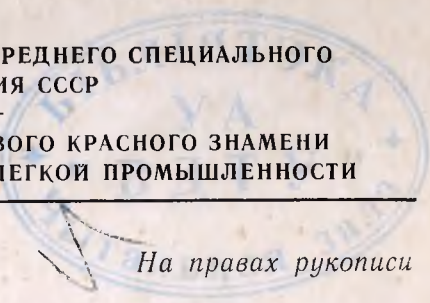


685.34  
K56

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



На правах рукописи

КОВАЛЕВ Алексей Леонидович

УДК ~~685.31.004.12~~

**РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ  
НИЗА ДЕТСКОЙ ОБУВИ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ  
БИОМЕХАНИКИ ХОДЬБЫ**

Специальность 05.19.06 — «Технология обувных,  
кожевенно-галантерейных и шорных изделий»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 1984

685, 344.85

18

Работа выполнена в Московском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте легкой промышленности на кафедре «Технология изделий из кожи».

Научный руководитель — профессор, доктор технических наук **В. А. ФУКИН**

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук **Н. В. ЗАМАРАШКИН**

кандидат технических наук **Е. Я. МИХЕЕВА**

Ведущее предприятие — Могилевская опытно-экспериментальная фабрика детской обуви

Автореферат разослан « 18 мая » 1984 г.

Защита состоится « 20 июня » 1984 г.

в \_\_\_\_\_ час. на заседании специализированного Совета К.053.22.02 при Московском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте легкой промышленности по адресу: 113127, Москва, ул. П. Осипенко, 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского ордена Трудового Красного Знамени технологического института легкой промышленности.

п.  
с



Витебский государственный технологический университет



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Материалами XXVI съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрено значительное повышение темпов роста товаров народного потребления. Причем, особое внимание уделяется вопросам дальнейшего расширения и улучшения ассортимента выпускаемых товаров, повышению их качества в соответствии с растущими потребностями советских людей.

Качество обуви определяется широким комплексом свойств, среди которых эргономические свойства, характеризующие ее соответствие анатомо-физиологическим требованиям человека, занимают важное место. Эргономический показатель жесткости при изгибе является одним из основных для оценки рациональности конструкции обуви. Однако этот показатель в настоящее время изучен недостаточно, а существующие нормы жесткости нельзя считать научно-обоснованными, в частности, для детской обуви. Жесткость обуви определяет энергозатраты при передвижении человека, влияет на биомеханику ходьбы и, кроме того, вызывает деформацию стопы в результате силового взаимодействия системы «стопа-обувь», что особенно важно для детской обуви, поскольку у ребенка окончательно не сформирована и легко подвергается изменениям под воздействием дополнительных нагрузок. Вместе с тем нельзя сказать, что в настоящее время достаточно полно выполнены требования, предъявляемые к обувным материалам, конструкции и технологии изготовления гибкой обуви. Поэтому в производстве часто возникают проблемы, связанные с подбором систем материалов низа, обеспечивающих выпуск обуви с допустимым уровнем жесткости.

Для количественного определения показателя жесткости обуви при изгибе в СССР и за рубежом предложены различные методы и приборы. Однако многие методы существенно отличаются друг от друга и в большинстве случаев не дают объективной оценки жесткости, поскольку механика нагружения обуви не соответствует ее изгибу в процессе передвижения человека.

Бібліятэка  
УД "Мастакоўскага дзяржаўнага  
тэхналагічнага ўніверсітэту  
100 № 81к



**Целью работы** является разработка рациональной конструкции обуви за счет установления научно-обоснованных норм изгибной жесткости обуви на базе совершенствования методов исследования биомеханических характеристик ходьбы детей и улучшения конструктивно-технологических параметров систем низа обуви.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены следующие задачи:

— установлены научно-обоснованные нормы изгибной жесткости детской обуви;

— разработана методика и стенд для проведения комплексных исследований биомеханических параметров ходьбы человека;

— исследовано влияние различных факторов на угловые перемещения низа обуви для людей различных половозрастных групп;

— установлены исходные данные для решения конструктивных элементов и режимов работы прибора для измерения жесткости обуви;

— разработана методика и прибор для определения жесткости обуви при изгибе в условиях, приближенных к реально существующим при носке;

— предложен комплексный подход к изучению изгибной жесткости обуви, изготовленной из различных материалов;

— разработаны методические основы изготовления обуви с допустимым уровнем жесткости;

— разработаны математическая модель, алгоритм и программа расчета изгибной жесткости обуви для использования в системах АСТПП.

**Объект исследования.** Весь комплекс исследований проведен на детской обуви клеевого метода крепления. Изучены биомеханические параметры ходьбы детей в возрасте 6—7 лет в обуви различной изгибной жесткости. При обосновании конструктивных параметров и режимов работы прибора для оценки изгибной жесткости обуви рассмотрено влияние различных факторов на биомеханику ходьбы женщин в обуви различной изгибной жесткости, с различной высотой каблука.

**Теоретической и методологической основой** исследования являются основные положения марксистско-ленинской философии, материалы XXVI съезда КПСС, решения июньского и декабрьского (1983 г.), февральского (1984 г.) пленумов ЦК КПСС по расширению ассортимента и улучшению качества товаров народного потребления, совершенствованию методов управления социалистическим производством.

Для получения комплексной количественной информации об относительном характере движения людей в обуви различной изгибной жесткости использовали инструментальные методы исследования биомеханических параметров испытуемых.

При проведении исследований использовали методы статистической обработки результатов, корреляционного анализа, методы планирования эксперимента и др.

Обработку результатов эксперимента проводили с использованием ЭВМ «Наири-К» и ЕС-1020.

