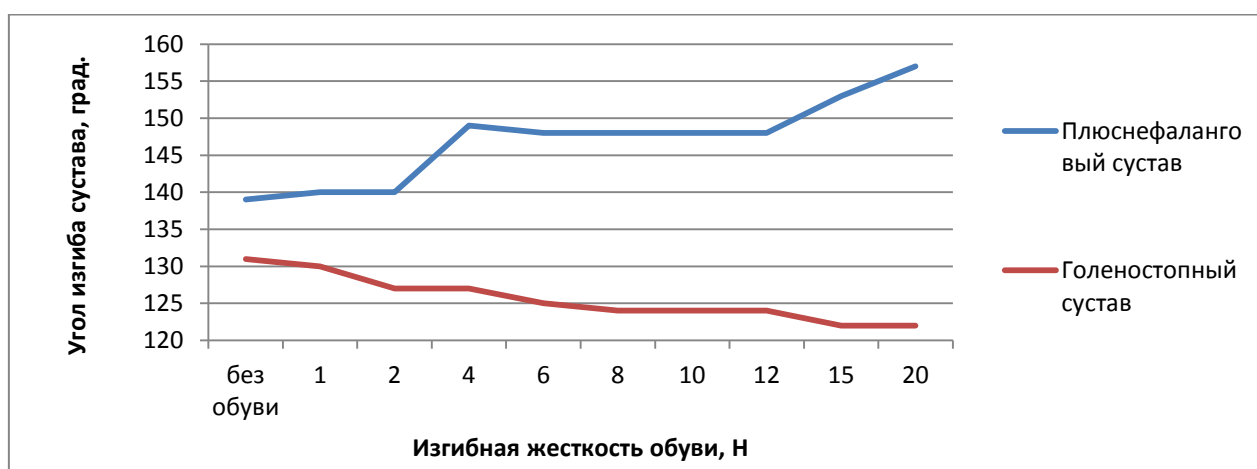


Рисунок 3.22 График изменения величины угла голеностопного и плюснефалангового суставов от изгибной жесткости обуви в фазу толчка

На рисунке. 3.22 мы наблюдаем обратную зависимость угловых характеристик в плюснефаланговом и голеностопном суставах. Это еще раз подтверждает, что голеностопный сустав компенсирует недостаточный изгиб плюснефалангового сустава при ходьбе в жесткой обуви. Однако, как видно из графика 3.22, компенсация происходит не полностью, а лишь частично. Недостаточный изгиб в плюснефаланговом суставе вызывает небольшую задержку перед толчком от опоры, которая визуальнo проявляется в нарушении плавности походки.

Кроме угловых характеристик видеоряд, фиксирующий полный цикл шага, позволяет рассмотреть также линейные перемещения испытуемого и временные характеристики.

Определим время, необходимое стопе для совершения максимального изгиба и переката через передний отдел в обуви различной жесткости. Фаза переката через передний отдел начинается с момента отрыва пятки от опоры, и заканчивается в момент отрыва носочной части. Покадровый анализ по шкале времени видеоряда позволяет определить момент начала и конца рассматриваемой фазы (рис 3.23).

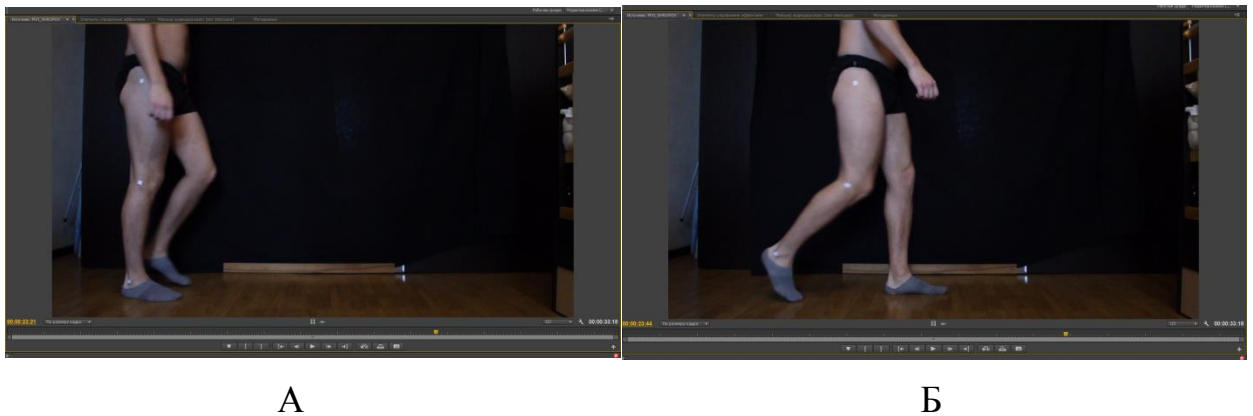


Рисунок 3.23 Рабочая область видео редактора:
А – начало фазы переката; Б – конец фазы переката

В таблице 18 представлено полученное в результате покадрового анализа видеоряда время, необходимое для максимального изгиба стопы в пучках и завершения фазы переката стопы через передний отдел в зависимости от изгибной жесткости обуви.

Значения, представленные в таблице 18, не имеют существенных различий, связанных с изгибной жесткостью обуви.

Построим график изменения временных характеристик ходьбы от изгибной жесткости обуви (рис. 3.24).

Таблица 18. Временные характеристики ходьбы в зависимости от изгибной жесткости обуви

Изгибная жесткость обуви, Н	0 (Без обуви)	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Время, необходимое для максимального изгиба, мс	18	13	12	13	12	10	12	13	13	12
Время, необходимое для завершения фазы переката, мс	20	16	15	16	15	13	15	16	17	16

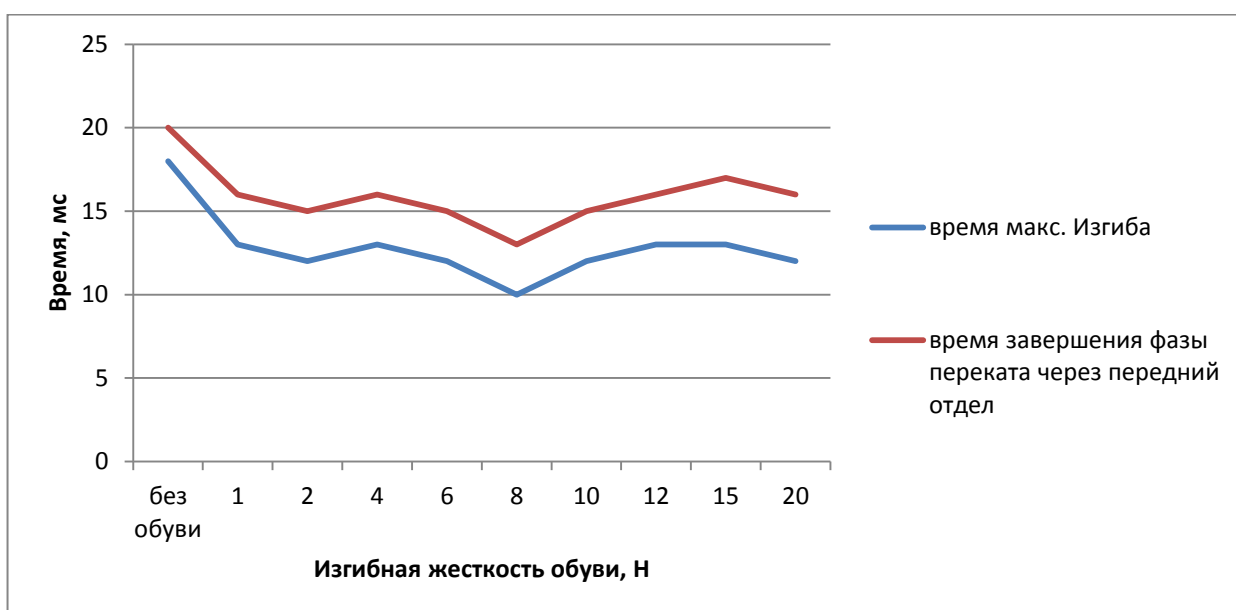


Рисунок 3.24 График изменения временных характеристик ходьбы от изгибной жесткости обуви

Выявить какие-либо закономерности изменения временных характеристик не удалось. Это объясняется тем, что фаза переката стопы через передний отдел длится лишь 20 миллисекунд, при этом от момента отрыва пятки до максимального изгиба стопы проходит 10-13 миллисекунд.

Разницу в 1-2 миллисекунды при ходьбе в обуви различной жесткости нельзя считать существенной, только при ходьбе без обуви наблюдается существенная продолжительность фазы переката через передний отдел стопы.

Рассмотрим длину двойного шага испытуемого (табл. 19), так как ее можно измерить, выбрав кадры из каждого видеоряда, соответствующие двум соседним фазам опоры правой ноги на всю стопу (рис.3.25), и измерить расстояние между ними (см. ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

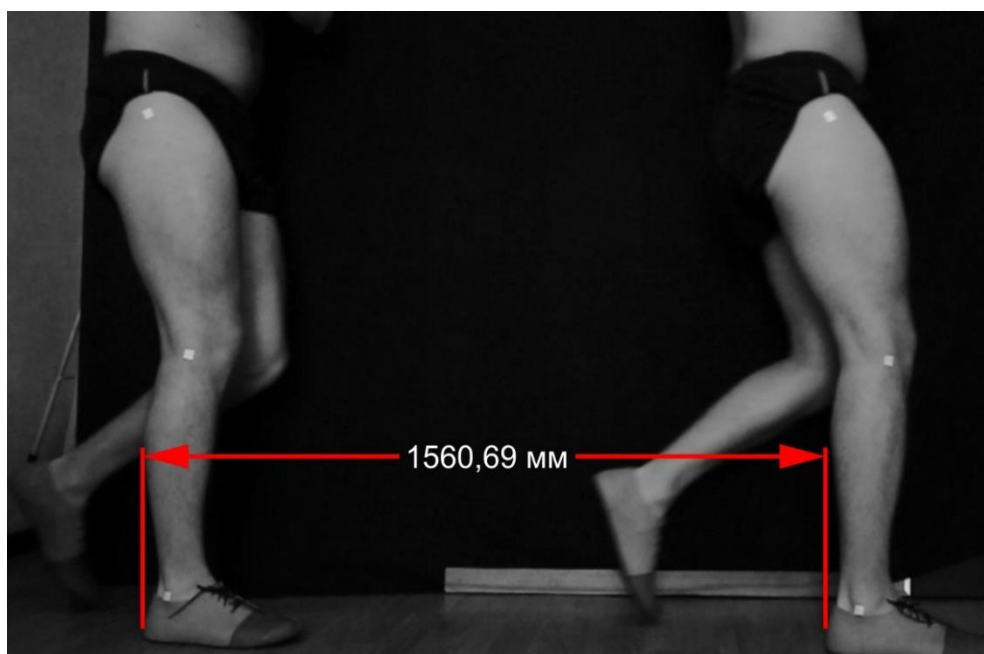


Рисунок 3.25 Схема определения длины двойного шага

Таблица 19. Длины двойных шагов в обуви различной жесткости

Изгибная жесткость обуви, Н	0 (Без обуви)	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Длина двойного шага, см	166	155	154	157	160	156	152	144	146	146

Построим график зависимости расстояния, преодолеваемого за двойной шаг, от изгибной жесткости обуви (рис. 3.26).

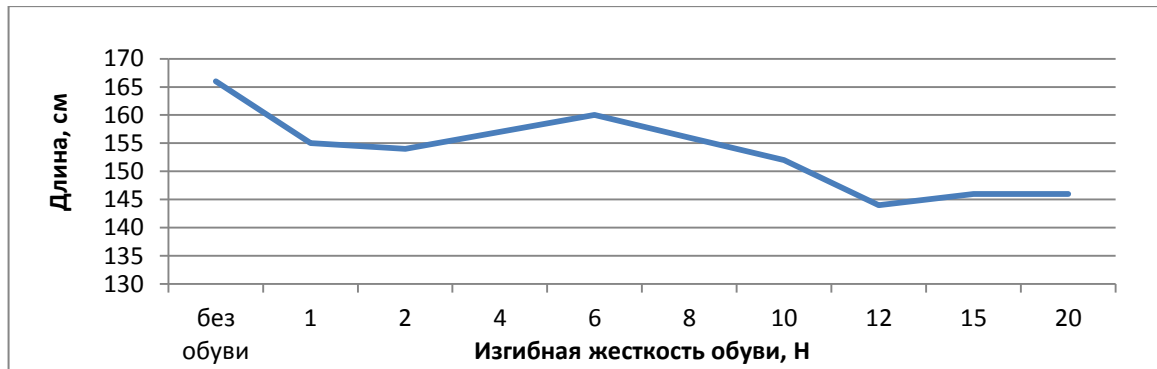


Рисунок 3.26 График зависимости длины двойного шага от жесткости обуви

На графике (рис. 3.26) и в данных таблицы 19 прослеживается тенденция уменьшения длины двойного шага с ростом жесткости обуви. Вероятнее всего, причиной этому является недостаточный изгиб стопы в пучках. В конце фазы переката через передний отдел наступает момент отталкивания от поверхности, масса тела тем временем переносится на вторую ногу и тело идущего движется вперед. Как нами выяснилось выше, стопа изгибается на больший угол при ходьбе в маложесткой обуви. Больший изгиб стопы позволяет произвести более сильный и акцентированный толчок и соответственно перенести тело вперед на большее расстояние. В жесткой обуви организм и стопа, в частности, затрачивая дополнительные усилия на изгиб конструкции обуви, изгибается на меньший угол, из-за чего толчок от поверхности получается менее сильным и амплитудным.

Наибольшая длина двойного шага наблюдается при ходьбе без обуви. В обуви жесткостью 1-10 Н расстояние, проходимое за двойной шаг уменьшается на 6-10 см. Причиной этому, вероятно, является то, что верх обуви плотно прилегает к стопе. При толчке обхват стопы в пучках увеличивается, препятствующий этому верх обуви не дает стопе совершить отталкивание, аналогичное отталкиванию при ходьбе без обуви. Существенное снижение длины двойного шага наблюдается в обуви жёсткостью более 12 Н, величина которого достигает 20-22 см по сравнению

с ходьбой без обуви и 9-11 см по сравнению с ходьбой в обуви жесткостью 1Н.

При кратковременном воздействии на организм человека повышенная изгибная жесткость не окажет сильного воздействия, поэтому подсчитаем ее влияние в течение дня.

Допустим, например, что ежедневно испытуемый проходит путь от дома до общественного транспорта, равный приблизительно 700 метрам, далее от общественного транспорта до места работы 1600 метров, а в вечернее время повторяет этот путь в обратном порядке. Таким образом, ежедневно испытуемый проходит 4600 метров. Это значение является минимальным расстоянием, которое испытуемый преодолевает ежедневно, без учета прочих непредвиденных передвижений. Рассчитаем минимальное количество двойных шагов, необходимое для преодоления этого расстояния (табл. 20).

Таблица 20. Минимальное количество шагов, совершаемое испытуемым в течение дня

Изгибная жесткость обуви, Н	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Количество шагов, необходимое для преодоления расстояния в 4600 м	5932	5972	5856	5748	5896	6052	6388	6300	6300

С учетом снижения длины шага при увеличении изгибной жесткости обуви, логично предположить, что для преодоления одного и того же расстояния в обуви большой жесткости на изгиб испытуемому потребуется большее количество шагов.

За каждый шаг обувь изгибается один раз (рис 3.27.). На этот изгиб организм затрачивает дополнительное усилие, равное усилию для изгибания обуви.



Рисунок 3.27 Изгибы стопы в пучках за два шага

Рассчитаем, насколько возрастут ежедневные энергозатраты испытуемого с увеличением изгибной жесткости обуви. Для этого умножим количество шагов, совершенных за день, на усилие, затрачиваемое на изгиб обуви за один шаг (табл. 21).

