

68534

Г 67

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
С С С Р

Московский технологический институт легкой промышленности

На правах рукописи

ГОРБАЧИК Владимир Евгеньевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕИМЫ  
ОБУВИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЕЁ  
УКРЕПИТЕЛЕЙ

/Специальность 05.397 (05.19.06)-  
Технология изготовления обуви/

Диссертация написана на русском языке

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА - 1974 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
С С С Р

Московский технологический институт легкой промышленности

На правах рукописи

ГОРБАЧИК Владимир Евгеньевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕИМЫ  
ОБУВИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЕЕ  
УКРЕПИТЕЛЕЙ

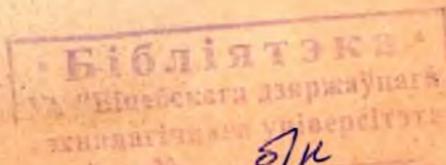
/Специальность 05.397 (05.19.06)–  
Технология изготовления обуви/

Диссертация написана на русском языке

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА – 1974 г.



Работа выполнена в Московском технологическом институте легкой промышленности.

- Научный руководитель - Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Ю.П.Зыбин.
- Консультант - Доктор технических наук, профессор Р.М.Шнейдерович.
- Официальные оппоненты - Доктор технических наук, профессор А.В.Шляхтин, кандидат технических наук, доцент Е.И.Буканков.
- Ведущее предприятие - Московское объединение обувных предприятий "Заря".

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " 1974г.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " 1974г. в

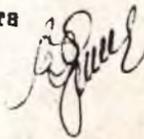
" \_\_\_\_\_ " час., в ауд " \_\_\_\_\_ " на заседании Совета технологического и механического факультетов Московского технологического института легкой промышленности.

Адрес: Москва, ИИИ27, ул. Осипенко, 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы и замечания по работе в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в Ученый совет института.

Ученый секретарь Совета  
института, доцент



В.В.Сторожев

Главная задача девятой пятилетки, определенная XXIV съездом КПСС, состоит в том, чтобы обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа.

Неуклонное повышение благосостояния трудящихся предполагает возрастание требований к внешнему виду и качеству выпускаемых товаров. Поэтому перед работниками обувной промышленности наряду с резким увеличением выпуска продукции поставлена задача значительного повышения ее качества, расширения и своевременного обновления ассортимента в соответствии с запросами потребителей.

Качество обуви зависит от ее удобства, гигиеничности, прочности и внешнего вида. Все эти показатели определяются прежде всего конструкцией обуви.

Создание рациональных конструкций обуви связано с изучением анатомо-физиологических и биомеханических особенностей стопы человека, взаимодействия стопы с обувью в процессе ее функционирования, изучением работы отдельных деталей и узлов обуви, и т.д. Кроме того, совершенствование технологии изготовления обуви, механизация и автоматизация производственных процессов, унификация технологической оснастки выдвигают на современном этапе развития производства настоятельные требования инженерного полхода к проектированию деталей и узлов обуви.

В последние годы проведена большая работа с целью внедрения в практику обувной промышленности инженерных методов конструирования обуви /работы Ю.П.Зыбина, Д.И.Анохина, В.Л.Раяцкаса, Т.Е.Акуловой, Т.С.Кочетковой, Г.И.Рослика, К.И.Ченцовой, О.В.Фарниевой, В.А.Фукина и др./.

Однако, наряду с значительными успехами в этой области ряд вопросов остается до конца не выясненным. К числу таких вопросов относится проектирование подсводной части обуви - переимы и ее укрепителей-геленков.

О том, что используется в настоящее время конструкции геленков не являются рациональными, свидетельствуют их частые поломки, смещение каблука назад в некоторых видах обуви и ряд других недостатков. Особую актуальность приобретает вопрос научно обоснованного проектирования переимы обуви и ее укрепителей в связи с широким внедрением новых материалов для производства отдельных деталей и обуви в целом.