**Научная новизна** проведенных исследований состоит в установлении научно-обоснованных норм изгибной жесткости детской обуви, отвечающих физиологическим функциям организма ребенка при передвижении.

Предложен комплексный подход к решению проблемы разработки конструкции обуви с допустимым уровнем жесткости.

Предложен комплексный подход к решению проблемы снижения изгибной жесткости обуви на основе изучения силового взаимодействия системы «стопа-обувь».

Разработаны методологические основы исследования силового взаимодействия системы «стопа-обувь» при изучении влияния жесткости обуви на организм человека.

Разработаны методические основы оценки изгибной жесткости обуви, исходя из конструктивно-технологических параметров систем деталей низа.

Показана возможность решения задачи определения рациональной жесткости низа обуви в подсистемах АСТПП обувных предприятий.

**Практическая значимость.** Результаты работы имеют социальный и технико-экономический эффект, а также практическое значение в обувной промышленности:

— для практического применения на предприятиях страны предложены нормы жесткости детской обуви;

— даны рекомендации по подбору рациональных систем материалов низа с целью обеспечения выпуска обуви с заданным уровнем жесткости при изгибе;

— для решения задачи изготовления обуви с заданным уровнем жесткости, в условиях многоассортиментного производства, разработаны алгоритм и программа расчета оптимальных сочетаний систем низа;

— разработаны методика и прибор для определения жесткости обуви при изгибе в условиях, наиболее полно отражающих процесс ее нагружения при носке;

— разработано устройство для измерения угловых перемещений низа обуви при изучении биомеханики локомоций в медицине и обувной промышленности.

**Апробация и реализация результатов работы в промышленности.** Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены и получили положительную оценку: на Республиканской конференции «Совершенствование технологии и организации производства на предприятиях бытового обслуживания» (1981 г.) г. Хмельницкий; на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов кожевенно-обувной промышленности УкрНИИКП (1983 г.) г. Киев; на XXXII научной конференции профессорско-преподавательского состава КТИЛП (1980 г.) г. Киев; на XI—XIII научно-технических конференциях ВТИЛП (1978—1980 гг.) г. Витебск.

**Публикации.** Основное содержание диссертации отражено в четырех печатных работах.

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, общих выводов и предложений по работе, списка литературы и приложений. Материалы диссертации изложены на 151 странице машинописного текста, содержат 37 рисунков, приложение на 42 страницах и библиографию из 196 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дано обоснование актуальности диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования.

**В первой главе** выполнен анализ работ, посвященных проблеме повышения качества обуви, необходимости снижения ее изгибной жесткости, среди которых выделяются труды Ю. П. Зыбина, В. Н. Цветкова, Н. Г. Хоменковой, А. А. Авилова, В. В. Литвиненковой, Т. С. Максимовой, А. П. Макаровой, И. М. Шагаповой и др.

Проведенный литературный анализ показал, что ходьба в жесткой обуви оказывает значительное воздействие на организм человека, причем наиболее сильно это проявляется у детей, поскольку связано с формированием опорно-двигательного аппарата ребенка в процессе его развития. Действующие в нашей стране нормы жесткости обуви (ГОСТ 14226—72) нельзя считать достаточно обоснованными, так как они установлены без учета влияния жесткости обуви при изгибе на функциональное состояние организма человека.

Показано, что для изучения влияния изгибной жесткости на организм человека необходим комплексный подход с использованием нескольких методик, позволяющих охарактеризовать биомеханику локомоции с различных сторон. Для этого рассмотрены существующие методы функциональной диагностики состояния



организма. Особое внимание при этом уделено электромиографии (ЭМГ) и вопросам изменения ЭМГ характеристик в процессе повышенной двигательной активности, т. е. до утомления. Отмечены работы В. С. Гурфинкеля, А. Н. Бравичева, Р. С. Персон, Я. П. Славущого, А. С. Витензона, И. П. Ратова о взаимосвязи между электрической активностью мышц и развиваемым ее усилием.

Показано, что большое значение имеют вопросы разработки соответствующих средств, методов измерения и контроля жесткости обуви, причем условия проведения испытаний должны быть максимально приближены к реально существующим при ее носке.

Приведен анализ методов и приборов для оценки жесткости обуви при изгибе, на основании которого разработан комплекс требований к конструкции прибора для испытания обуви на деформации изгиба.

Исходя из рассмотренных работ, показана необходимость в проведении комплексных исследований изгибной жесткости обуви с целью установления научно-обоснованных норм.

**Вторая глава** посвящена вопросам разработки новых метрологических средств измерения и оценки изгибной жесткости обуви.

На первом этапе решался ряд вопросов, связанных с выявлением основных переменных и возможных ограничений, необходимых для обоснования режимов работы и конструктивных решений наиболее важных узлов разрабатываемого прибора для определения жесткости обуви при изгибе. Поскольку главным требованием к прибору выдвигалось обеспечение возможности имитации условий испытания обуви, максимально приближенных к реально существующим в процессе ее носки, возникла необходимость изучения характера силового взаимодействия системы «стопа-обувь» в различных условиях статики и динамики у людей различных половозрастных групп.

Основными методами исследования процесса переката стопы и обуви по жесткому основанию являются оптические и электрические (гониометрия), где в качестве регистрирующего устройства используются потенциометры. Однако оба метода имеют ряд существенных недостатков, которые затрудняют их применение для оперативного изучения картины переката низа обуви при ходьбе. С целью повышения точности измерения и сокращения времени проведения исследований разработано съемное тензометрическое устройство для измерения угловых перемещений низа обуви. Данное устройство позволяет производить измерение угла изгиба подошвы без нарушения естественного характера переката низа обуви в процессе ходьбы. При этом сигнал на выходе тензопреобразователя имеет линейную зависимость от угла изгиба благодаря профильной накладке, для которой в зависимости от габаритов

конструктивных элементов гониометра приведен расчет основных параметров.