Таблица 21. Суточные дополнительные энергозатраты на изгиб обуви различной жесткости

Изгибная жесткость обуви, Н	1	2	4	6	8	10	12	15	20
Количество шагов необходимое для преодоления расстояния в 4600 м	5932	5972	5856	5748	5896	6052	6388	6300	6300
Дневные энергозатраты организма на изгиб обуви различной жесткости, Н	5932	11944	23424	34488	47168	60520	76656	94500	126000

По данным таблицы 21 видно, что в обуви жесткостью 1 Н за сутки испытуемый затратит на 5932 Н больше, чем при ходьбе без обуви, при этом данная цифра значительно возрастает с ростом изгибной жесткости обувной

конструкции. Построим график зависимости силовых затрат организма на преодоление изгибной жесткости обуви.

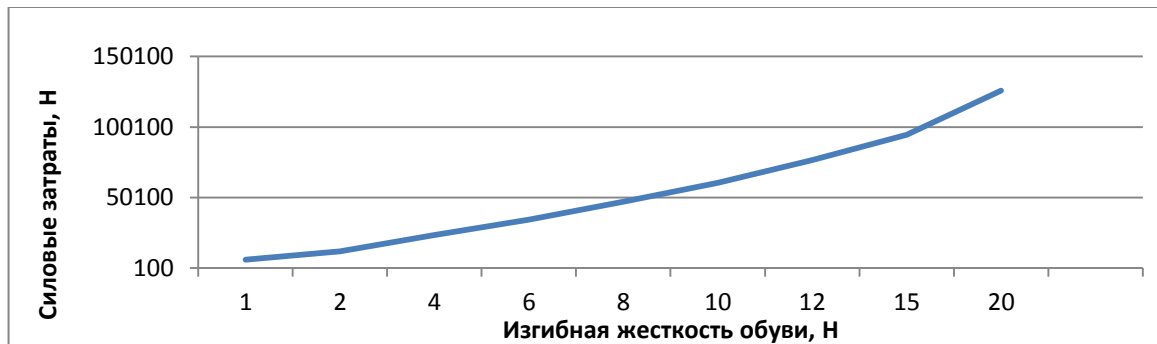


Рисунок 3.28 График зависимости силовых затрат организма на преодоление изгибной жесткости обуви

График наглядно демонстрирует увеличение дополнительных затрат организма на совершение шага с ростом изгибной жесткости обуви. В наиболее жесткой обуви стопа носчика испытает 126000Н дополнительной нагрузки только за один день, что можно приравнять к подъему 12600 кг/с за счет работы мышц стопы и голени. Такие ежедневные энергозатраты вызывают утомляемость, нарушения в работе мышц и суставов.

Очевидное влияние даже минимальной изгибной жесткости на организм подтверждает необходимость тщательного контроля данного показателя.

Таким образом, проведенные нами исследования привели к решению главной задачи: показать степень влияния изгибной жесткости на биомеханические показатели нижних конечностей, используя предложенную концепцию. Более масштабные исследования на основе предложенной в работе концепции, в перспективе позволят установить объективный уровень изгибной жесткости обуви и скорректировать показатели действующих нормативов.

Выводы по третьей главе

1. Предложена концепция методики кинематического анализа биомеханики ходьбы в обуви различной жесткости для получения данных предполагает наличие эталона-образца обуви, жесткость которого можно постепенно увеличивать, без существенного изменения его конструкции, а также шарнирно-стержневой модели стопы, представляющая собой систему из двух биомеханических пар, характеризующих соединения пальцевого и геленочно-пяточного отделов и голени с геленочно-пяточным отделом, допускающей изучение двигательных актов с анализом линейных, угловых кинематических профилей отснятого видеокамерой видеоряда с частотой кадров 60 кадров в секунду.

1. Разработана конструкция эталона-образца обуви, позволяющая регулировать собственно жесткость обуви за счет вкладышей из различных материалов без изменения прочих характеристик конструкции.

2. Установлено, что даже минимальное значение изгибной жесткости обуви оказывает влияние на биомеханику нижних конечностей, в частности, на угловые изменения в суставах, и, как следствие, на линейных показателях шага. Показано, что изгибная жесткость обуви оказывает непосредственное влияние на угловые характеристики плюснефалангового и голеностопного суставов, при этом анализ угловых изменений в коленном суставе не выявил прямой зависимости от изгибной жесткости обуви.

3. Учитывая тот факт, что в испытаниях принимал участие физически развитый юноша, имеющий превосходство по силовым показателям над среднестатистическим человеком, можно сказать, что степень влияния изгибной жесткости на организм людей среднего телосложения и ниже, будет только усугубляться. Это доказывает особенную важность влияния изгибной жесткости обуви на детский организм, как наиболее уязвимый к

внешним воздействиям, и не подготовленный к преодолению больших физических нагрузок.

6. Проведен расчет дополнительных суточных энергозатрат на преодоление изгибной жесткости обуви, который наглядно демонстрирует воздействие жесткой обуви на физическое состояние человека, выражающееся в нагрузке на мышцы, суставы и сухожилия нижних конечностей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проанализировав теоретические основы оценки жесткости обуви при изгибе, выявлено, что жесткость готовой обуви может быть спрогнозирована на этапе проектирования, а результаты расчетов хотя и не отображают реальной изгибной жесткости готовой обуви, но могут составить основу условной постоянно хранимой информации в САПР обуви. Показано, что стендовые методы оценки жесткости обуви не утратили своей актуальности

2. Выявлено, что в существующих методах и приспособлениях для определения изгибной жесткости при измерении жесткости обуви осуществляют подъем либо пяточной части при неподвижном положении носочно-пучковой; либо, наоборот, поднимают носочную часть обуви при неподвижном положении пяточно-геленочной. Установлено, что наиболее распространённые приспособления для определения изгибной жесткости обуви значительно устарели и требуют модернизации.

4. Разработана конструкция экспериментального прибора для определения изгибной жесткости обуви, позволяющая исключить ряд недостатков существующих приспособлений жесткости обуви, при точности измерений 0,04 % .

Конструкция экспериментального прибора защищена заявкой на ноу-хау: №22-20-2016 КТ от 28.10.2016 г. «Приспособление для определения изгибной жесткости обуви». Реализованная методика измерений изгибной жесткости обуви, ее узлов низа и отдельных деталей последних согласуется с реальными процессами силового взаимодействия в системе «стопа-обувь».

5. Показано, что из всех возможных факторов, оказывающих влияние на изгибную жесткость обуви, наиболее значимыми являются толщина и вид материала деталей, составляющих систему низа, а максимальное воздействие изгибной жесткости на стопу происходит в фазе переката через передний отдел, достигая своего пика в момент отталкивания от опоры.

Экспериментально в ходе оценки влияния отдельных элементов конструкции обуви на ее изгибную жесткость выявлено, что жесткость низа составляют 83-95 % от общей изгибной жесткости обуви, из которой 63-79 % приходится на подошву.

6. Сформулированы рекомендации по регулированию показателя изгибной жесткости, основные из которых сводятся к следующему: для исключения излишней изгибной жесткости готовой обуви необходимо уделять внимание рациональному подбору материалов, а также форме и конструкции подошвы: чем ближе по своей форме она будет к форме пластины, тем меньше будет ее жесткость.

7. Предложена концепция методики кинематического анализа биомеханики ходьбы в обуви различной жесткости. Для получения данных предполагается наличие эталона-образца обуви, жесткость которого можно постепенно увеличивать, без существенного изменения его конструкции, а также шарнирно-стержневой модели стопы, представляющей собой систему из двух биомеханических пар, характеризующих соединения пальцевого и геленочно-пяточного отделов и голени с геленочно-пяточным отделом, допускающей изучение двигательных актов с анализом линейных, угловых кинематических профилей снятых видеокамерой видеорядов с частотой кадров 60 кадров в секунду.

8. Разработана конструкция эталона-образца обуви, позволяющая регулировать собственно жесткость обуви за счет вкладышей из различных материалов, без изменения прочих характеристик конструкции. Выявлено, что изгибная жесткость обуви оказывает непосредственное влияние на угловые характеристики в плюснефаланговом и голеностопном суставах, при этом анализ угловых изменений в коленном суставе не показал их прямой зависимости от изгибной жесткости обуви.

9. Проведен экспериментально-исследовательский расчет дополнительных суточных энергозатрат на преодоление изгибной жесткости

обуви, который наглядно демонстрирует количественное воздействие жесткой обуви на физическое состояние человека, выражающееся в нагрузке на мышцы, суставы и сухожилия нижних конечностей. Учитывая, что в испытаниях принимал участие физически развитый юноша, превосходящий по силовым показателям среднестатистического человека, можно предположить, что степень влияния изгибной жесткости на организм людей среднего телосложения и ниже, будет только усугубляться. Это доказывает особую важность влияния изгибной жесткости обуви на детский организм, как наиболее уязвимый к внешним воздействиям, и не подготовленный к преодолению больших физических нагрузок.

10. Выполненные исследования имеют экономический и социальный эффекты, заключающиеся в повышении качества продукции по показателю «жесткость обуви при изгибе» и обеспечении потребителей здоровьесберегающими изделиями широкого ассортимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. N 537 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года". [Правовая консультационная служба - <http://www.zakonprost.ru/>] URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/142776/print> (дата обращения: 14/ сентября/ 2016)
2. Приказ Минпромторга РФ от 24.09.2009 n 853 «Об утверждении стратегии развития легкой промышленности России на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации». [Законодательная база Российской Федерации - <http://zakonbase.ru>] URL: <http://zakonbase.ru/content/base/144385> (дата обращения: 5/ сентября/ 2016)
3. Овакимян Б. Р. Стратегия развития легкой промышленности России на современном этапе: дис. ... кандидата экономических наук : 08.00.05. / Б. Р. Овакимян. – М, 2010 – 131с.
4. Петюль И. А. Квалиметрия: конспект лекций / И. А. Петюль, Л. Н. Шеверина: УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – 124 с.
5. Зурабян К. Е. Материаловедение в производстве изделий лёгкой промышленности: учебник для ВУЗов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, Я. И. Пустыльник. – Москва : Shoe–Icons, 2003. – 384 с.
6. Лиокумович В. Х. О классификации свойств обуви и оценке ее качества / В. Х. Лиокумович, Г. Г. Азгальдов // Кожевенно-обувная промышленность. – 1975. – № 1. – с.14–16.
7. Беляева А. Л. Классификация свойств обуви / А. Л. Беляева, Т. Т. Фомина // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 4. – с. 20–23.
8. Рохлин, В. П. Классификация показателей качества обуви / В. П. Рохлин, Т. Г. Ермакова, Л. Н. Батавина, Т. Т. Фомина // Кожевенно-обувная промышленность. – 1986. – № 5. – с. 16–18.

9. Вуштей О. А. К вопросу о качестве обуви / О. А. Вуштей // Техническое регулирование : базовая основа качества материалов, товаров и услуг : Международный сборник научных трудов / ГОУ ВПО «ЮРГУЭС» ; редкол.: В. Т. Прохоров [и др.]. – Шахты, 2010. – с. 83–88.
10. Костровская, Т. В. Разработка методики автоматизированной оценки комфортности обуви по показателям физико-механических свойств пакетов материалов верха : дис. ... кандидата технических наук : 05.19.06 / Т. В. Костровская.– М., 2006. – 160 л.
11. Фукин, В. А. О комплексе свойств, определяющих комфортность обуви / В. А. Фукин, Д. О. Сакулина, В. В. Костылева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1994. – № 1 – 2. – с. 37 – 38.
12. Горбачик, В. Е. Комплексная оценка уровня качества обуви / В. Е. Горбачик, А. И. Линник. // Обувная промышленность. Обзорная информация. Выпуск 2. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1991. – 60 с.
13. Прокофьева, Т. Н. Обувь и ее качество / Т. Н. Прокофьева // Кожевенно-обувная промышленность. - 1999. - №6. - с. 10-12
14. Кавказов Ю.Л. Гигиенические свойства обуви. Научныетруды / МТИЛП, 1962, вып. 22, с. 193-216.
15. Ченцова, К. И. Стопа и рациональная обувь / К. И. Ченцова. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Легкая индустрия, 1974 – 216 с.
16. Краснов Б.Я. Материалы для изделий из кожи. - М., «Легпромбытиздат», 1990 – 192 с.
17. Материаловедение изделий из кожи. Учебник/ Зыбин Ю.П. и др. М.: Легкая индустрия, 1968, 384 с.
18. Любич М.Г. Свойства обуви. М.: Легкая индустрия , 1969 - 254 с.
19. Бриш П. Разработка и обоснование конструктивных параметров низа обуви для активного отдыха. дис. ... канд. технических наук. / П. Бриш. - М., 1989 - 144 с.

20. Хоменкова Н.Г., Горшков С.И. Физиологическое обоснование необходимости изготовления маложесткой обуви: научно-исследовательские труды ЦНИИКП/ Н.Г. Хоменкова, С.И., Горшков - М, 1957, вып.28, с.21-37

21. Лыба, В. П. Расчет рациональной внутренней формы обуви на основе силового взаимодействия стопы с обувью: дис. ... кандидата технических наук/ В. П. Лыба. - М.: МТИЛП, 1989 - 156 с.

22. Румянцева Е. Г. Место и роль эргономических свойств в общем комплексе показателей качества обуви: Учебное пособие / Е. Г. Румянцева, В. В. Костылева – М.: ИИЦ МГУДТ, 2010. – 41 с.

23. Шагапова И.М., Зыбин Ю.П. Роль стельки в формировании жесткости обуви при изгибе // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 1966. - № 5, с. 81-89.

24. Хоменкова Н.Г. Факторы , влияющие на гибкость рантовой обуви . / «Легкая промышленность», № 8,1955 – с. 30 - 31.

25. Кедров Л.В. и др. Гибкая обувь. М., ЦНИИТЭИлегпром , 1962 25 с.

26. Зыбин Ю.П. О жесткости низа обуви и методе ее определения. // Кожевенно-обувная промышленность. – 1973. – № 4, с. 39-41.

27. Платунов К.М., Бахтиаров И. Х. Работа подошвы в обуви. / Сборник трудов ЦНИИКП, М.: т. 2, вып. I; 1935, с. 200 – 319 .

28. Цветков В.Н. Влияние влажности жесткой кожи на жесткость и модуль упругости . I Сборник трудов МТИЛП вып. 21, с.122 – 143.

29. Цветков В.Н., Моисеев С.И. Изгибная жесткость низа обуви клеевого крепления при многократном изгибе. / Сборник трудов МТИЛП вып. 17, 1961, с. 84 – 110.

30. Цветков В. Н., Рыбчинский В Д. Деформации жесткой кожи при изменении ее влажности . / Сборник трудов МТИЛП вып. 17 ,с. 53 - 58.