Настоящее исследование посвящено изучению работы переимы обуви и разработке методики расчета ее укрепителей. Решение поставленной задачи проводилось по следующим основным направлениям:

1. Исследование влияния конструкций переимы обуви на работу сводов стопы.
2. Анализ способов укрепления переимы обуви, методов проектирования и испытания укрепителей переимы.
3. Определение нагрузок, воспринимаемых переимой обуви со стороны стопы как в статике, так и в динамике.
4. Исследование работы переименной части обуви.
5. Разработка методики расчета геленков на прочность.
6. Установление возможности применения разработанной методики для расчета различных конструкций геленков.
7. Разработка методики испытания геленков на прочность.

## Г Л А В А I

ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ РАБОТЫ СВОДОВ СТОПЫ, СПОСОБОВ  
УКРЕПЛЕНИЯ ПЕРЕЙМЫ ОБУВИ, МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И ИСПЫТАНИЯ УКРЕПИТЕЛЕЙ ПЕРЕЙМЫ

Перейма обуви призвана обеспечивать нормальное функционирование сводов стопы, предотвращение развития деформаций и патологических отклонений. Естественно, что разработка рациональной конструкции переймы и ее укрепителей должна в первую очередь базироваться на данных о строении и функции сводов стопы.

Анализ работ, посвященных этому вопросу, показал: несмотря на то, что от формы и упругости переймы в значительной степени зависит нормальное функционирование сводов стопы, большинство исследователей не увязывают работу сводов с конструкцией переймы обуви. В связи с этим в первой главе рассмотрено влияние конструкции переймы обуви на работу сводов стопы.

Было выдвинуто предположение, что в обуви с каблуком, если перейма обуви достаточно не укреплена или же форма ее не соответствует стопе, наружный свод терчет опору и стопа при этом, опираясь только на пятку и пучки, прогибается в области межпредплюсневых и предплюсноплюсневых суставов.

Для подтверждения этого предположения было проведено экспериментальное исследование давления наружного свода стопы на опору при подъеме пяточной и голени на каблук. Исследование проводилось на стопах детей дошкольного возраста, так как они наиболее чувствительны к различным изменениям конструкции обуви в связи со слабым мышечно-связочным аппаратом.

Особенностью конструкции обуви явилась предельно малая жесткость нитки, что было достигнуто отсутствием жесткой кожаной

стельки, наличием мягкой текстильной простилки, заменой кожаной подошвы на войлочную и отсутствием геленка.

Давление измерялось при помощи ртутного датчика, который закладывался между стопой и стелькой под отростком пятой плюсневой кости на расстоянии, примерно, 0,4 Д стопы. Исследование проводилось как в статике, т.е. приравномерной опоре на обе ноги, так и в динамике, т.е. при ходьбе ребенка. Высота каблука в обуви изменялась от 0 до 10 мм через каждый 2 мм.

Анализ полученных данных показал, что с увеличением высоты каблука давление в области наружного свода уменьшается постепенно, что свидетельствует о прогибе стопы в этом месте. При ходьбе прогиб свода увеличивается. Так, только при высоте каблука 8-10 мм давление наружного свода на опору равно нулю.

Следовательно, в обуви с каблуком при отсутствии жесткой опоры в переходе стопа прогибается в области наружного свода.

Это подтверждается также изучением износа подошв в конструкциях обуви, где перехома или совсем не укреплена или укреплена недостаточно /саидалии, детская обувь, резиновая, цельнолитая из пластмасс и т.д./. В такой обуви изнашивается не только передняя часть подошвы, что наблюдается в обуви с жесткими геленками, но и средняя часть, так как прогиб наружного свода вызывает прогиб подошвы и ее истирание в этом месте.

В стопах со слабым мышечно-связочным аппаратом такие многократные прогибы наружного свода при ходьбе могут привести к расстройству его функции, преждевременной утомляемости ног и явиться причиной развития продольного плоскостопия.

На основании вышеизложенного сделан вывод о необходимости надежного укрепления перехома для поддержания наружного свода

стопы при наличии каблука в обуви.