Изучение картины изменения угловых перемещений низа обуви в зависимости от различных факторов проводили на образцах туфель «лодочка», изготовленных по типовой технологии. В эксперименте участвовали женщины в возрасте  $18 \div 25$  лет, с нормальными стопами, средняя длина которых составляла  $240 \pm 2,5$  мм.

В результате проведенных исследований установлено, что динамика изгиба низа обуви при ходьбе представляет собой сложную картину, являющуюся результатом силового взаимодействия системы «стопа-обувь». При этом можно выделить четыре наиболее характерных участка изменения углового положения низа обуви, соответствующих укрупненным фазам шага при ходьбе. Значительные изменения угла изгиба низа обуви происходят в фазы: «перекат через пятку» ( $\alpha_1 = 6,9^\circ$ , за время 0,07 с от начала опоры) и «перекат через передний отдел» ( $\alpha_3 = 39,1^\circ$ , за время — 0,58 с от начала опоры). Наиболее интенсивно угловое положение низа обуви изменяется в фазе «перекат через передний отдел», что составляет 21,8% от общей длительности шага.

Большинство приборов и методов испытаний обуви и обувных материалов на деформации изгиба предусматривают их изгибание на угол  $25^\circ$ . Такой угол изгиба был выбран на основании среднестатических данных о механике изгиба обуви различной жесткости для разных категорий носчиков. Изгиб необутой стопы в естественных условиях составляет  $50-60^\circ$ . Существует мнение, что с увеличением высоты каблука угол изгиба низа обуви при ходьбе определяется как разность между углом изгиба стопы и углом приподнятости пяточной части стопы, определяемой высотой каблука. Исследование угловых перемещений низа при ходьбе женщин в обуви с высотой каблука 20; 40; 60; 80 мм показало, что, если согласно расчетным данным с увеличением высоты каблука от 20 до 80 мм угол изгиба обуви уменьшается с  $43,0^\circ$  до  $20,6^\circ$ , то в реальных условиях изменение угловых перемещений происходит в пределах от  $36,3^\circ$  до  $12,6^\circ$ . Несоответствие реальных и расчетных углов изгиба низа обуви объясняется наложением обувью дополнительных связей на работу стопы и ее изгиб в плюснефаланговом сочленении. Особенности строения и работы опорно-двигательного аппарата предопределяют легкую адаптацию организма человека к изменению условий его функционирования и проявляются в том, что с увеличением высоты каблука недостаток угловых перемещений плюснефалангового сочленения компенсируется за счет изменения угловых перемещений других сочленений нижней конечности.

Экспериментальное исследование влияния изгибной жесткости обуви на угловые перемещения низа производились на образцах



туфель с высотой каблука 20 мм, жесткостью — 2,5; 3,9; 5,5; 7,9; 9,0; 10; 3; 11,7; 13,1; 15,6;  $19,4 \cdot 10^2$  н/м.

Анализ результатов показал, что с изменением жесткости от 2,5 до  $7,6 \cdot 10^2$  н/м происходит резкое уменьшение угла изгиба обуви с  $38,7^\circ$  до  $28,6^\circ$ . Относительное изменение угла изгиба низа обуви составляет на этом интервале жесткости  $1,0 \cdot 10^2$  н/м.

В диапазоне жесткости  $7,6 \div 11,3 \cdot 10^2$  н/м относительное изменение угла изгиба значительно снижается и составляет  $0,26 \cdot 10^2$  н/м. При этом угол изгиба становится равным  $27,7^\circ$ . Дальнейшее увеличение жесткости обуви до  $19,4 \cdot 10^2$  н/м вновь приводит к быстрому возрастанию относительного изменения угла изгиба до  $0,64 \cdot 10^2$  н/м. Для обуви жесткостью  $19,4 \cdot 10^2$  н/м угол изгиба равен  $22,5^\circ$ . Снижение относительного изменения угла изгиба в интервале жесткости  $7,6 \div 11,3 \cdot 10^2$  н/м объясняется перераспределением работы мышц, участвующих в выполнении локомоторного акта.

Данные исследований угловых перемещений при ходьбе женщин и детей были учтены при обосновании режимов работы прибора для определения изгибной жесткости обуви. Далее обосновывалась конструкция и принцип работы прибора для оценки изгибной жесткости обуви. С этой целью был проведен кинематический анализ конструкций существующих приборов и устройств для определения жесткости обуви при деформациях изгиба. Эти приборы по принципу работы подразделяются на два типа: приборы, в которых изгиб обуви осуществляют за счет подъема носочной части при зафиксированной неподвижно пяточно-геленочной, и приборы, измеряющие усилия изгиба обуви при подъеме ее пяточно-геленочного участка. Поскольку большинство из этих приборов и устройств применяют в комплекте с разрывными машинами, при измерении усилий изгиба на таких приборах неизбежно возникают погрешности, вызванные силовым взаимодействием обуви, элементов конструкции устройств и измерительных элементов базовой машины (рис. 1 а, б).

На основе теоретических зависимостей составлена программа расчета погрешностей измерения при различных углах изгиба имитационных моделей, в результате реализации которой установлено, что с увеличением угла изгиба от 5 до  $25^\circ$  на приборах первого типа погрешности измерения усилий изменяются от 6,9% до 14,2%. Для приборов второго типа эти погрешности достигают 11,6%.