31. Цветков В. Н. Изгибная жесткость подошвенных и стелечных материалов. / Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности, №23, 1962 – с. 82-99

32. Цветков В.Н., Лощакова Л. А. Модуль упругости жестких кож различной влажности. / Сборник трудов МТИЛП вып. 17 , 1960.
33. Цветков В.Н. Нагружение на низ обуви в процессе носки. / Сборник трудов МТИЛП, № 10, 1958 – с. 130-99
34. Цветков В.Н. О жесткости кожаных деталей низа обуви. / Известия ВУЗов, Технология легкой промышленности № 14, 1962.
35. Смелкова С.В., Горбачик В.Е. Оценка физиологических свойств низа детской обуви. Конструирование и технология изделий из кожи. Сб. научных трудов. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1990 г., с. 84 -89.
36. Бабаев Э.А., Фарниева О.В. Исследование конструкции низа женской обуви // Кожевенно-обувная промышленность. – 1977. - N 8, с. 58-60.
37. Белова Л. А. Формирование эргономических показателей обуви для детей / Л. А. Белова, М. В. Бекк, Т. П. Герасимович // VII Дулатовские чтения: материалы международной научно-практической конференции / Тараз университет. – Тараз, 2012. – С. 46–48.
38. Макарова А.П., Давыдова В.П., Кедрин Е.А. Влияние жесткости низа обуви при изгибе на перекал стопы при ходьбе// Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности, 1968, №4, с.84-88
39. Макарова А.П. Жесткость обуви при изгибе и ее влияние на основные функции стопы при ходьбе: дис. ... кандидата технических наук/ А.П. Макарова. - М.: 1989 - 143 с.
40. Максимова Т.С., Кобылкин А.Ф. Исследование жесткости обуви // Легкая промышленность, 1953, №9, с.21-26
41. Шагапова И.М., Зыбин Ю.П. Роль отдельных деталей низа в формировании жесткости обуви // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 1966, №5, с.81-89

42. Павлова Е.В. Разработка и совершенствование методов проектирования деталей низа обуви и исследование их свойств: дис. ... кандидата технических наук/ Е.В. Павлова - СПб.: 1989 - 143 с.

43. Исследование напряжений в клеевом слое системы низа обуви при изгибе / Александров С.П. Изв. Вузов. Технология легкой промышленности, 1991.№2, с.51-56.

44. Концепция проектирования низа обуви, обеспечивающего опорную комфортность стопы / Александров С.П., Паршина О.В. Кожев.-обув. пром-ть., 1995.№1,2, с.44-48

45. Шагапова И.М., Зыбин Ю.П. Механика изгиба низа обуви // Кожевенно-обувная промышленность. — 1969. — № 11, с. 32-37

46. Шагапова И.М. Определение изгибающего момента для сращенных систем низа обуви // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 1972.-№, с. 81-85.

47. Комиссаров А. Г. Измерение жесткости малоразмерной и низкокаблучной обуви при изгибе / А. Г. Комиссаров, А. С. Шварц // Кожевенно-обувная промышленность. – 1989. – № 8, с. 31–33.

48. Горбачик В. Е., Конструкторско-технологические решения повышения эргономических свойств обуви: диссертация на соискание ученой степени д-ра техн.наук / В. Е. Горбачик. - Витебск., 1998. - 442 с

49. ГОСТ 15467-79: «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения»

50. Милюшкова Ю.В., Рациональная конструкция детской обуви с улучшенными эргономическими свойствами: дис. ... кандидата технических наук / Ю. В. Милюшкова. - Витебск., 2015. - 263 с

51. РД 17–06–152–89 «Обувь. Номенклатура показателей качества»

52. Горбачик В. Е. Комплексная оценка уровня качества обуви / В. Е. Горбачик, А. И. Линник. // Обувная промышленность. Обзорная информация. Выпуск 2. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1991. – 60 с.

53. Румянцева Е. Г., Разработка и обоснование конструкций обуви по показателям ортопедического статуса: дис. ... кандидата технических наук / Е. Г. Румянцева. - М, 2011. - 193 с

54. Линник А. И. Разработка методики расчета распорной жесткости верха обуви: дис. ... кандидата технических наук / А. И. Линник— М.: - 1997 - 315 с.

55. ГОСТ 9718-88 «Обувь, Метод определения гибкости»

56. ГОСТ 14226-80 «Обувь. Нормы гибкости»

57. Ковалев А. Л. Разработка рациональной конструкции низа детской обуви на основе изучения биомеханики стопы: дис. ... кандидата технических наук / А. Л. Ковалев – М.: МТИЛП, 1984 – 267с.

58. Цветков В. Н. Изгибная жесткость конструкции низа обуви/ В. Н. Цветков. – М.: Научные труды МТИЛП сб. №13, 1958, с.45 – 72.

59. Зыбин Ю.П., Ключникова В.М., Кочеткова Т. С, Фукин В.А. Конструирование изделий из кожи. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 264 с.

60. Горбачик В.Е. Нормативы толщины и жесткости для деталей низа детской обуви. сб. Научные труды МТИЛП , 1965. — с.31.

61. Фукин В. А., Калита А. Н. Технология изделий из кожи.: Учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 1 . М.: Легпромбытиздат, 1988 .

62. Костылева В.В., Синева О.В., Кочетков К.С. «Теоретические основы контроля изгибной жесткости обуви на этапе проектирования», Перспективы развития науки и образования //Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 29 ноября 2013 г. В 7 частях. Часть I. Мин-во обр. и науки - М.: «АР-Консалт», 2013 г. с. 39-44

63. Цветков В. Н. Изгибная жесткость низа обуви клеевого метода крепления / В. Н. Цветков, Е.Б. Быховский. – Москва: Научные труды МТИЛП сб. № 14, 1959, с. 94 – 107.

64. Хоменкова Н. Г. Определение жесткости обуви. // Сб. трудов ЦНИИКП. – М., 1957, № 27. С. 66–75

65. Ковалев А.Л., Фукин В.А., Горбачик В.Е. Динамика изгиба деталей низа обуви при ходьбе // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 1984. — № 1. — с. 67-70.

66. Костылева В.В., Синева О.В., Кочетков К.С. Динамика изгиба обуви в процессе ходьбы // Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается». Часть 1. – М.:МГУДТ, 2014. с.117 – 122

67. Калита А. Н., Кочеткова Т. С., Зыбин Ю. П. О деформации стопы в плюснефаланговом сочленении при подъеме пятки // Известия вузов. Технология легкой промышленности. —1963. — № 2. — с.75-82.

68. Любич М. Г. и др., Разработка методики анализа обуви, Отчёт ЦНИИКП, 1936.

69. Авилов А.А., Бружес А.П., Гучкова Н.Н. Жесткость подошвы, как фактор утомления при ходьбе / Научные труды ЦНИИКЗ. 1951. – Сборник №3. – с. 50 – 74.

70. Горбачик В. Е. Основы анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханики : учебное пособие / В. Е. Горбачик. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 125 с.

71. Бабайцева Н.С. Морфофункциональное состояние стопы школьников 7-14 лет с учетом типов телосложения и функциональной нагрузки: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. мед. Наук / Бабайцева Н.– Волгоград: ВолгГМУ , 2007. — 23 с.

72. Есаков С.А. Возрастная анатомия и физиология (курс лекций) /УдГУ. Ижевск, 2010. — 195 с.

73. ГОСТ 19116-2005: «Модельная обувь»

74. ГОСТ 939-94: «Кожа для верха обуви. Технические условия»

75. Ключникова В.М. и др. Практикум по конструированию изделий из кожи.: Учебное пособие для студентов вузов. / Ключникова В.М , Кочеткова Т.С , Калита А.Н. - М. . Легпромбытиздат , 1985 . – 336 с.

76. Тимошенко С. Н. Курс теории упругости. / " Наука " , 1972 - 544 с.

77 .Технология производства обуви Ч.6: Сборка и отделка обуви, Раздел 1: Клеевые методы крепления.- М.: ЦНИИТЭИлегпром,1987г.

78. Костылева Ю.В. Разработка программно-методического комплекса расчета гигиенических свойств обуви/ Ю.В. Костылева. – Москва: дис.... канд. техн. наук.:МГУДТ, 2003. –179 с.

79. Лукьянова А. Н. Исследование условий приформовываемости деталей низа обуви: дис. ... кандидата технических наук / А. Н Лукьянова – М., 2004 – 162 с.

80. Родионова Ю. В. Разработка конструкторско-технологических решений повышения опорной комфортности обуви: дис. ... кандидата технических наук / Родионова Ю. В. – Санкт-Петербург, 2000 – 336 с.

81. Глазунова Н.А. Разработка и применение метода определения деформационных и прочностных характеристик низа обуви с использованием метода конечных элементов: дис. ... кандидата технических наук / Н.А. Глазунова – Самара, 2009 –145 с.

82. Горбачик В. Е. Изгибная жесткость обуви // Кожа и обувь. 2003. - № 1(1). -С. 14-15.

83. А. с. 99474 СССР, МПК 6 G01N3/20, G01N3/32. Приспособление к разрывной машине для определения гибкости обуви/ Лупекин Л.А. , Хоменкова Н.Г.(СССР). — № 4014/448828; заявл. 18.05.1954; опубл. 01.01.1954. Бюл. №12 – 1954.

84. Белокуров В. Н. Устройство для определения изгибной жесткости готовых конструкций обуви. Патент на полезную модель №:66536

85. Грошева Н.Н. Оценка и моделирование напряженно-деформированного состояния деталей низа обуви: дис. ... канд. техн. наук–

Москва, 2010. – 171 с.

86. Милюшкова Ю. В. Анализ методов измерения изгибной жесткости обуви/ Ю. В. Милюшкова, А. Л. Ковалев, В. Е. Горбачик // Дизайн и технологии. - 2013. - № 36 (78). - С. 21-27.

87. Костылева В. В., Синева О.В., Кочетков К. С. Сравнительная характеристика методов определения изгибной жесткости обуви. Сборник материалов международной научно-практической конференции "Академическая наука - проблемы и достижения" 20-21.02.14 С.158-163.

88. Кочетков К. С. Концепция прибора для определения изгибной жесткости обуви / К. С. Кочетков, О. В. Синева, В. В. Костылева // Дизайн и технологии. - 2015. - № 49. - С. 29-31

89. Руководство по эксплуатации: Operation Manual Force Gauge PCE-FM 50

90. О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков: ТР ТС 007/2011 – 2011. – утв. Решением Комиссии Таможенного союза № 797 от 2011 – 09 – 23. – 60 с.

91. ГОСТ 14226-80: «Обувь. Нормы гибкости»

92. Бартош О. Н. Разработка изделий из кожи специального назначения для подразделений поисково-спасательной службы МЧС [Текст]. дис. канд. техн. наук. – М., 2009. – 202 с.

93. Кочетков К.С. Методы определения жесткости деталей низа обуви при изгибе/ К.С. Кочетков, В.В. Костылева, О.В. Синева. – М.: Дизайн и технологии №37.: МГУДТ, 2013, с.29 – 34

94. Кочетков К. С. О формировании изгибной жесткости обуви / К. С. Кочетков, О. В. Синева, В. В. Костылева – М.: Дизайн и технологии №51.: МГУДТ, 2016, С.18 – 23.

95. Волковой В.А., Малоштан Л.Н. Анатомия человека: Учеб. пособие.– Харьков: Изд-во НФаУ: Золотые страницы, 2005.– 240 с.

96. Сапин М.Р., Сивоглазов В. И. С19 Анатомия и физиология человека (с возрастными особенностями детского организма): Учеб. пособие для студ. сред. пед. учеб. заведений. — 3-е изд., стереотип. — М.: Издательский центр «Академия», 2002. — 448 с.

97. Гленн Коуплэнд, Стен Соломон. Все о здоровье ваших ног. От младенчества до старости. Издательства: АСТ, Астрель. - Москва, 2008 г., 224 с. Перевод: С. Николенко

98. Румянцева Е. Г. О биомеханике нижних конечностей человека / Е. Г. Румянцева, О. Н. Бартош, В.В. Костылева – М.: Дизайн и технологии. 2010. № 15. с. 32- 34

99. Уткин В. Л. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание».— М.: Просвещение, 1989.— 210 с.

100. [Общедоступная многоязычная универсальная интернет-энциклопедия со свободным контентом - ru.wikipedia.org] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ходьба_человека (дата обращения: 20/ октября/ 2016)

101. Свиридёнок А.И. Биомеханические аспекты развития современной подиатрии: Материалы I Международной научно-практической конференции «Биомеханика стопы человека» / А.И. Свиридёнок, В.В. Лашковский. – 2008 – с. 4-11

Приложение А

**Расчет теоретической изгибной жесткости низа обуви по показателям
физико-механических свойств материалов**

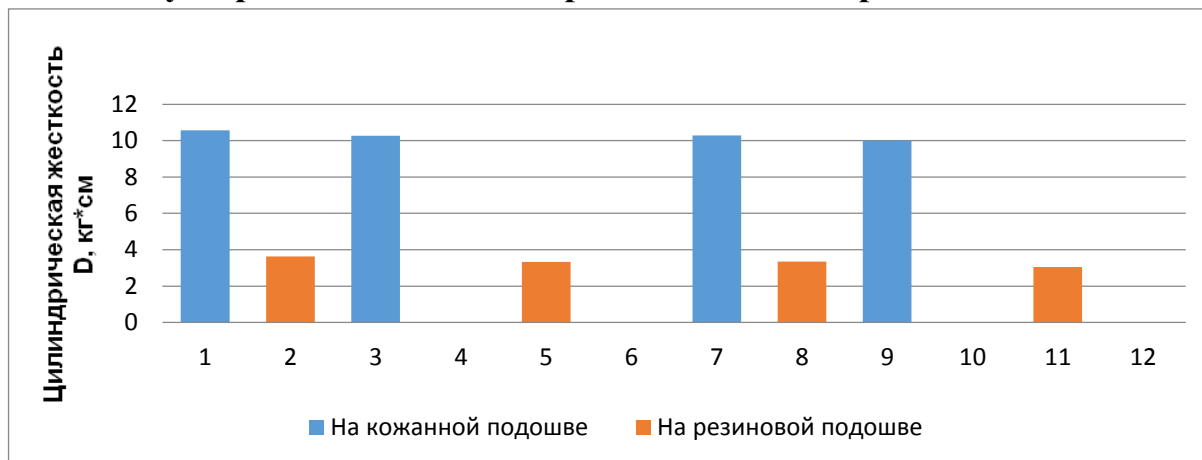
**Расчет жесткости материалов низа модельной обуви рантового метода
крепления**

Материал низа обуви	Модуль упругости при растяжении $E, \text{кГ/см}^2$	Толщина материал а, h, мм	Коэффициент поперечного сокращения, μ	Изгибная жесткость, Кг*см
1	2	3	4	5
Подошва:				
кожаная				
мужская	941,6	4,3	0,5	8,32
женская	941,6	3,9	0,5	6,2
резиновая				
пористая:				
мужская	9,2	7,0	0,9	1,38
женская	9,2	6,0	0,9	0,87
Стелька с губой:				
кожаная				
мужская	720	2,9	0,5	1,95
женская	720	2,4	0,5	1,1
из кож для рантов:				
мужская	615	2,9	0,5	1,66
женская	615	2,4	0,5	0,94
Простилка:				
картон	163	1,6	0,9	0,292
войлок	53	1,6	1,3	0,011

**Жесткость различных комбинаций материалов низа модельной обуви
рантового метода крепления**

Варианты комбинаций материалов деталей конструкций низа	Жесткость конструкций низа обуви, Кг*см	
	Мужская обувь	Женская обувь
1. Подошва кожаная простилка картонная Стелька кожаная (КРС)	10,56	7,6
2. Подошва рез. пористая, Простилка картонная, Стелька кожаная (КРС)	3,622	2,26
3. Подошва кожаная, Простилка картонная, Стелька из кож для ранта	10,27	7,4
5. Подошва рез. пористая, Простилка картонная, Стелька из кож для ранта	3,33	2,1
7. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька кожаная (КРС)	10,281	7,31
8. Подошва рез. пористая, Простилка войлочная, Стелька кожаная (КРС)	3,34	1,98
9. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька из кож для ранта	10	7,15
11. Подошва рез. пористая, Простилка войлочная, Стелька из кож для рантов	3,05	1,82