В этой же главе рассматриваются различные конструктивные решения создания жесткости переймы обуви. Показано, что жесткость переймы может быть обеспечена тремя путями: конструкцией наружных деталей низа /подошвы, каблука/, конструкцией внутренних деталей низа /отелек/, промежуточными деталями низа /геленками/.

Предлагается классификация геленков по следующим основным признакам: по форме, по расположению относительно деталей низа, по высоте каблука и по материалам.

Анализ существующих методов построения геленков показал, что в настоящее время форма и размеры поперечных сечений геленков устанавливаются только на основании опытных данных, проверенных многолетней практикой и личного опыта модельеров. Это зачастую приводит к излишнему расходу материалов и увеличению веса обуви, к несоответствию геленков предъявляемым к ним требованиям, т.е. в ряде случаев не обеспечивается необходимая жесткость переймы или прочность геленков оказывается недостаточной, что вызывает их частые поломки.

Так, исследования, проведенные на Московском объединении по ремонту обуви "Труд" и Витебской фабрики индивидуального пошива и ремонта обуви показали, что примерно в 25-30% обуви, ремонтируемой по дефекту "смена каблука", геленки сломаны. Причем наблюдается поломка как отечественных, так и импортных геленков различных марок. За год примерно у 4% от общего количества ремонтируемой обуви /включая средний и мелкий ремонт/ производится смена каблука. Следовательно, только в объединении "Труд" ежегодно расходуется более 500 рублей

на геленки для ремонта, не включая оплаты за работу по замене геленков, что по всему Советскому Союзу оставит значительную цифру.

Неомотря на большой процент поломки геленков, существующие в настоящее время методы их испытания не предусматривают возможности исследования прочностных характеристик геленков.

Следовательно, для создания рациональных конотрукций геленков необходимо разработать методику расчета и испытания их на прочность и жесткость.

## Г Л А В А П

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО УЧАСТКАМ ПЛАНТАРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТОПЫ В ОБУВИ В СТАТИКЕ И ДИНАМИКЕ

Для характеристики работы переймы обуви и проектирования ее укрепителей необходимо иметь данные о нагрузках, действующих на этот участок обуви.

В результате рассмотрения работ, посвященных изучению распределения давления по плантарной поверхности стопы, установлено, что для характеристики работы переймы обуви и разработки методики расчета геленков в изложенных работах недостаточно освещены следующие вопросы, которые рассматриваются дальше: распределение нагрузки по отделам стопы в обуви при равномерной опоре на обе ноги; давление отделов стопы на след обуви при ходьбе; нагруженность переймы в обуви с различной высотой каблука.

Анализ различных методов исследования распределения давления по подошве стопы показал, что все методы с точки зрения

способов оценки нагрузки и применяемых для этой цели приборов можно объединить в следующие группы: физико-механические, анатомио-физиологические, пневмо-гидравлические, электрические.

Методы исследования распределения давления по опорной поверхности стопы, входящие в каждую из рассмотренных групп, в отдельности обладают определенными достоинствами и недостатками. Однако, при оценке их с точки зрения возможности использования в настоящем исследовании возникло два существенных замечания: во-первых, большинство существующих методов дает возможность оценивать степень нагруженности различных частей стопы только при опоре ее на плоскость, во-вторых, в тех методах, которые позволяют исследовать распределение давления по подошве стопы в обуви, используются датчики небольших размеров, которые регистрируют опорные реакции, действующие на отдельные точки стопы. При этом часть нагрузки воспринимается помимо датчиков, поверхностью стельки, что не позволяет определить общую нагрузку на тот или иной отдел стопы.

В связи с этим нами была разработана новая методика исследования распределения давления по отделам стопы в обуви.