Была предложена схема нагружения обуви (рис. 1 в), которая предполагает, что усилие, регистрируемое силоизмерителем, является полной реакцией усилий изгиба, где исключаются погрешности, присущие рассмотренным приборам. При этом условия нагружения обуви приближаются к реально существующим в процессе ее носки. Согласно этой кинематической схеме разработан макет прибора для определения изгибной жесткости обуви. Прибор

позволяет создавать различные динамические режимы нагружения обуви, соответствующие динамическим и угловым перемещениям ее при ходьбе. Наличие электронной системы измерения, обработки выходных данных и управления работой механизмов и устройств упрощают работу прибора по заданной программе и визуальный контроль за исходящей информацией об изгибе обуви.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям влияния изгибной жесткости обуви на биомеханические параметры ходьбы детей.

При решении вопроса о нормировании жесткости обуви, для получения объективной информации о характере силового взаимодействия системы «стопа-обувь» необходимо использование, по крайней мере, трех методов исследования, позволяющих оценить временные, пространственные и энергетические параметры движения. В связи с этим изучение влияния изгибной жесткости обуви на организм детей осуществляли с помощью методов подографии, гонниометрии и электромиографии.

Весь комплекс исследований проводили на измерительном стенде (рис. 2), представляющем собой настил, покрытый металлической дорожкой длиной 10 м. В комплект стенда входили: регистрирующая аппаратура, система коммутирующих проводов. Регистрацию временных параметров ходьбы осуществляли с помощью контактных датчиков. Запись угловых перемещений низа обуви производили с помощью разработанного гонниометра. Для регистрации электрической активности мышц использовали четырехканальный электроэнцефалограф ЭЭГ-3 и интегратор с частотной модуляцией импульсного типа. На осциллографе Н-115 осуществлялась одновременная запись всех исследуемых параметров движения.

В эксперименте участвовали дети в возрасте 6—7 лет с нормальными стопами, средняя длина которых составляла  $200 \pm 2,5$  мм.

Обувь для исследований изготовляли в диапазоне жесткости  $2,5 \div 16,0 \cdot 10^2$  н/м.

Для проведения ЭМГ исследований были выбраны четыре мышцы голени: внутренняя головка икроножной мышцы — *m. gastrocnemius medial*; передняя большеберцовая — *m. tibialis anterior*; длинная большеберцовая — *m. peroneus longus*; камбаловидная — *m. soleus*.

С целью повышения оперативности обработки результатов эксперимента разработаны алгоритм и программа вычисления биомеханических параметров ходьбы, что позволяет рассчитывать на ЭВМ любую необходимую характеристику в относительных величинах в зависимости от задаваемых исходных параметров.

Для выбора режимов проведения эксперимента на первом этапе исследований изучали влияние различных факторов на величину

ну и характер ЭМГ сигнала, снимаемого с мышц голени детей. При этом изменялись: диаметр электродов, межэлектродное расстояние, степень прижатия электродов. На основании результатов эксперимента были выбраны параметры узла отведения биопотенциалов мышц голени: диаметр электродов 8 мм, межэлектродное расстояние 40 мм и способ закрепления электродов на ноге.

Анализ полученных данных показал наличие значительной вариации (до 23%) биомеханических параметров ходьбы испытуемых, причиной которой являются индивидуальная особенность походки, тренированность мышц, психологическое состояние ребенка.

Результаты подографических исследований ходьбы детей в обуви различной изгибной жесткости показывают, что с ее увеличением происходят значительные изменения продолжительности всех фаз и общей длительности шага, причем особенно явно они проявляются в фазах «опора на всю стопу» и «перекат через передний отдел». Наиболее значительные изменения длительности фаз шага наблюдаются при переходе от ходьбы без обуви к ходьбе в обуви, что объясняется естественной реакцией опорно-двигательного аппарата ребенка на изменение условий его функционирования. Эти изменения имеют место до значения жесткости обуви  $5,0 \cdot 10^2$  н/м. В интервале жесткости  $5,0 \div 8,1 \cdot 10^2$  н/м, эти изменения выражены не так явно и связаны с адаптацией испытуемых к хождению в обуви. Начиная с жесткости  $8,0 \cdot 10^2$  н/м наблюдается дальнейшее перераспределение длительности фаз шага. С увеличением жесткости обуви общая длительность шага сначала возрастает с 0,99 с при ходьбе в носках и до 1,04 с в обуви жесткостью  $2,5 \cdot 10^2$  н/м. В интервале  $2,5 \div 4,1 \cdot 10^2$  н/м длительность шага меняется незначительно. В дальнейшем длительность шага уменьшается, и для обуви жесткостью  $16,0 \cdot 10^2$  н/м равна 0,92 с.

Анализ результатов гоннометрических исследований ходьбы детей показал, что с увеличением изгибной жесткости обуви наибольшие изменения угла изгиба обуви происходят в фазе «перекат через передний отдел» (рис. 3 а). С изменением жесткости обуви с  $2,5 \cdot 10^2$  н/м до  $5,0 \cdot 10^2$  н/м угол изгиба уменьшается с  $28,6^\circ$  до  $24,0^\circ$ . Интенсивность изменения угловых перемещений низа обуви заметно снижается в интервале жесткости  $5,0 \div 8,0 \cdot 10^2$  н/м и равна  $0,3 \cdot 10^2$  н/м, что связано с реакцией организма на увеличение нагрузки на стопу. Дальнейшее увеличение интенсивности изменения угловых перемещений низа обуви с увеличением ее жесткости обеспечивается вовлечением в работу по изгибу обуви других групп мышц и изменением условий функционирования системы «стопа-обувь».