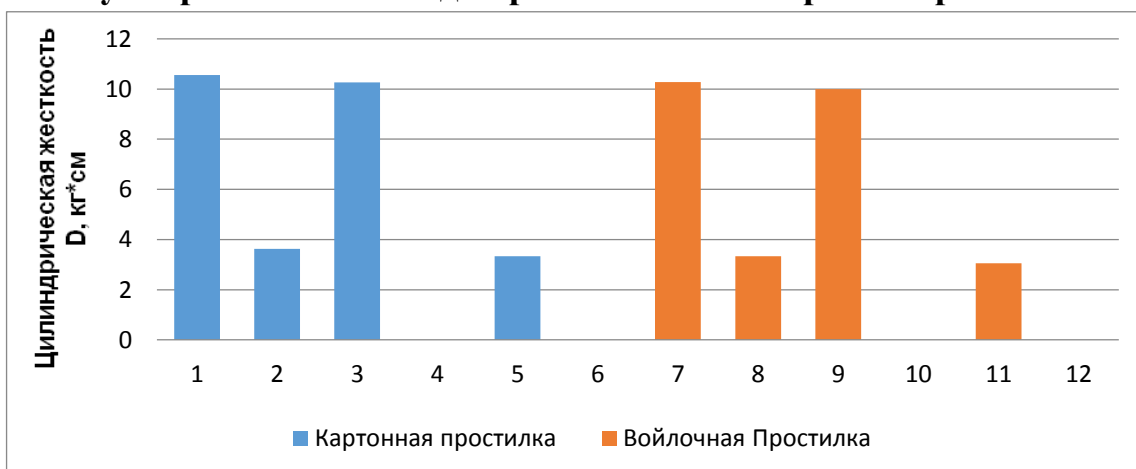
Гистограмма зависимости жесткости узла низа мужской модельной обуви рантового метода крепления от материала подошв



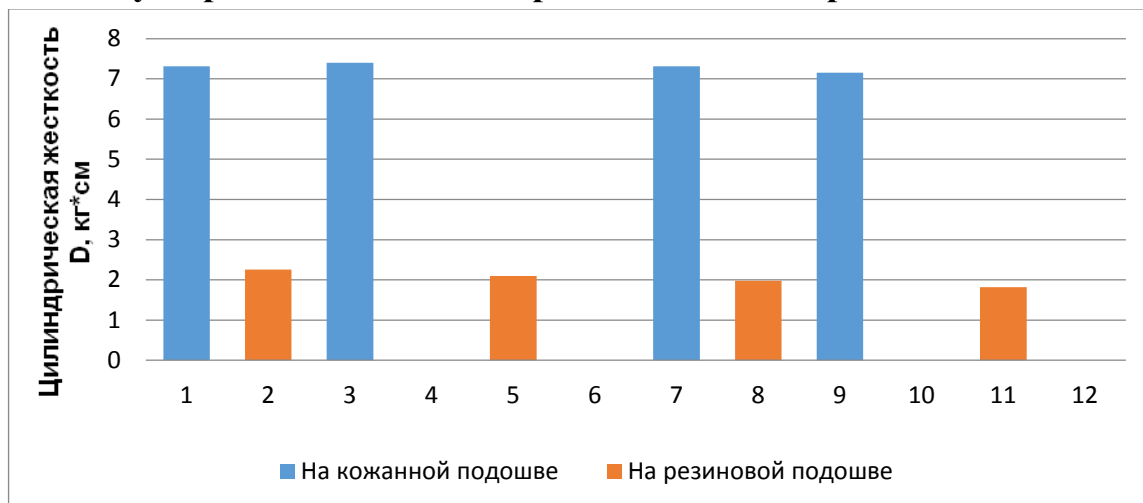
Гистограмма зависимости жесткости узла низа мужской модельной обуви рантового метода крепления от материала стельки



Гистограмма зависимости жесткости узла низа мужской модельной обуви рантового метода крепления от материала простилки



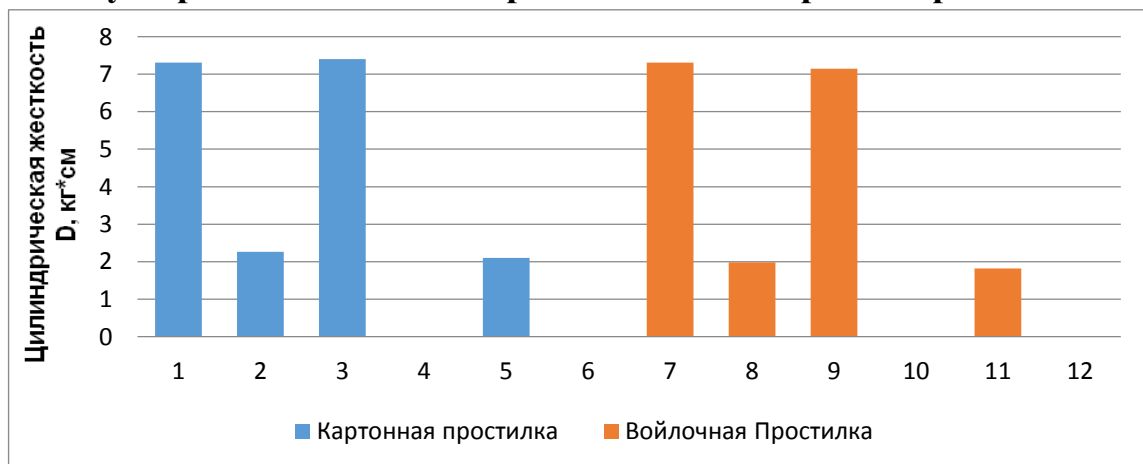
Гистограмма зависимости жесткости узла низа женской модельной обуви рантового метода крепления от материала подошв



Гистограмма зависимости жесткости узла низа женской модельной обуви рантового метода крепления от материала стельки



Гистограмма зависимости жесткости узла низа женской модельной обуви рантового метода крепления от материала простилки



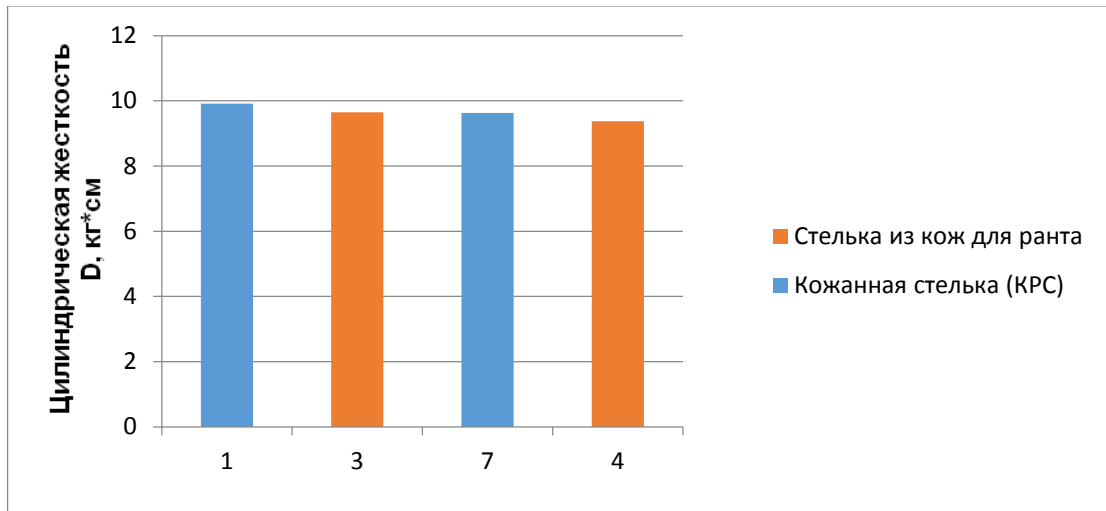
**Жесткость материалов низа модельной обуви прошивного метода
крепления**

Материал низа обуви	Модуль упругости при растяжении E, кГ/см ²	Толщина материала, h,мм	Коэффициент поперечного сокращения,μ	Изгибная жесткость (цилиндрическая жесткость пластины) Кг*см
Подошва: кожаная				
мужская	941,6	4,3	0,5	8,32
женская	941,6	3,9	0,5	6,26
Стелька: кожаная (КРС)				
мужская	664	2,6	0,5	1,3
женская	664	2,6	0,5	1,3
из кож для рантов				
мужская	535	2,6	0,5	1,04
женская	535	2,6	0,5	1,04
Простилка:				
картон	163	1,6	0,9	0,29
войлок	53	1,6	1,3	0,011

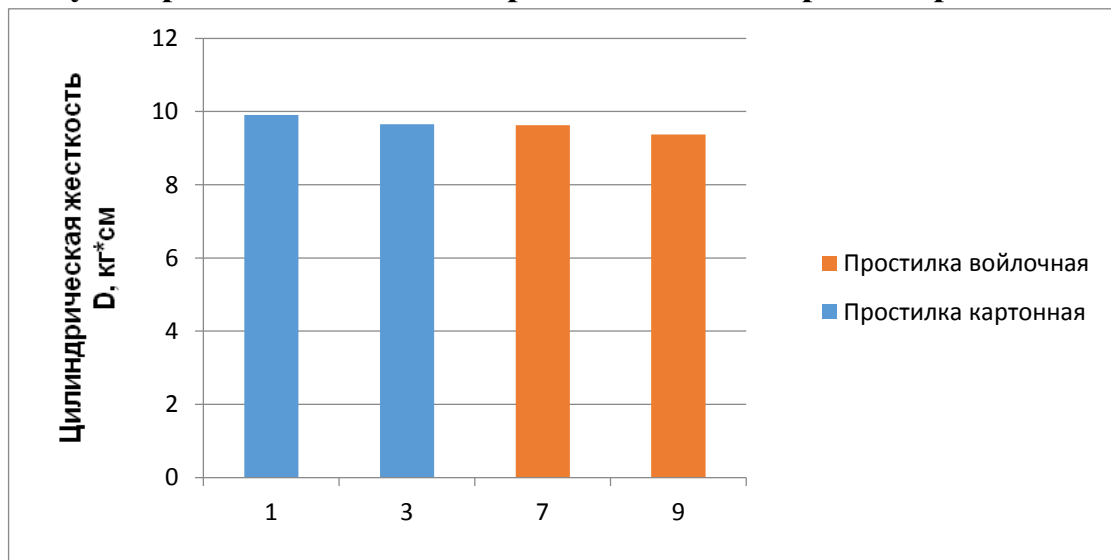
**Жесткость различных комбинаций материалов низа модельной обуви
прошивного метода крепления**

Варианты комбинаций материалов деталей конструкций низа	Жесткость конструкций низа обуви, Кг*см	
	Мужская обувь	Женская обувь
1. Подошва кожаная, Простилка картонная, Стелька кожаная (КРС)	9,91	7,85
3. Подошва кожаная, Простилка картонная, Стелька из кож для ранта	9,65	7,59
7. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька кожаная (КРС)	9,63	7,57
9. Подошва кожаная, Простилка войлочная, Стелька из кож для ранта	9,37	7,31

Гистограмма зависимости жесткости узла низа мужской модельной обуви прошивного метода крепления от материала стельки



Гистограмма зависимости жесткости узла низа мужской модельной обуви прошивного метода крепления от материала простилки



Приложение Б

Угловые характеристики голеностопного и плюсневфалангового суставов

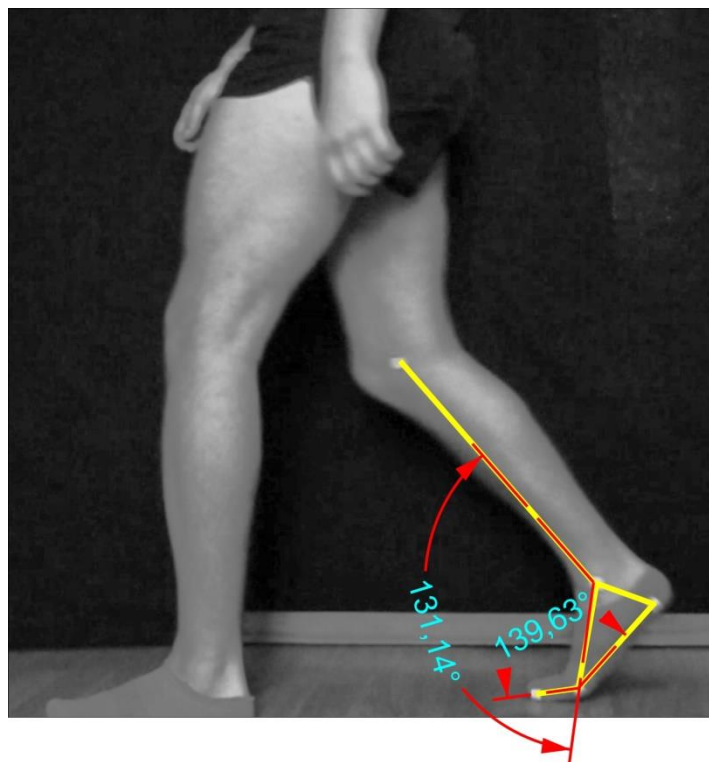


Рисунок А.1 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе без обуви

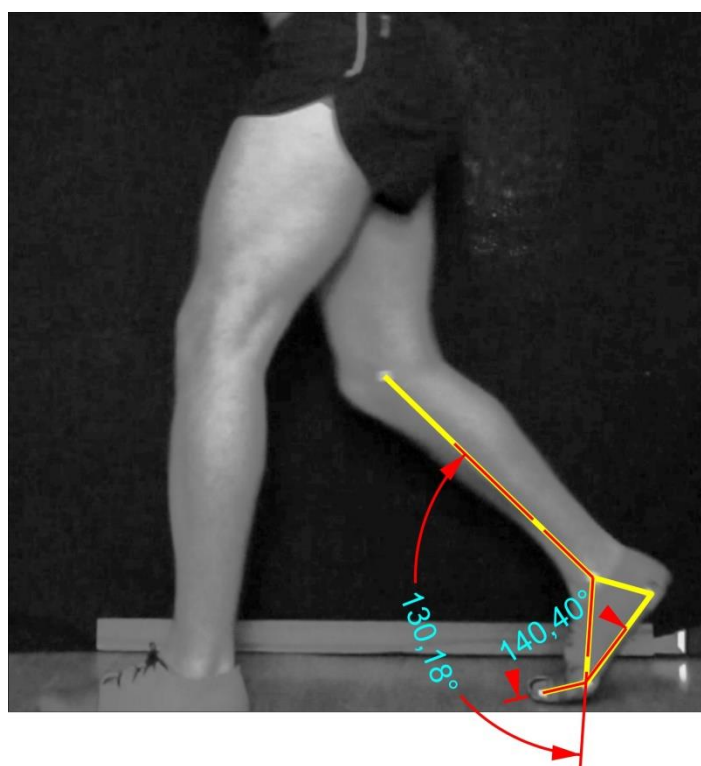


Рисунок А.2 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 1Н

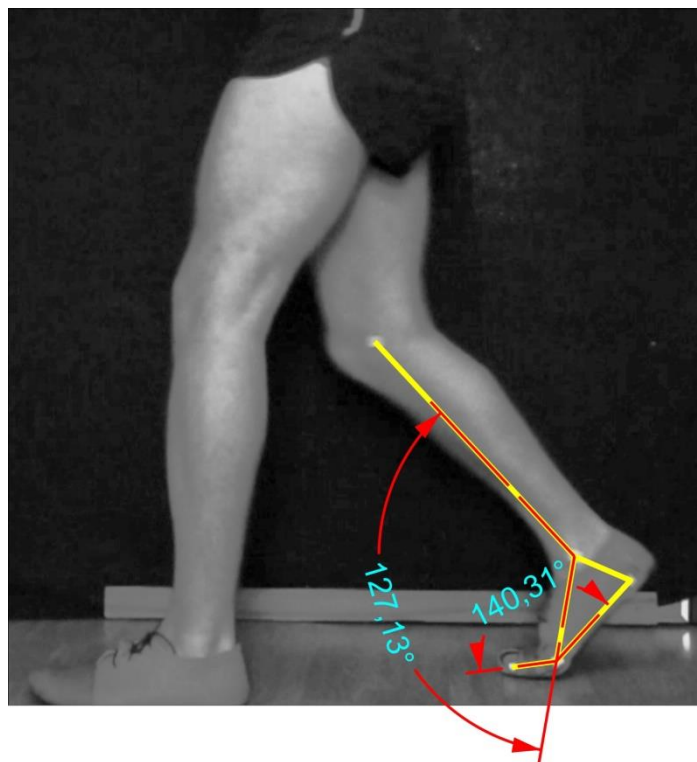


Рисунок А.3 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви жесткостью 2Н