Для измерения давления использовались специально разработанные датчики, верхняя поверхность которых представляет собой точную копию следа походки, разделенную на четыре самостоятельные части. Каждый датчик измеряет давление определенного отдела стопы: пятки, области сводов, плюсно-фалангового сочленения и пальцев. Такая разбивка следа позволила исследовать давление по отделам стопы в статике и в динамике, так как не препятствовала изгибу низа обуви при ходьбе.

Датчик состоит из двух металлических пластин, по формам и размеру соответствующих определенному участку следа колодки.

Между пластинами по краям проложен слой монолитной резины.

Замкнутый объем датчика через трубку соединяется с металлическим цилиндром, одним из оснований которого служит мембрана, на которую наклеен тензодатчик. Весь объем датчика заполняется водой.

Исследование распределения давления по отделам стопы проводилось в обуви специальной конструкции с высотой каблука 0; 20; 40 и 60 мм. Обувь с высотой каблука 20; 40 и 60 мм изготовлялась на колодках 23,5 размера, 4-ой полноты, которые соответствовали чертежам базовых колодок ЦНИИКиА по ГОСТ 3927-64. Обувь без каблука изготовлялась на специально сконструированных колодках с плоским следом, что равносильно опоре на плоскость.

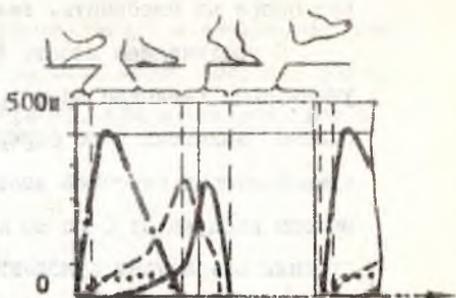
Для проведения эксперимента были обмерены стопы 60-ти студенток в возрасте 20-25 лет, носящих средний размер обуви 23,5. С каждой стопы снимали комплексную плантограмму, которая затем оценивалась визуально и с помощью расчетно-графического метода. Из обмеренного коллектива было отобрано 10 человек с нормальными стопами.

Статистическая обработка результатов наблюдений, полученных у 10-ти носчиков, показала, что средние значения с достаточной достоверностью характеризуют количественное распределение давления по подошве стопы у разных людей.

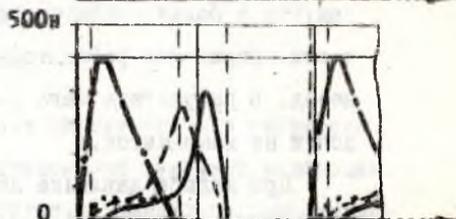
Анализ полученных данных показал, что при стоянии как в обуви без каблука /на плоскости/, так и в обуви с каблуком высотой 20; 40 и 60 мм основная нагрузка /42-48%/ падает на пяточную часть /рис.1, а/. Сравнительно большая нагрузка воспринимается геленочной частью обуви, порядка 13% веса тела человека, приходится на одну ногу. Это говорит о том, что стопа в

100%

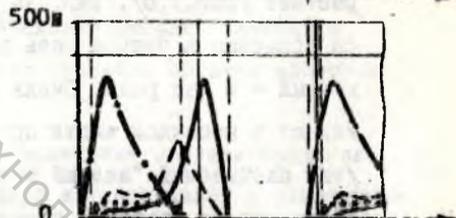
$H_K = 0 \text{ мм}$



$H_K = 20 \text{ мм}$



$H_K = 40 \text{ мм}$



$H_K = 60 \text{ мм}$

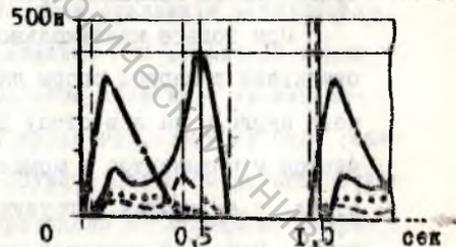
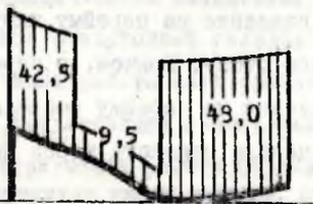


Рис. 1. Диаграмма давления отсеков стопы на одежде обуви в статике (а) и динамике (б).