Данные электроподографических исследований (рис. 3 б) показывают, что при переходе от ходьбы в носках к ходьбе в обуви



жесткостью  $2,5 \cdot 10^2$  н/м резко возрастает электрическая активность всех исследуемых мышц голени, что связано с возрастанием мышечных усилий, необходимых для изгиба обуви и выполнения естественного акта ходьбы. Дальнейшее увеличение изгибной жесткости обуви по-разному влияет на величину и характер изменения электрической активности. При этом наиболее интересным является интервал жесткости  $7,1 \div 8,0 \cdot 10^2$  н/м. Значительные изменения работы мышц голени в этом интервале во все фазы шага объясняются тем, что возрастающие нагрузки на опорно-мышечный аппарат ребенка приводят к перераспределению степени участия мышцы в выполнении двигательного акта, часть нагрузки при этом ложится на другие мышцы стопы и голени, вынужденные работать в экстремальных условиях. Длительная эксплуатация обуви такой жесткостью может проявиться в компенсаторном перенапряжении мышц и возникновении статодинамических расстройств.

Таким образом, на основании результатов комплексных исследований ходьбы детей в обуви различной изгибной жесткости было выдвинуто предположение, что оптимальным ее пределом для детской обуви должна быть жесткость  $8,0 \cdot 10^2$  н/м. Превышение этого предела может привести к нежелательным последствиям в развитии опорно-двигательного аппарата ребенка.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям и разработке методических основ изготовления обуви с допустимым уровнем жесткости.

Анализ литературных данных, проведенный в первой главе, показал, что на изгибную жесткость обуви влияет большое количество факторов. Однако сведения о степени их влияния и роли в формировании изгибной жесткости обуви носят во многом противоречивый характер, что связано со сложностью сопоставления результатов исследования вследствие применения различных методик для количественной оценки изгибной жесткости обуви и ее деталей, а также существенным отличием физико-механических свойств исследуемых материалов.

В настоящее время для деталей низа обуви применяются самые разные по структуре и свойствам материалы. Оценка их жесткости производится разными методами и отличается условиями проведения испытаний (по методу балки, лежащей на двух опорах, консольной балки и т. д.). Для определения изгибающих усилий деталей на угол  $25^\circ$  за основу были взяты методики согласно ГОСТ 2187—74, 9718—67 и методика проведения испытаний на разработанном приборе.

При оценке изгибной жесткости обуви, изготовленной из различных материалов, необходимо, чтобы показатели, характеризующие это свойство обуви и деталей, составляющих систему низа, были сопоставимы.

Первый этап исследований заключался в установлении возможных связей между механическими свойствами материалов и усилиями их изгиба, определяемыми различными методами; между жесткостью на изгиб образцов деталей низа и изгибной жесткостью обуви.

Исследуемые материалы деталей низа соответствовали рекомендуемым требованиям по ГОСТ 179—74 и часто применяются для производства детской обуви на Могилевской опытно-экспериментальной фабрике. В качестве материала подошвы исследовали чепраки по ГОСТ 1010—78 Могилевского кожевенного комбината, пористую резину «Малыш» по ТУ 17-21-171-77 Кишиневского завода резино-технических изделий, полы и воротки по ГОСТ 1903—78 Могилевского кожевенного комбината, ватин и картон простилочный по ГОСТ 9842—75.

В результате проведения испытаний установлены корреляционные связи между механическими показателями свойств материалов: предел прочности при растяжении и усилиями изгиба образцов, жесткость при растяжении и усилиями изгиба образцов из этих материалов на угол  $25^\circ$  согласно методике по ГОСТ 9178—74. Наиболее тесные корреляционные связи существуют между жесткостью материалов при растяжении и усилиями изгиба (коэффициент корреляции находится в пределах  $0,762—0,820$ ).

На втором этапе исследовали корреляционные связи между усилиями изгиба одиночных материалов, определяемых по ГОСТ 9178—74 (образцы размером  $30 \times 150$  мм) и усилиями изгиба образцов, имитирующих низ обуви (размером  $80 \times 200$  мм), измеренные согласно ГОСТ 9718—67 и разработанной методике. Как и ранее, были установлены довольно тесные связи между усилиями изгиба образцов, измеренных различными методами. Коэффициент корреляции между жесткостью материалов и усилиями их изгиба по ГОСТ 9718—67 находится в пределах  $0,739 \div 0,912$ ; между жесткостью материалов, определяемой по ГОСТ 9187—74, и усилиями изгиба на разработанном приборе  $0,761 \div 0,887$ . Показано, что охарактеризовать поведение системы материалов и обуви при изгибе только по показателям механических свойств единичных материалов, составляющих эту систему, нельзя, поскольку не разработана физическая модель процесса изгиба обуви. Поэтому в дальнейшем для изучения возможностей оценки изгибной жесткости готовой обуви по поведению системы материалов, имитирующих низ, были найдены корреляционные связи между усилиями изгиба систем низа и обуви, определяемые по ГОСТ 9718—67 и разработанной методике (коэффициенты корреляции соответственно составили:  $0,859—0,933$  и  $0,921—0,944$ ).

Анализ литературных данных показал, что для конкретных видов обуви при прочих стабилизированных параметрах (методах

крепления, материал и конструкция верха, способ затяжки и др.) на изгибную жесткость особенно большое влияние оказывают толщина и модуль упругости деталей низа. Поскольку в настоящее время для деталей низа обуви используются материалы с широким диапазоном механических свойств, а между изгибной жесткостью обуви и усилиями изгиба системы материалов, имитирующих низ обуви, существует тесная корреляционная связь, проведено исследование влияния жесткости деталей низа на формирование изгибной жесткости обуви. В число основных исследуемых факторов были включены жесткость при изгибе стельки ( $X_1$ ), простилки ( $X_2$ ), подошвы ( $X_3$ ). Толщина деталей в системах соответствовала реальным средним толщинам деталей по данным Могилевской опытно-экспериментальной фабрики.