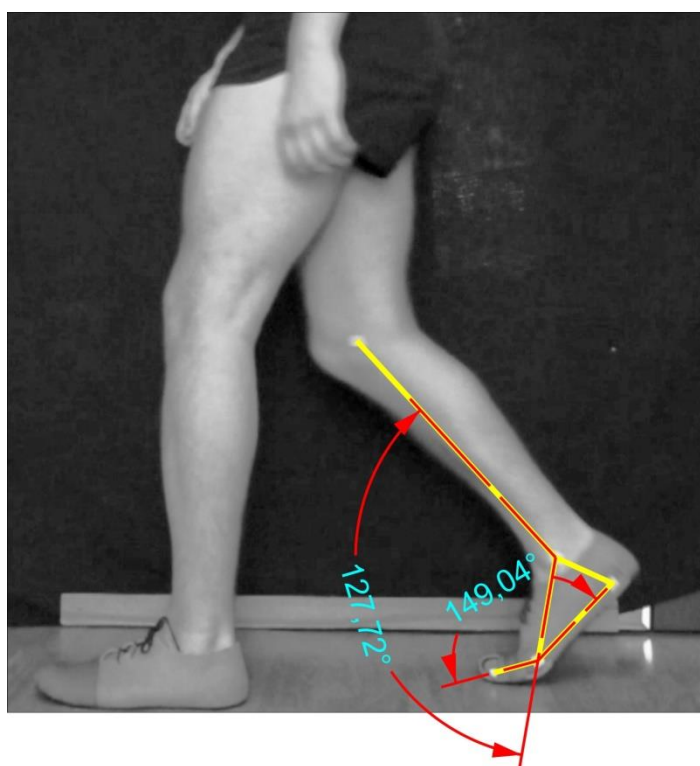


Рисунок А.4 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 4Н

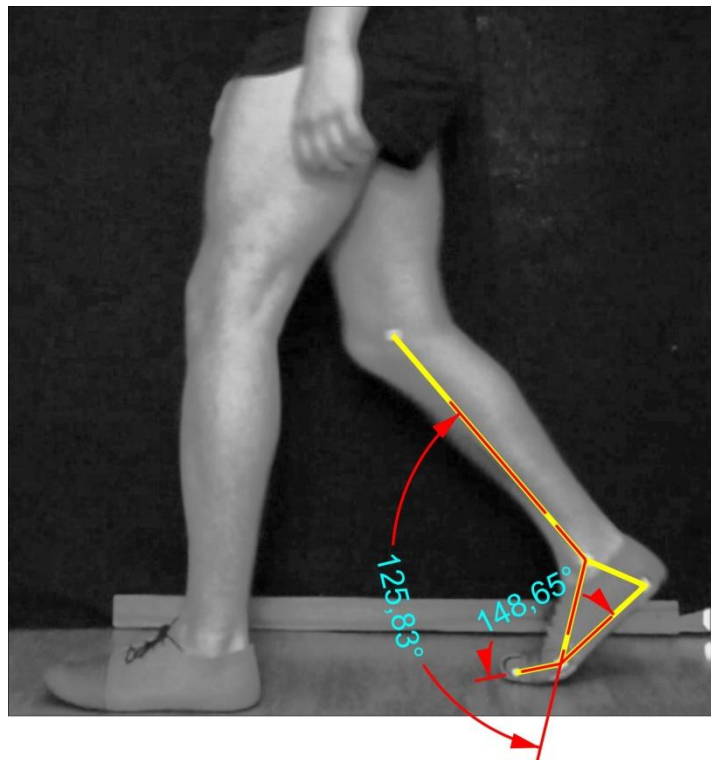


Рисунок А.5 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 6Н

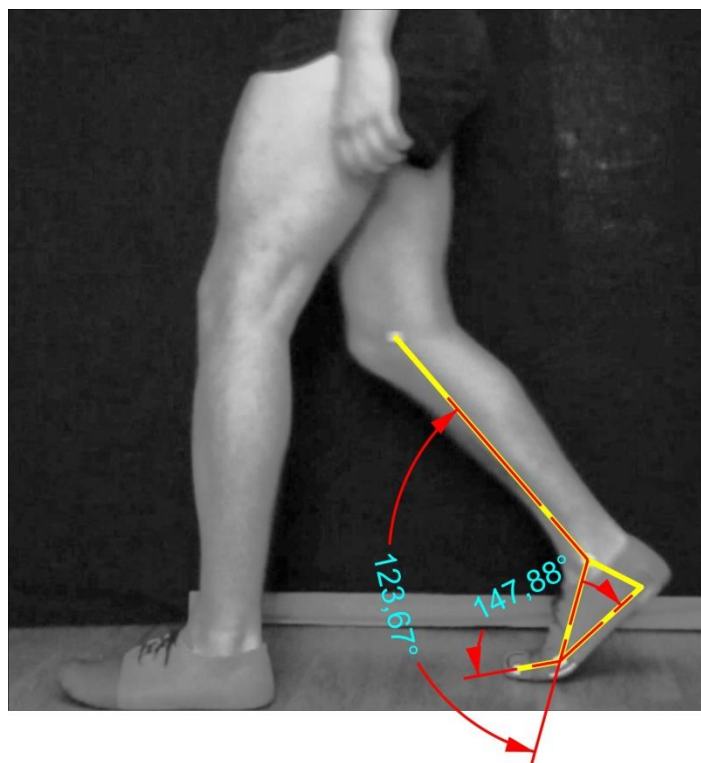


Рисунок А.6 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 8Н

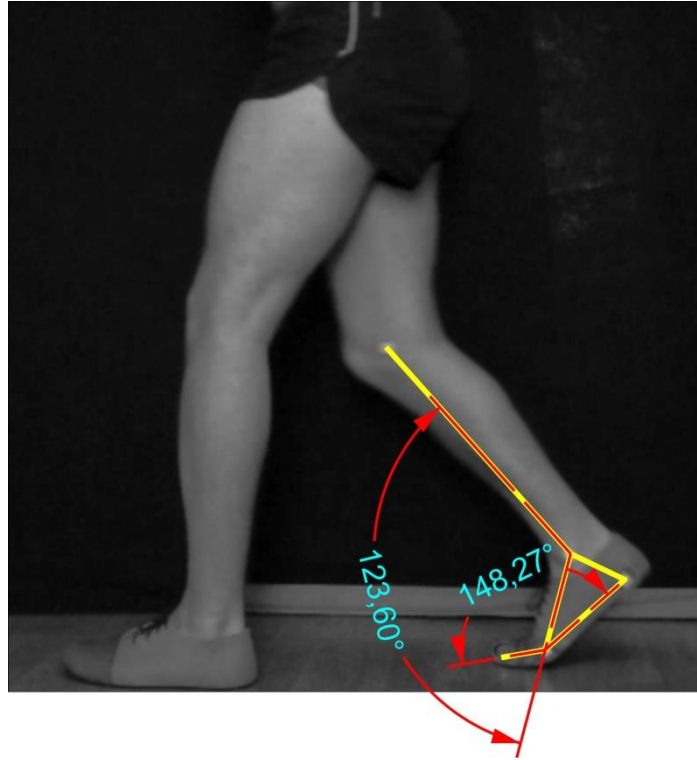


Рисунок А.7 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 10Н

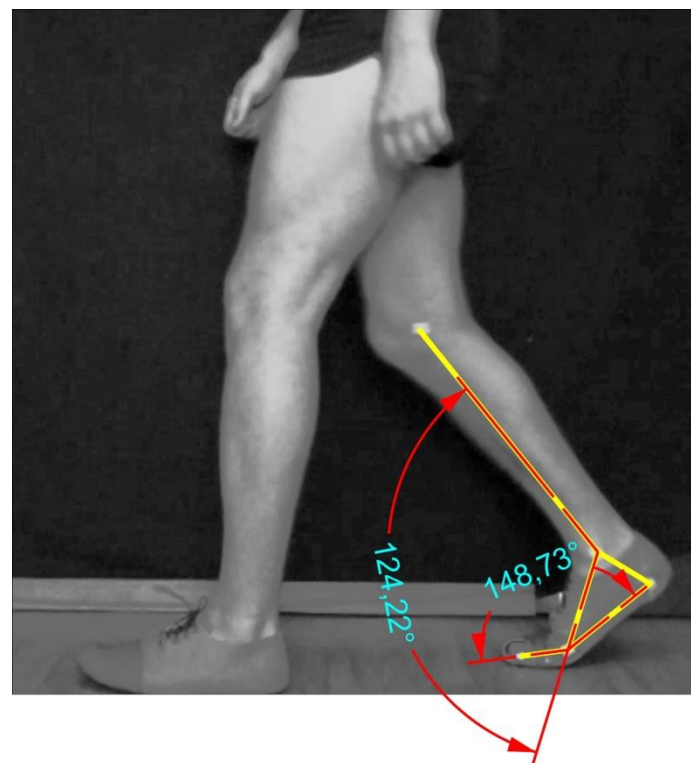


Рисунок А.8 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 12Н

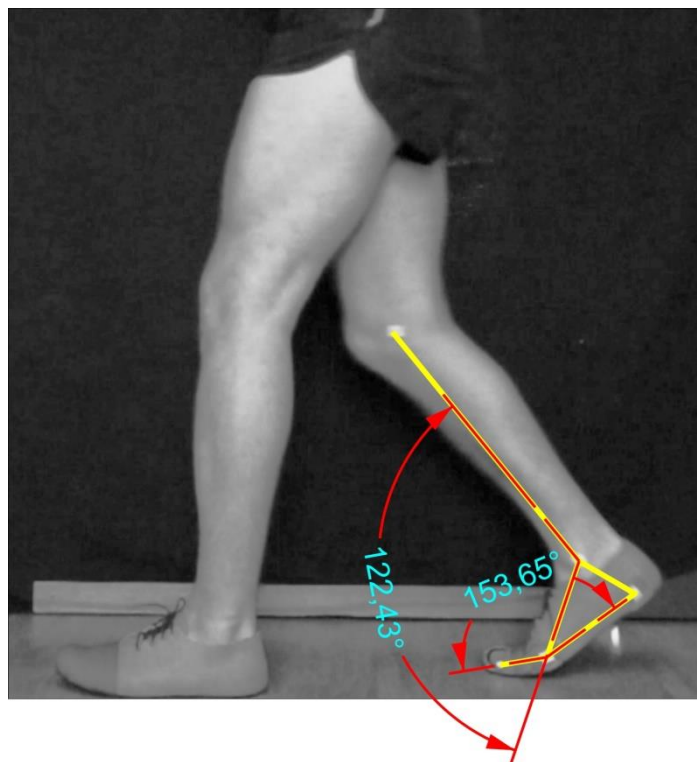


Рисунок А.9 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 15Н

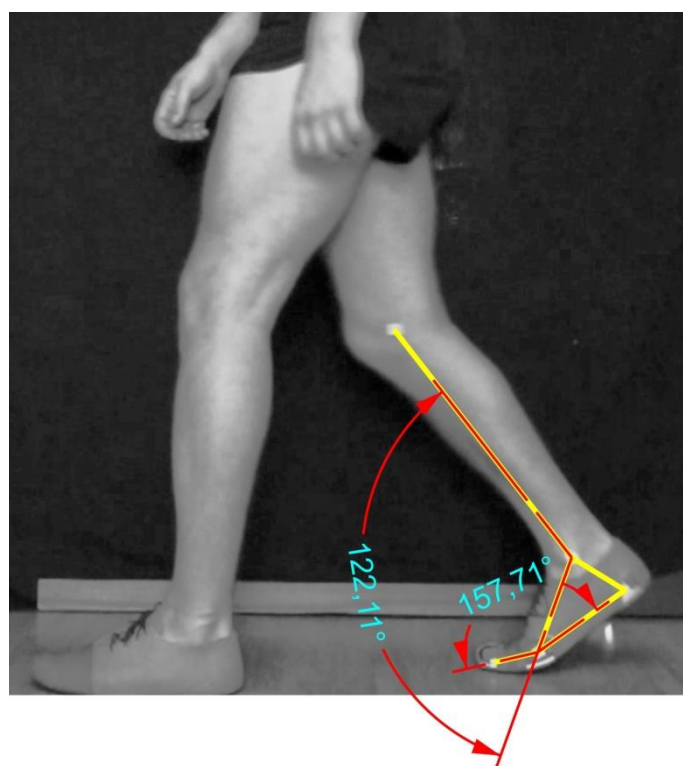


Рисунок А.10 Углы в плюснефаланговом и голеностопном суставах при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 20Н