Условные обозначения: носочный отсек —————  
 пучковый отсек - - - - -  
 гелевый отсек .....  
 пяточный отсек ————

области наружного свода оказывает значительное давление как при опоре на плоскость, так и в обуви.

С увеличением высоты каблука обуви наблюдается некоторое уменьшение давления на пяточную часть и увеличение на переднюю. Однако, значительного перераспределения давления с увеличением приподнятости пяточной части не происходит. Так при изменении высоты каблука от 0 до 60 мм нагрузка на передний отдел при стоянии возрастает приблизительно на 10%. Это можно объяснить тем, что у большинства здоровых людей при подъеме пяточной части происходит рефлекторное смещение общего центра тяжести назад. В результате чего распределение нагрузки по отделам стопы почти не изменяется.

При ходьбе давление на все отделы стопы значительно возрастает /рис. I, б/. Так, на пяточный отдел давление увеличивается примерно в четыре раза по сравнению со статикой, на геле-ночный - в два раза. Очень большие динамические нагрузки возникают в носочной части при отталкивании стопы от опоры /так называемый "задний толчок"/. Увеличение давления по сравнению со статикой происходит в 8-10 раз.

При ходьбе максимальное давление на перейму наружный свод оказывает в период опоры на всю стопу. Причем, в середине опорного периода на всю стопу давление на перейму несколько снижается и повышается в момент начала переката через передний отдел, т.е. кривая нагрузки на перейму имеет двухвершинную форму. Основной причиной уменьшения давления в этот период следует считать задний толчок другой ноги, вертикальная составляющая которого создает усилие, направленное вверх, что эквивалентно кратковременному уменьшению веса тела.

Таким образом, в результате проведенного исследования пределов давления отделов стопы на след обуви получены данные о нагрузках, действующих на перейму, как в статике, так и в динамике.

### Г Л А В А Ш.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕИМЫ ОБУВИ И ЕЕ УКРЕПИТЕЛЕЙ.

Для расчета укрепителей переймы на прочность и жесткость наряду с общими нагрузками, действующими на перейму, необходимо иметь данные о работе этой части обуви, о характере напряженного состояния ее укрепителей, расположении опасных сечений и т.д. В рассмотренной нами литературе сведений по этим вопросам не имеется.

Перейма обуви в подавляющем большинстве случаев представляет собой сложную систему, состоящую из материалов с различными физико-механическими свойствами /кожаная стелька + металлический геленок + картонный геленок + кожаная или резиновая подошва/. Изучение работы всехлагаемых этой системы и их взаимодействия представляет значительные трудности. Поэтому было решено характеризовать работу переймы обуви в целом по работе металлического геленка, для чего было проведено исследование напряженного состояния геленка в статике и динамике.

Для исследования использовались специально изготовленные металлические балки, которые заменяли геленок в обуви. В отличие от геленка, имеющего переменное по длине поперечное сечение и сложную его форму, поперечное сечение балок было постоянно по всей длине и имело вид прямоугольника, ширина кото-

рого равнялась ширине геленка в месте нахождения ребра жесткости, а высота рассчитывалась, исходя из равенства моментов инерции поперечных сечений геленка и балки. Такая форма балки позволяла получить точную картину распределения напряжений вдоль продольной оси, чего трудно достичь при использовании геленков, применяемых в производстве обуви.

Равенство моментов инерции поперечных сечений балки и геленка и одинаковые механические свойства их материалов позволили получить одинаковую жесткость сечений при изгибе.

Для анализа распределения нормальных напряжений по длине балки использовался тензометрический метод исследования продольных деформаций наружных волокон балки в процессе её работы.

Для измерения деформации наружных волокон балки на неё наклеивалось 20 проволочных тензодатчиков ( по десять с каждой стороны), что дало возможность получить данные о напряжениях в десяти сечениях по длине балки и составить общую картину её напряженного состояния.