В результате проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ) типа  $2^3$  определено, что для материалов с рассмотренным уровнем варьирования жесткости при изгибе наиболее жесткий материал вносит основной вклад в формирование изгибной жесткости системы низа.

В детской обуви клеевого метода крепления со стелькой из натуральной кожи для снижения изгибной жесткости обуви целесообразно применять подошвы из материалов с небольшим модулем упругости (резины, эластичные кожи), поскольку в этом случае положение нейтрального слоя будет смещаться в область более жесткого материала, и на сжатие работает меньший участок поперечного сечения низа. В системах низа с жесткими подошвенными материалами целесообразно применять мягкие стелечные материалы, так как они лучше работают на сжатие, быстрее приформируются к стопе, что приводит к появлению продольной изгибающей волны и снижению усилий изгиба низа.

Исследование влияния толщины деталей низа на изменение ее изгибной жесткости осуществляли на системах материалов:

- 1) вороток + ватин + резина «Малыш»;
- 2) лапа + ватин + чепрак.

В результате реализации ПФЭ типа  $2^2$  получены уравнения, связывающие: изгибную жесткость низа обуви с толщиной стельки и подошвы:

$Y = 23,4 + 4,5X_1 - 8,6X_2$  — для системы: вороток + ватин + резина «Малыш»

$Y = 43,8 + 8,3X_1 + 3,7X_2$  — для системы: лапа + ватин + чепрак

Анализ моделей показал, что в системах низа с подошвой из эластичных материалов (резина «Малыш») изменение толщины деталей, в диапазоне толщин встречающихся на производстве, может привести к изменению жесткости обуви в два раза. В системах



низа с деталями из натуральной кожи такие изменения могут достигать 40%. Таким образом, для снижения изгибной жесткости низа обуви с кожаной подошвой необходимо варьировать толщиной стельки, а в системах с менее жестким низом (резина «Малыш») целесообразнее варьировать толщиной подошвы.

Дальнейшие исследования заключались в нахождении связи между жесткостью отдельных деталей и жесткостью систем материалов, имитирующих низ обуви. Анализ результатов показал, что связь между исследуемыми параметрами целесообразнее всего представить в виде линейной зависимости. Аппроксимация полученных данных методом наименьших квадратов позволила установить, что между исследуемыми параметрами существует связь, описываемая уравнением вида:  $D_{с. н.} = 2,54 \cdot \Sigma D$ , где:  $D_{с. н.}$  — изгибная жесткость системы низа обуви;  $D$  — жесткость отдельных деталей, входящих в систему низа.

Исследование изгибной жесткости обуви и жесткости соответствующих систем, имитирующих низ детской обуви показали, что жесткость верха составляет 18,5–19,3% от общей жесткости обуви. Зная суммарную жесткость детали низа, можно найти жесткость обуви. Это позволяет еще на стадии проектирования и производственной апробации обуви предсказывать изгибную жесткость разрабатываемой модели и предусмотреть выпуск продукции с показателем жесткости, не выходящим за пределы, установленные ГОСТ 14226—72.

Для удобства пользования полученными данными построена функция желательности для оценки жесткости готовой обуви по жесткости системы низа и суммарной жесткости отдельных деталей.

Разработаны алгоритм и программа расчета изгибной жесткости обуви для использования в системах АСТПП, что позволяет на основании результатов входного контроля жесткости отдельных материалов планировать выпуск изделий с заданным уровнем жесткости.

Использование в промышленности результатов диссертационной работы имеет социальное и технико-экономическое значение. Производственная апробация и внедрение расчетного метода предварительной оценки изгибной жесткости обуви на Могилевской опытно-экспериментальной фабрике позволили значительно упростить подбор рациональных систем материала низа. Применение оптимального сочетания толщин и жесткости деталей низа позволяет снизить себестоимость обуви благодаря повышению ценностного использования кожевенных материалов. Экономический эффект от внедрения составляет 52 074 руб. в год.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАБОТЕ

1. Анализ качества обуви показал, что, несмотря на признание показателя ее жесткости как одной из основных характеристик рациональности конструкции, это свойство изучено недостаточно, а существующие нормы нельзя признать обоснованными. Кроме того, анализ методик испытаний и конструкций приборов для измерения изгибной жесткости обуви показал, что условия проведения опытов далеки от реального нагружения обуви в процессе ее носки.

2. Разработана методика для исследования биомеханических параметров движения человека, которая включает: изучение энергетических, угловых и временных параметров ходьбы. Изготовлен стенд и разработано устройство для измерения угловых перемещений низа обуви при ходьбе.