Приложение В

Угловые характеристики коленного сустава

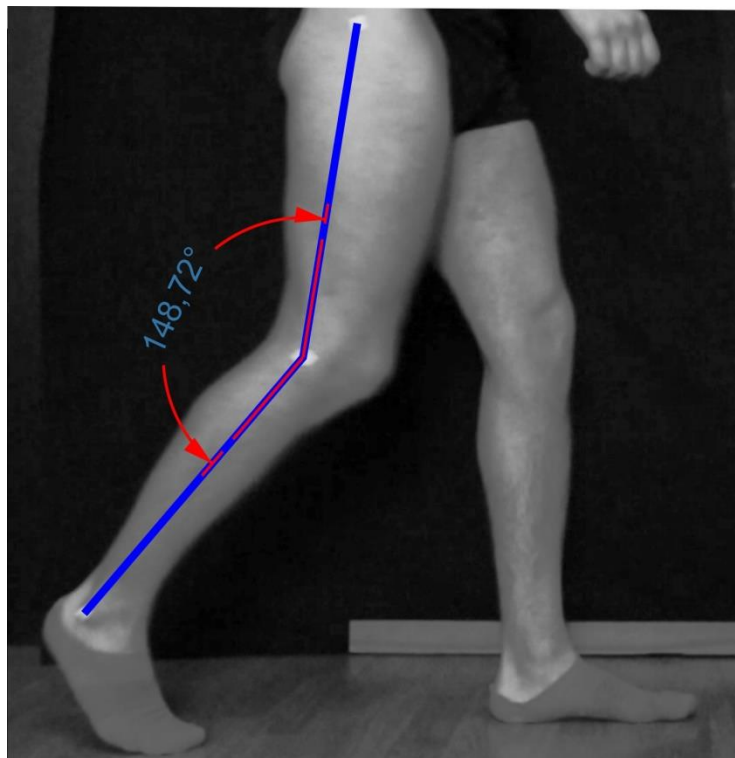


Рисунок Б.1 Угол в коленном суставе при ходьбе без обуви

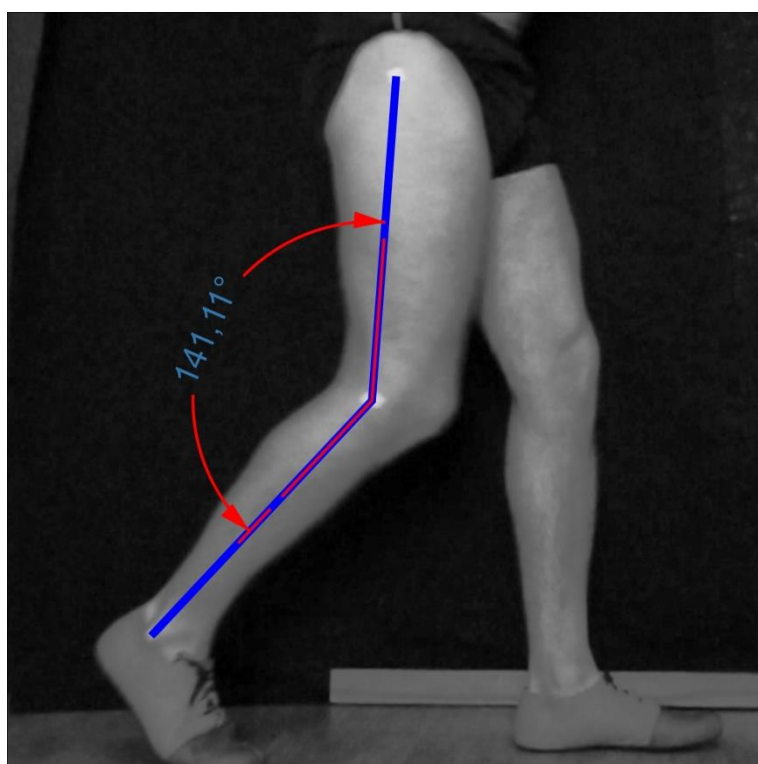


Рисунок Б.2 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 1Н

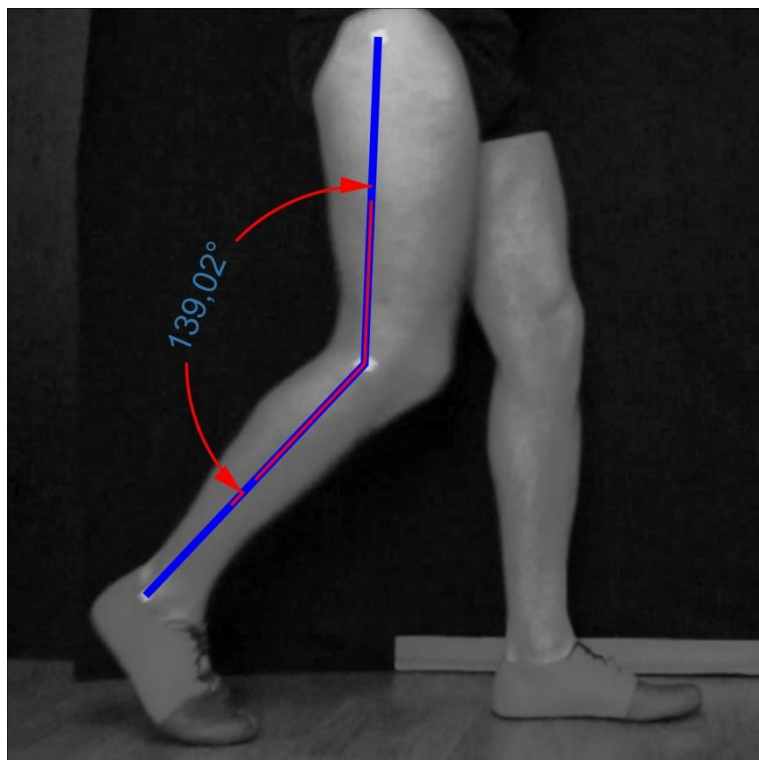


Рисунок Б.3 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 2Н

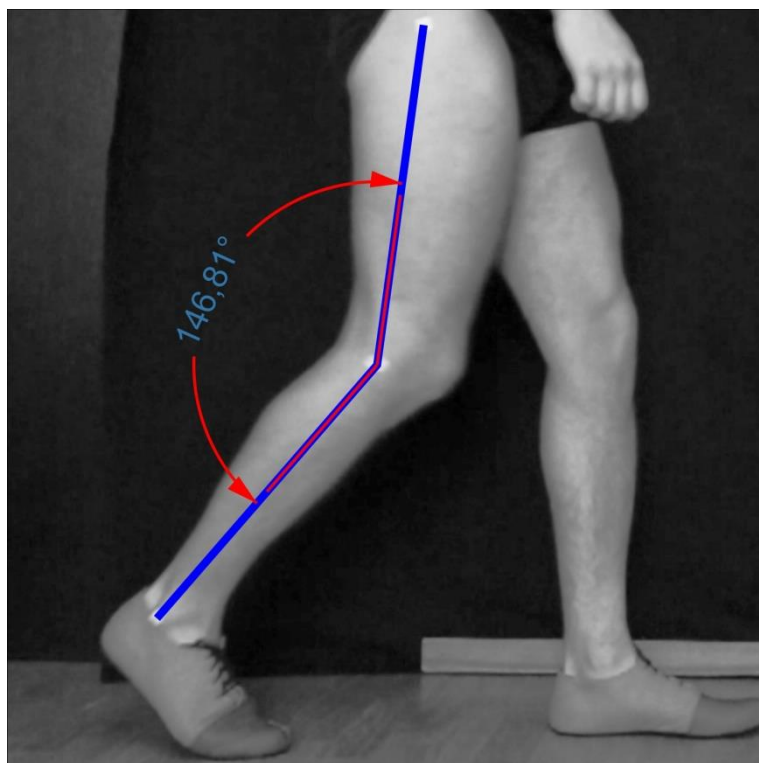


Рисунок Б.4 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 4Н

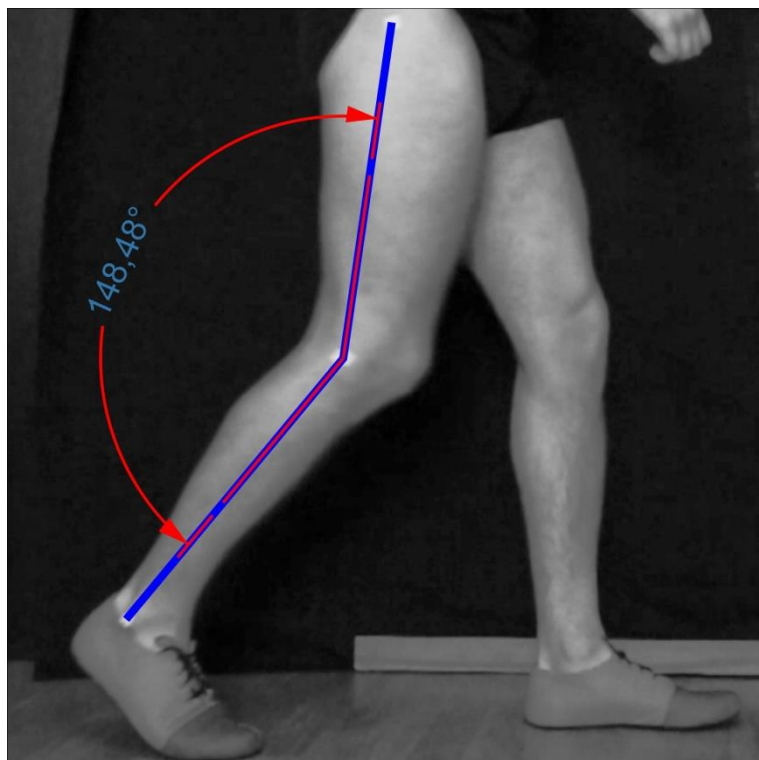


Рисунок Б.5 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 6Н

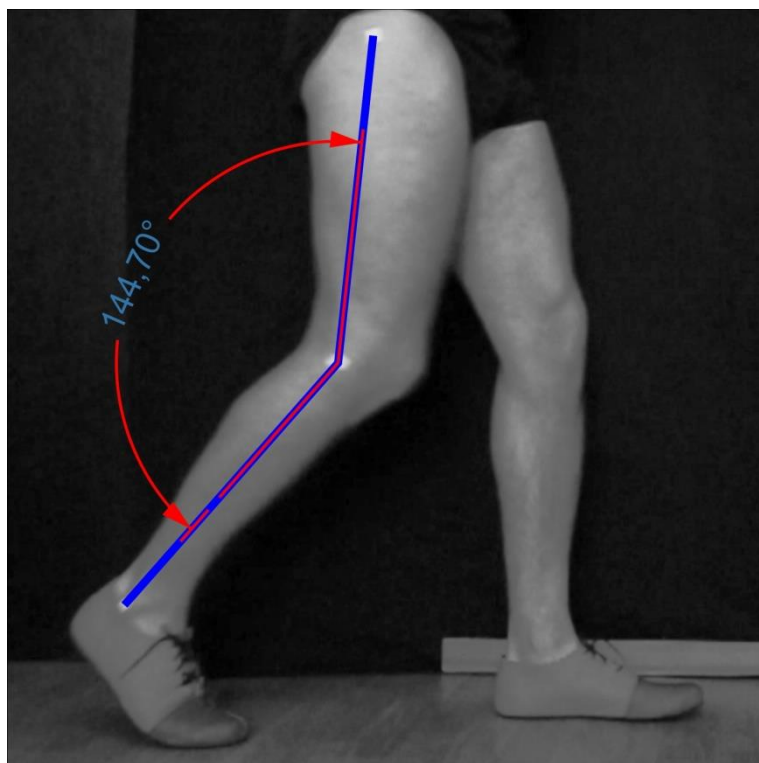


Рисунок Б.6 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 8Н

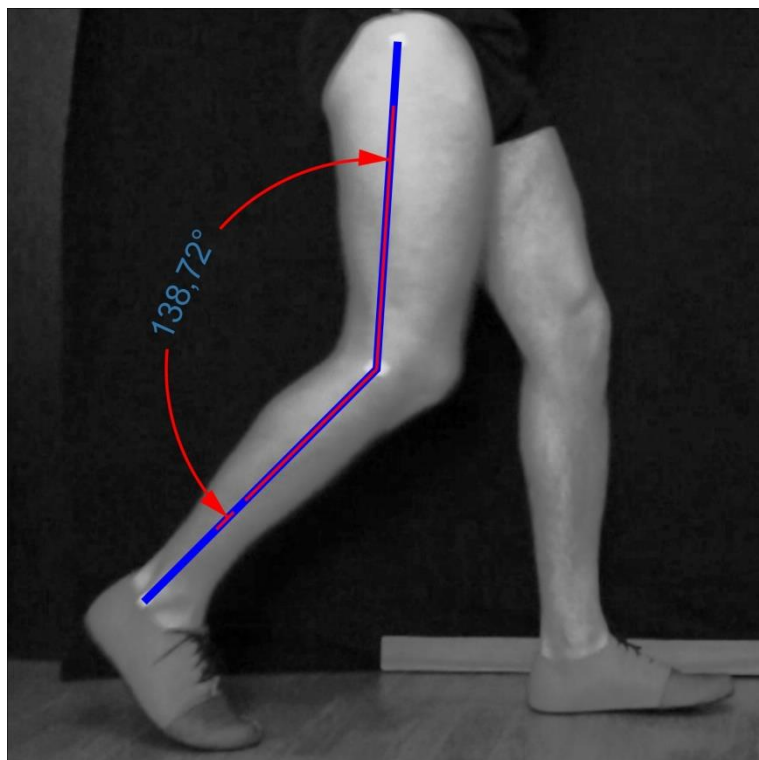


Рисунок Б.7 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 8Н

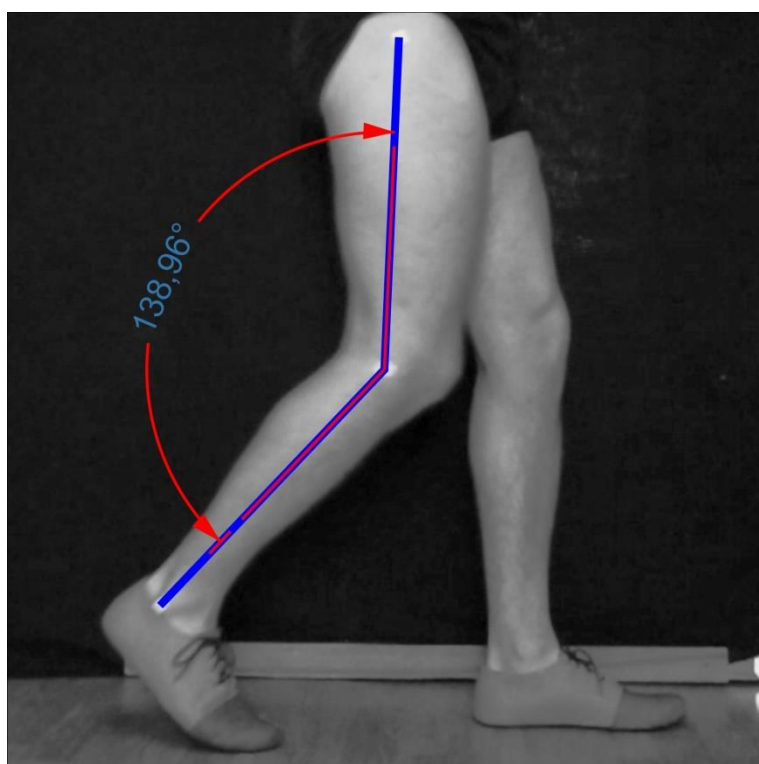


Рисунок Б.8 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 10Н

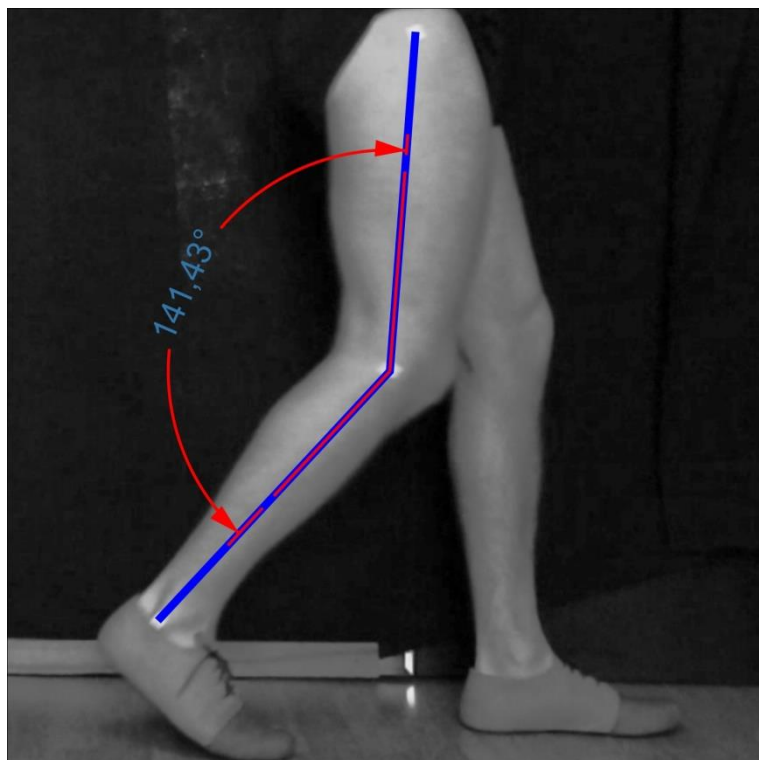


Рисунок Б.9 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 15Н

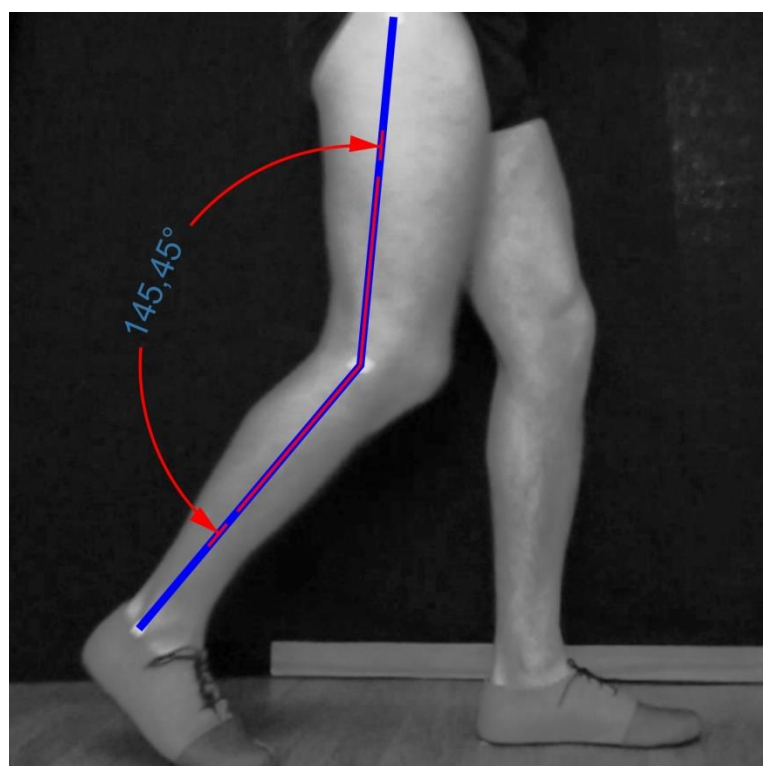


Рисунок Б.10 Угол в коленном суставе при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 20Н