Для анализа работы перефем обуви в динамике одновременно с регистрацией напряжений в сечениях балки проводились биомеханические исследования временных параметров ходьбы. Фазы шага фиксировались специально разработанными контактными датчиками, которые располагались в пяточной, пучковой и носочной частях подошвы.

Анализ результатов исследования напряженного состояния балки - геленка у 10 носчиков показал, что общая картина нагружения перефем обуви у всех носчиков в процессе функционирования в основном одинакова:

- при одевании обуви на ногу происходят изгиб геленка выпуклостью вверх, т.е. в сторону стопы за счет деформации обуви стопой. В его сечениях при этом возникают отрицательные изгибающие моменты. Максимальные значения отрицательных

напряжений наблюдаются в сечениях, расположенных в середине балки /рис.2а/;

- при равномерной опоре на обе ноги под действием давления, оказываемого наружным сводом стопы на перемычку обуви, геленок прогибается в противоположную сторону, т.е. выпуклостью вниз. Изгибающие моменты, действующие в сечениях геленка, при этом меняют знак на противоположный. Эпюра напряжений имеет вид кривой с одним максимумом /рис.2,б/. Наибольшие значения напряжений возникают в сечениях геленка, расположенных около линии фронта каблука;

- при ходьбе под действием переменных по величине и направлению нагрузок напряжения в сечениях геленка меняются как по величине, так и по знаку. При этом характер изменения напряжений во времени при ходьбе во всех сечениях и у всех носчиков одинаков.

В переносный период /рис.3, фаза А/ в сечениях балки-геленка наблюдаются отрицательные напряжения, вызванные изгибом геленка в сторону стопы при одевании обуви. Абсолютные значения напряжений и вид эпюры в эту фазу такие же, как и в положении "нога на весу".

В фазу переката через пятку /рис.3, фаза Б/ отрицательные напряжения значительно возрастают в течение короткого промежутка времени, что объясняется ударными нагрузками, возникающими в момент касания каблуком опоры.

В фазу опоры на всю стопу /рис.3, фаза В/ напряжения меняют знак на противоположный и достигают максимальных значений за весь период шага. По сравнению со статикой напряжения возрастают примерно в 2-2,5 раза. Наибольшие значения напряжений наблюдаются как и при стоянии в сечениях, расположенных около

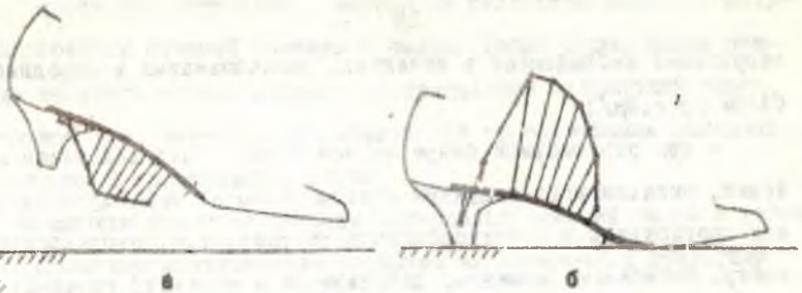


Рис. 2. Эпюры действительных напряжений в сечениях балки - голеника в положении "нога на весу" и при стоянии.