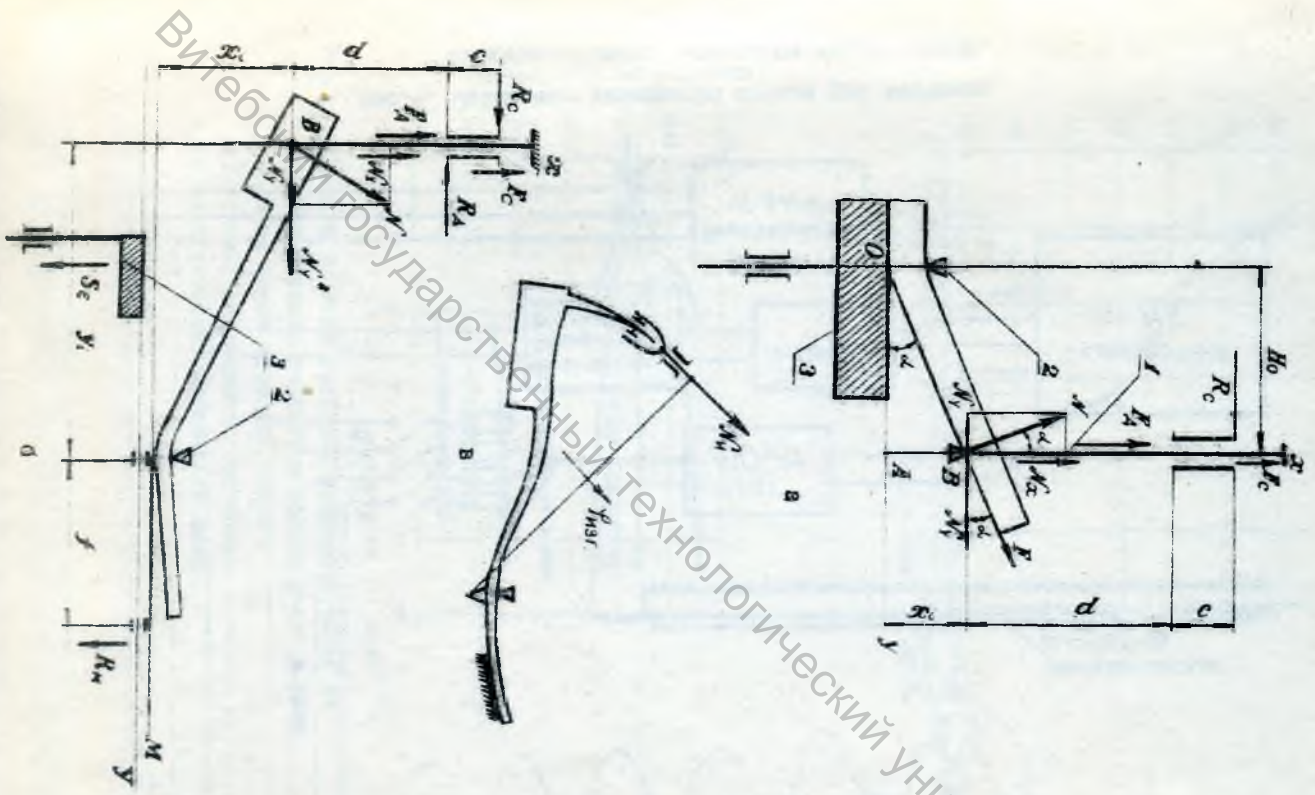
3. Изучено влияние высоты каблука и жесткости на угловые перемещения низа обуви при ходьбе женщин. Установлено, что с увеличением высоты каблука изменяется характер изгиба обуви при ходьбе, что необходимо учитывать в процессе разработки методик проведения испытаний и проектировании обуви. Результаты исследований позволили обосновать конструктивные параметры и режимы испытаний на приборе.

4. Установлено, что временные параметры ходьбы детей с увеличением жесткости обуви претерпевают значительные изменения. Наиболее характерным является интервал жесткости  $3,4—8,0 \cdot 10^2$  н/м, который характеризуется наиболее устойчивым соотношением отдельных фаз шага во время ходьбы. Интенсивность изменения угловых перемещений низа обуви заметно снижается в диапазоне жесткости  $5,0—8,0 \cdot 10^2$  н/м и составляет  $0,3 \cdot 10^2 \frac{\text{град}}{\text{н}}$

В этом интервале жесткости происходит наибольшее изменение и величины электрической активности мышц, изменяется степень их участия в выполнении двигательного акта. Дальнейшее увеличение жесткости связано с вовлечением в работу по изгибу обуви дополнительных мышечных групп опорно-двигательного аппарата и может привести к нежелательным последствиям в развитии стоп детей. На основании результатов исследований разработаны научно-обоснованные нормы изгибной жесткости детской обуви. Определена ее допустимая граница, которая составляет  $8,0 \cdot 10^2$  н/м.

5. Разработана методика и изготовлен прибор для определения изгибной жесткости обуви при одно- и многоцикловых деформациях ее изгиба. Установлено влияние жесткости отдельных деталей на изгибную жесткость низа обуви. Показано, что наибольший вклад в формирование жесткости обуви оказывает наиболее жесткий материал системы.

Рис. 1. Каналы течения воды нагруженными порнями в приборах различных типов.