Приложение Г

Расстояние, преодолеваемое испытуемым за два шага

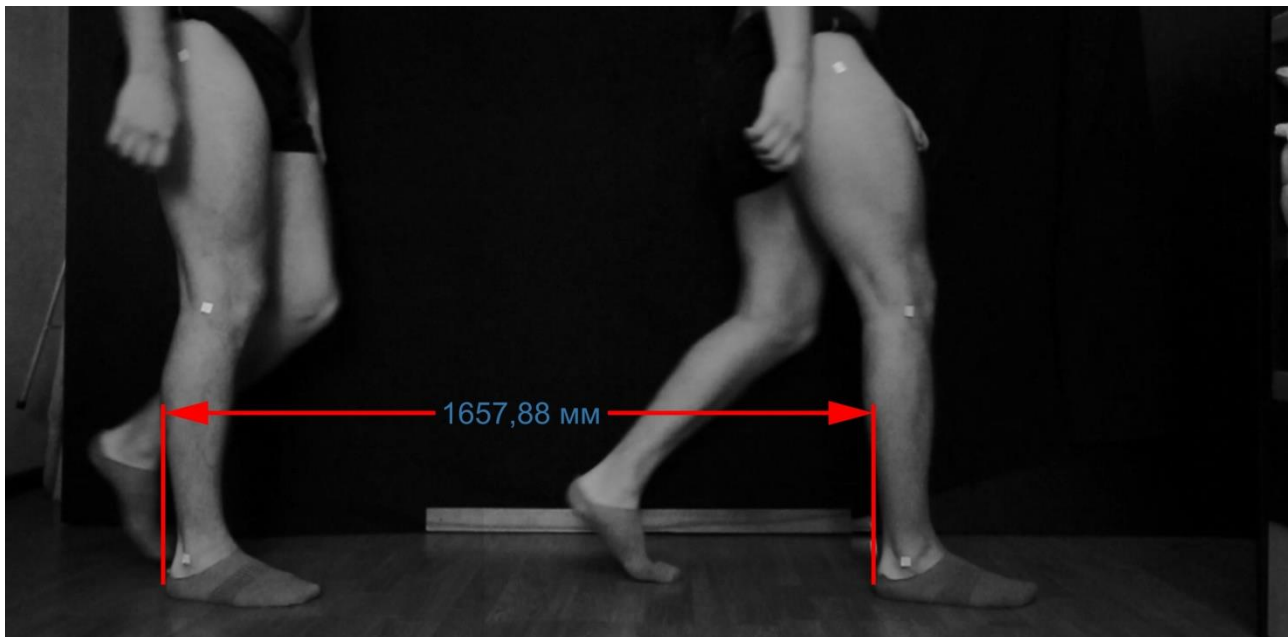


Рисунок В.1 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе без обуви

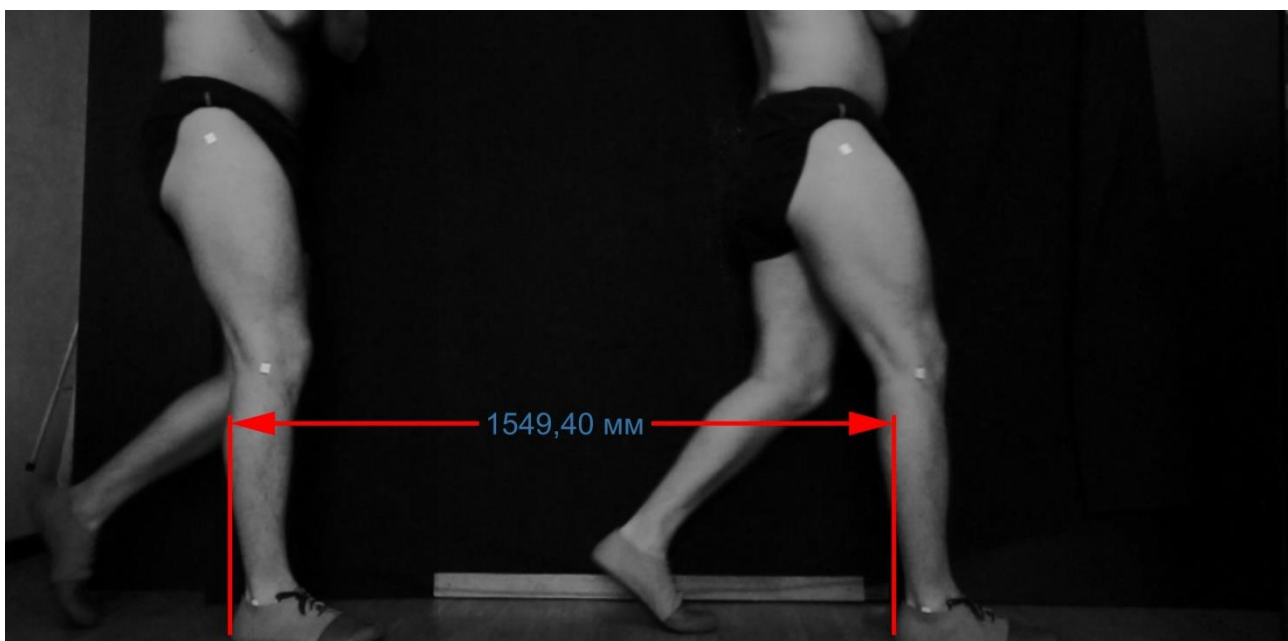


Рисунок В.2. Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 1Н

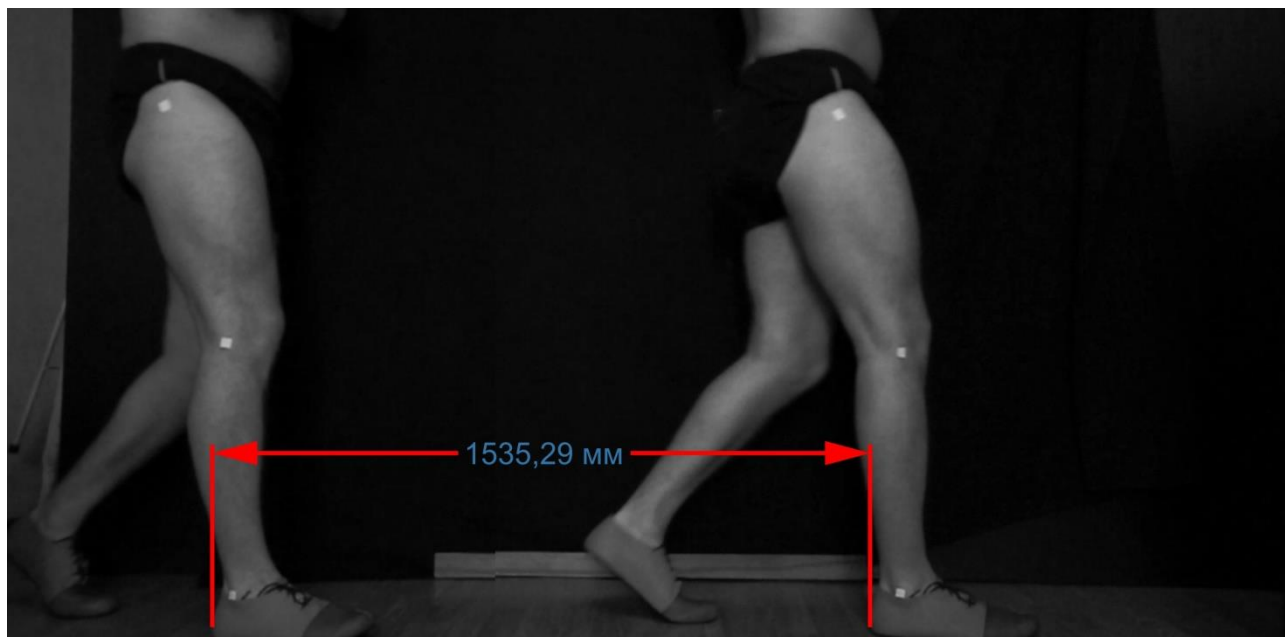


Рисунок В.3 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 2Н

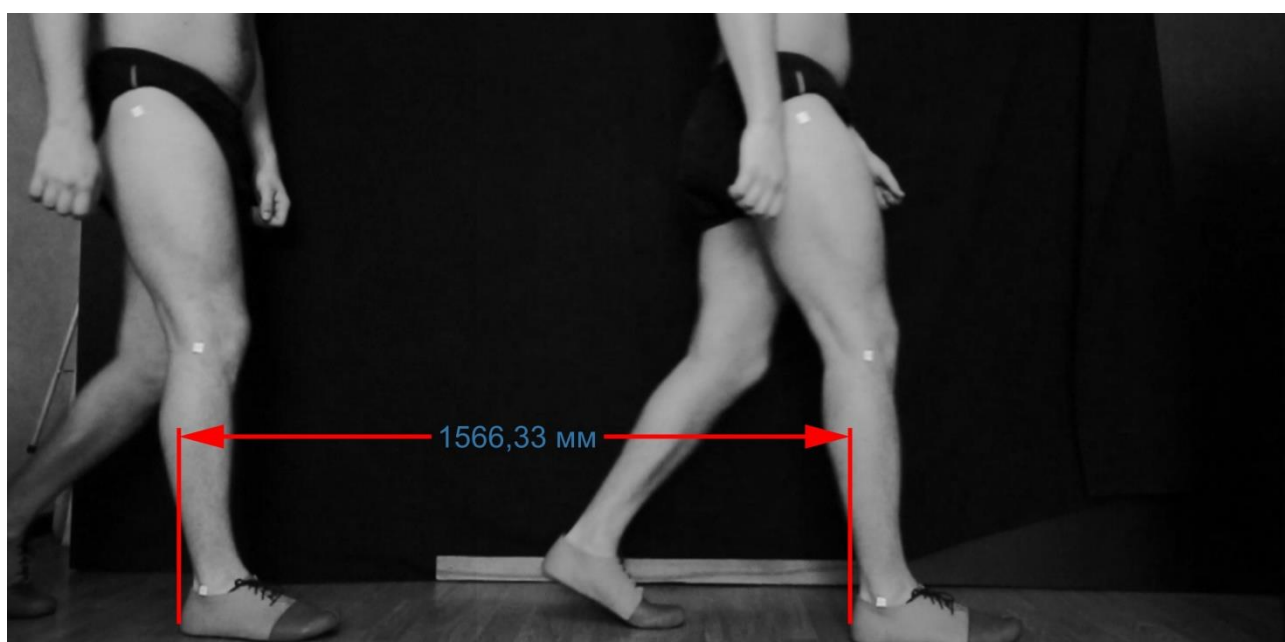


Рисунок В.4 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 4Н

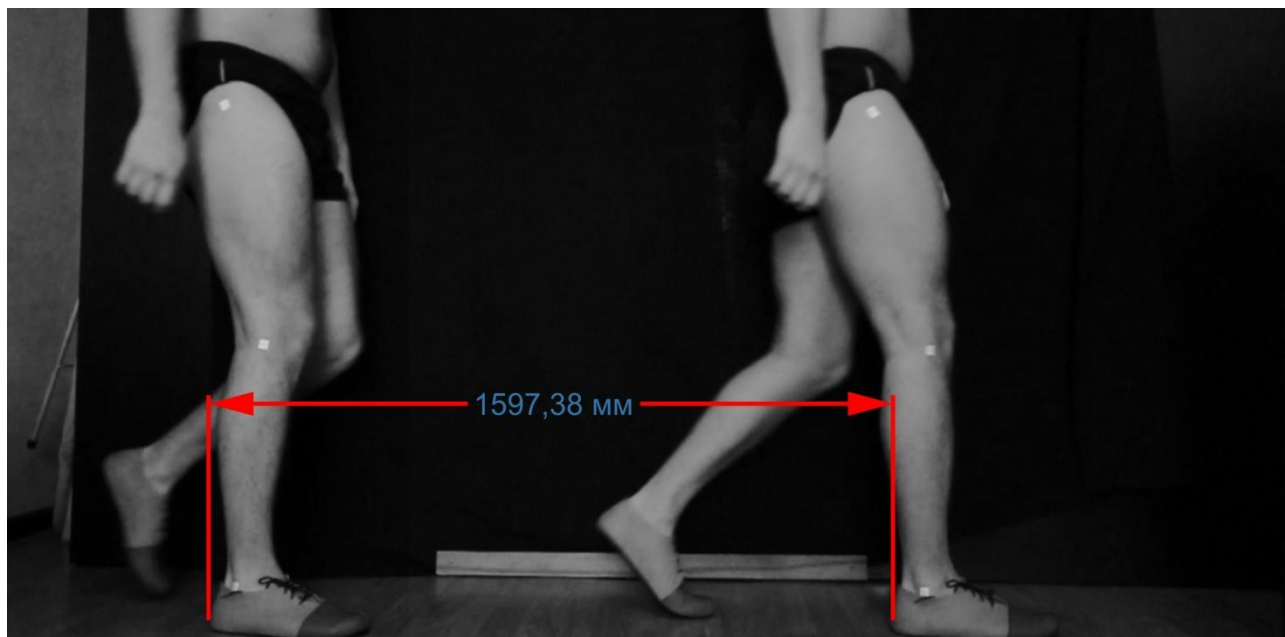


Рисунок В.5 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 6Н

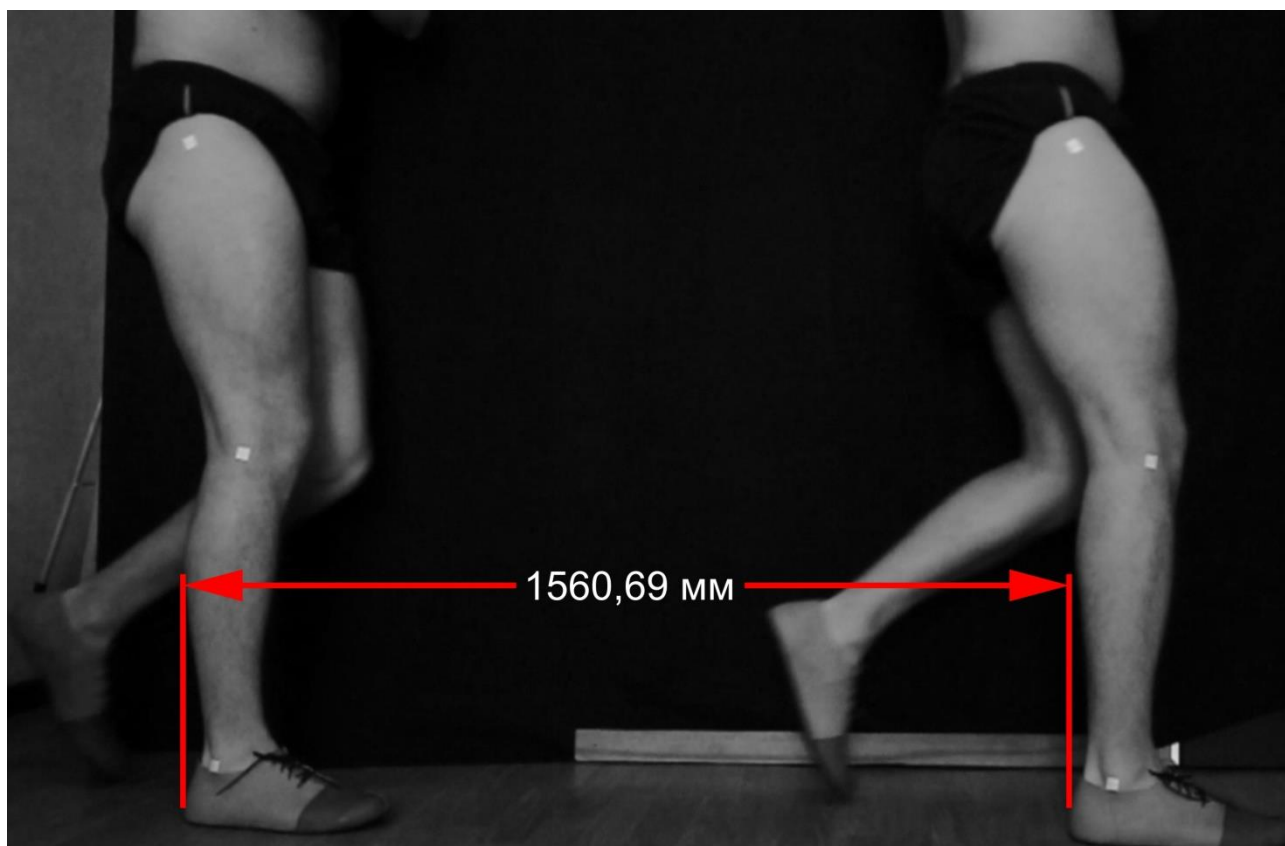


Рисунок В.6 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 8Н

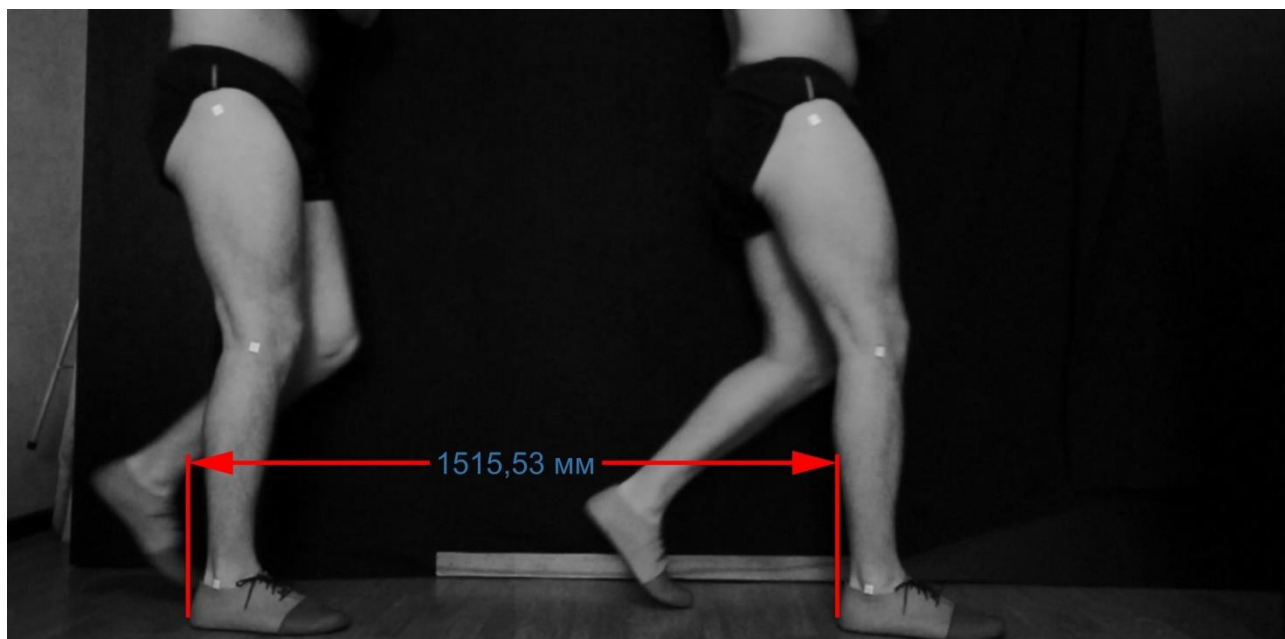


Рисунок В.7 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 10Н

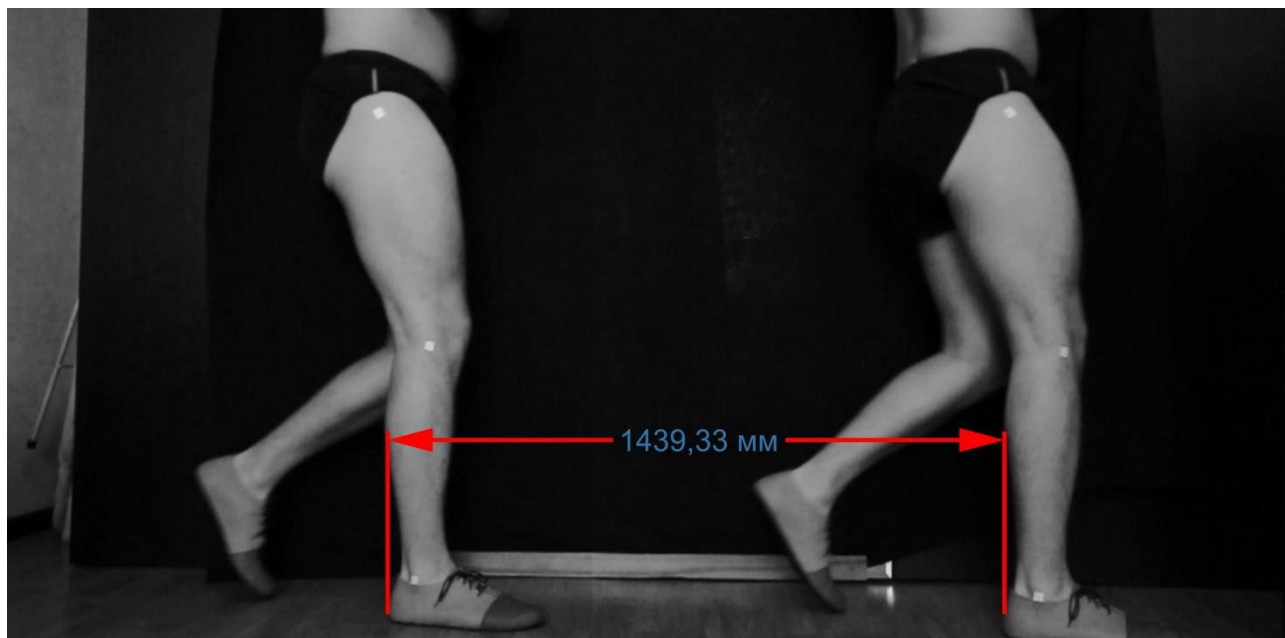


Рисунок В.8 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 12Н

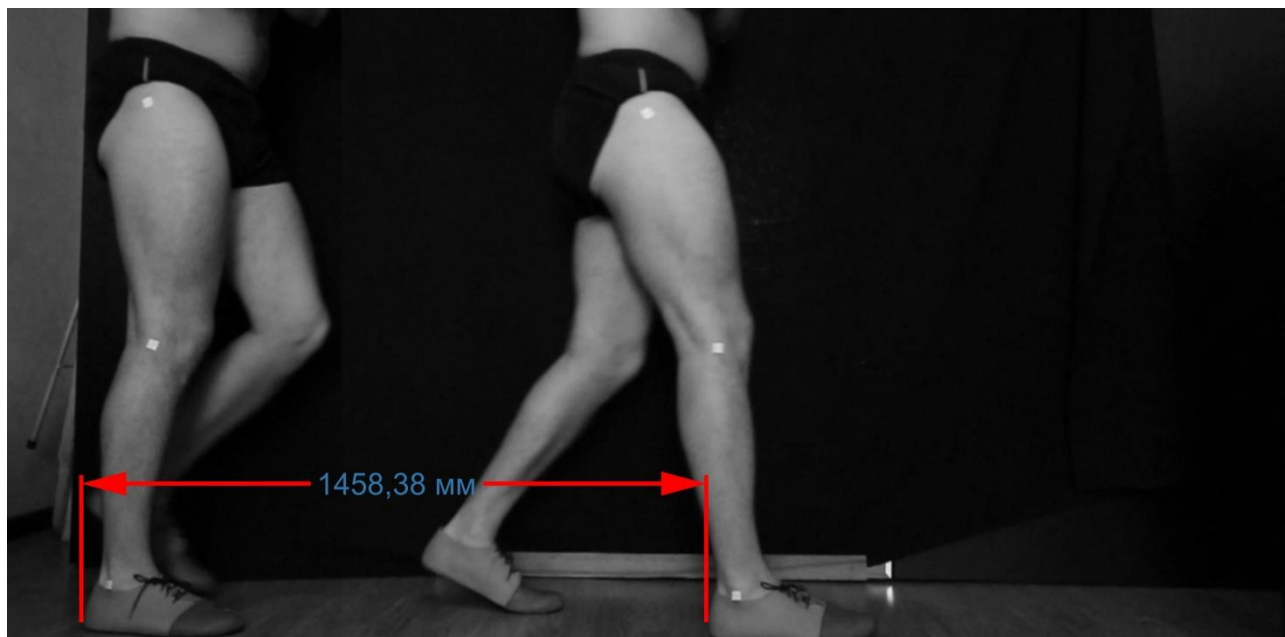


Рисунок В.9 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 15Н

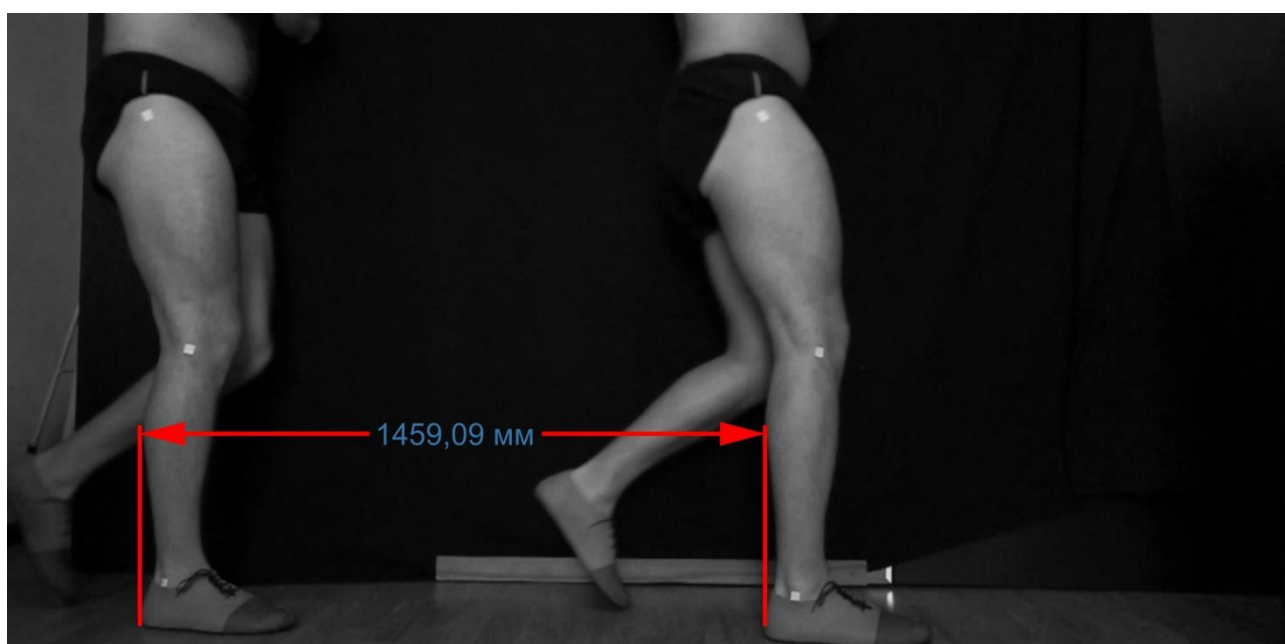


Рисунок В.10 Расстояние, преодолеваемое за два шага при ходьбе в обуви с изгибной жесткостью 20Н

Приложение Д

Акты о внедрении результатов диссертационного исследования

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной
работе МГУДТ

О.В. Кашеев

«22» июня 2016 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ЗАО МОФ «Парижская коммуна»

А.А. Никитин

«23» июня 2016 г.

АКТ

Мы, нижеподписавшиеся представители МГУДТ и ЗАО МОФ «Парижская коммуна» составили настоящий Акт о том, что результаты проведенных аспирантом Кочетковым К.С. в рамках диссертационной работы «Исследование изгибной жесткости обуви и ее влияние на биомеханику нижних конечностей» представляют интерес для Испытательного центра предприятия и Центра моделирования и технологии, так как осуществление мониторинга и измерений значений характеристик продукции с целью проверки соблюдения требований к ней - является основной задачей действующей системы менеджмента качества «Мониторинг и