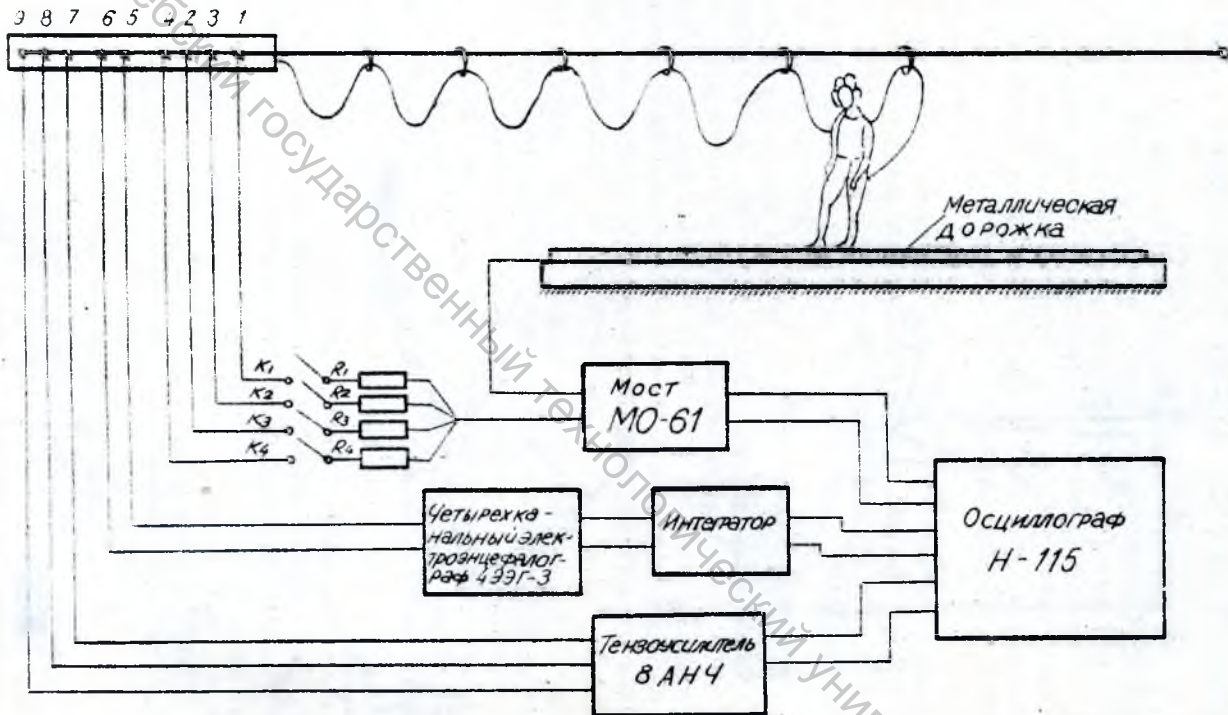
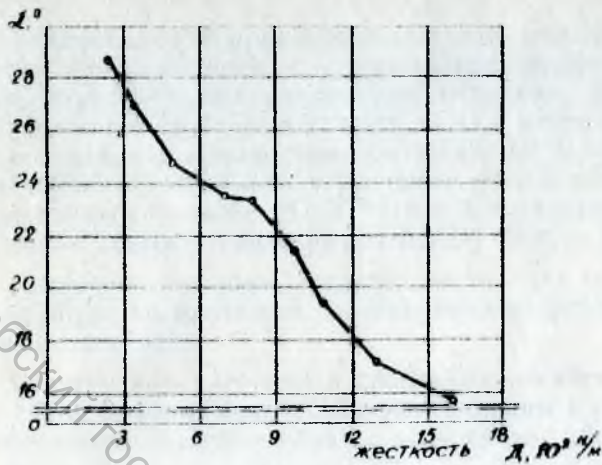


Рис.2. Схема измерительного стенда для изучения биомеханических параметров ходьбы детей.



в

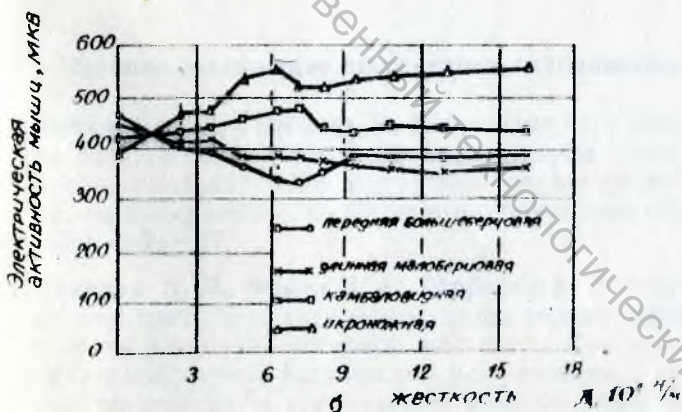


Рис. 3. Графики влияния изгибной жесткости обуви на биомеханические параметры ходьбы детей в фазе "перекат через передний отдел":  
 а) угловые перемещения подошвы;  
 б) электрическая активность мышц.

6. Установлены корреляционные связи между механическими свойствами материалов и усилиями изгиба образцов из этих материалов, определяемыми различными методами. Наиболее тесные корреляционные связи существуют между жесткостью материала при растяжении и жесткостью при изгибе  $0,762 + 0,820$ . Найдены корреляционные связи между усилиями изгиба систем низа обуви, определяемыми согласно ГОСТ 9718—67 и разработанной методике, которые соответственно равны  $0,859 + 0,933$  и  $0,921 + 0,911$ .

7. Построена функция желательности для оценки жесткости готовой обуви по жесткости системы низа и суммарной жесткости отдельных деталей.

8. Разработаны алгоритм и программа расчета изгибной жесткости обуви, которые могут быть использованы в системах АСТПП для обеспечения выпуска обуви с допустимым уровнем жесткости.

9. Результаты экспериментальных исследований внедрены на Могилевской опытно-экспериментальной фабрике детской обуви с годовым экономическим эффектом 52 074 рублей.

#### Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Ковалев А. Л., Горбачик В. Е. Влияние изгибной жесткости обуви на биомеханические параметры ходьбы детей.— В кн.: Стопа и вопросы построения построения рациональной обуви: Материалы 5-го пленума по стопе и рациональной обуви: М.: ЦИТО, 1980, с. 34—37.

2. Ковалев А. Л., Фукин В. А., Горбачик В. Е. Факторы, влияющие на электрическую активность мышц голени женщин при ходьбе в обуви различной изгибной жесткости: Тез. материалов республиканской научно-технической конференции. «Совершенствование технологии и организации производства на предприятиях бытового обслуживания».— Хмельницкий: ХТИБО, 1981, с. 261—262.

3. Ковалев А. Л., Фукин В. А., Горбачик В. Е. Исследование угловых перемещений подошв при ходьбе женщин в обуви различной изгибной жесткости.— В кн.: Совершенствование методов конструирования и технологии изделий из кожи. Сб. научн. тр. Моск. технологич. ин-т легкой пром-сти.: Легкая индустрия, 1983, с. 16—20.

4. Ковалев А. Л., Фукин В. А., Горбачик В. Е. Динамика изгиба деталей низа обуви при ходьбе.— Изв. вузов: Технология легкой пром-сти, 1984, № 1, с. 67—70.

Биологический факультет  
15-января  
Инв. № 8/к