измерение продукции» для проектирования и изготовления конкурентоспособной обуви. Получаемые показатели позволяют усмотреть тенденции развития современного рынка материалов и комплектующих для производства обуви. Предложенная автором конструкция прибора для установления показателей жесткости как изделий в целом, так и ее элементов и предложенные МГУДТ решения могут составить основу перспективной политики предприятия в области менеджмента качества на основе совершенствования действующей на фабрике НТД.

Представители МГУДТ

Представители
ЗАО МОФ «Парижская коммуна»

Зав. кафедрой ХМК и ТИК

Костылева В.В.

Асп. Кочетков К.С.

Зам. ген. директора по управлению

производственным комплексом

Татарчук И.Р.

Доц. Кафедры ХМК и ТИК

Начальник Центра моделирования и

технологии

Ключникова В.М.

Вихрова Л.А.

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научной
работе МГУДТ
О.В. Кашеев

«30» августа 2016г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ООО «Прометр+»
В.А. Ковалев

«30» августа 2016г.

АКТ

Мы, нижеподписавшиеся представители ФГБОУ ВО «Московский государственный университет дизайна и технологии» и представители ООО «Прометр+» составили настоящий акт о том, что результаты исследований, проведенных аспирантом Кочетковым К.С. в рамках диссертационной работы «Исследование изгибной жесткости обуви и ее влияния на биомеханику нижних конечностей» переданы в виде характеристик конструкций обуви и показателей их жесткости при изгибе. Полученные сведения представляют интерес для ассортимента средств реабилитации и изделий неиндивидуального пользования, так как нацелены на обеспечение потребителей здоровьесберегающей продукцией широкого ассортимента и повышение конкурентоспособности выпускаемых отечественными предприятиями средств реабилитации и протезно-ортопедических изделий. Вместе с тем, рекомендуем авторам разработок продолжить исследования ассортимента ортопедической обуви индивидуального пользования.

Представители МГУДТ:

Зав. кафедрой ХМК и ТИК
В.В. Костылева
Асп. К.С. Кочетков
Доц. Е.С. Рыкова

Представители ООО «Прометр+»:

Пушин Е.С.
Лифанов А.С.
Манкеев А.В.