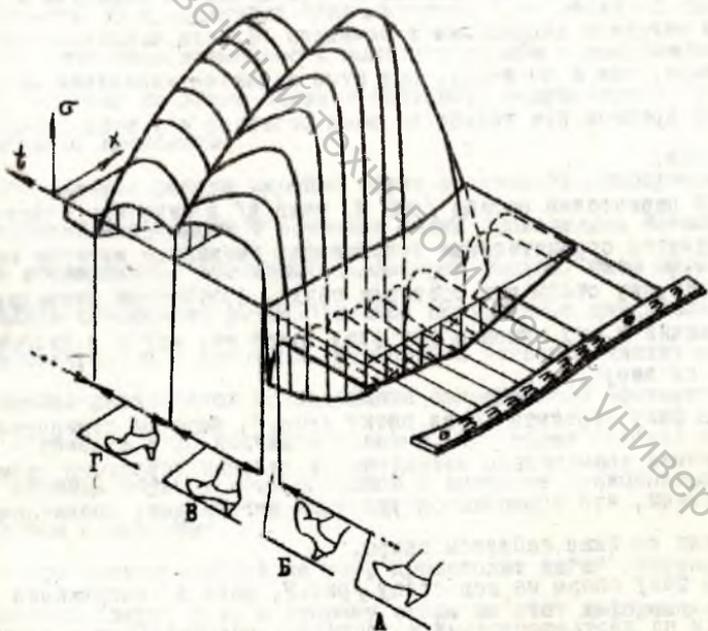


Рис. 3. Эпюры действительных напряжений в сечениях балки - голеника при ходьбе.

линии фронта каблука. Это хорошо подтверждается результатами осмотра поломанных при носке обуви геленков.

К концу периода опоры на всю стопу в результате смещения центра тяжести вперед и уменьшения давления на переднюю часть стопы наружного свода стопы напряжения уменьшаются, достигая, примерно, половины величины максимальных значений.

В фазу переката через передний отдел /рис. 8, фаза 1/ напряжения в сечениях геленка снова возрастает. Это объясняется изгибом обуви в эту фазу шага. Затем напряжения резко уменьшаются и достигают начальных значений в переносный период, меняя при этом знак на противоположный. Далее цикл повторяется.

Биомеханическое исследование временных параметров ходьбы с помощью методики подографии показало, что чередование отдельных фаз шага при ходьбе представляет собой устойчивый двигательный стереотип, характеризующийся определенными временными соотношениями. Для расчетов отдельных деталей обуви можно с достаточной точностью пользоваться средними величинами временных параметров шага. Время действия отрицательных и положительных напряжений в сечениях геленка в течение шага примерно одинаково.

В разработанной методике было принято работу переды обуви характеризовать по работе металлической балки-геленка. Для подтверждения этого положения и оценки ошибки, возникающей при этом, было проведено теоретическое и экспериментальное исследование влияния остальных деталей переды на работу металлической балки-геленка. Это влияние оценивалось сопоставлением напряжений, возникающих в поперечных сечениях металлической балки-геленка, когда нагрузка воспринимается в одном случае всеми деталями переды, а в другом - только металлическим геленком.

Система деталей низа в области переймы рассматривалась как балка разнородной упругости. При этом было сделано допущение, что разнородные элементы, из которых изготовлена балка, соединены друг с другом так, что обеспечена их совместная работа, а материалы их подчиняются закону Гука.

Проведенные расчеты показали, что разница между величинами напряжений наружных волокон металлической балки-геленка в первом и во втором случае составила 14,1%.

Исходя из того, что деформация балки при изгибе, а следовательно и напряжения в ее сечениях, пропорциональны жесткости балки, можно сделать вывод, что жесткость переймы в основном обеспечивается металлическим геленком и он воспринимает основную часть нагрузки, действующей на перейму обуви. Экспериментальное исследование данного вопроса подтвердило полученные результаты. Следовательно, для характеристики работы и расчета переймы на прочность и жесткость можно пользоваться данными, полученными при исследовании работы металлического геленка. Ошибка в этом случае составит не более 15%.

Таким образом, в результате исследования работы переймы обуви установлен неизвестный ранее факт, что во время ходьбы напряжения в сечениях геленка меняются как по величине, так и по знаку, т.е. геленок подвергается действию знакопеременных циклических напряжений.

Это обстоятельство является причиной частых поломок геленок в процессе носки обуви, так как при действии переменных напряжений разрушение материалов происходит при значительно меньших напряжениях, чем при статическом нагружении.

Установленный факт в корне меняет представление о работе укрепителей переймы обуви и определяет методику их расчета на прочность.

Г Л А В А I V .

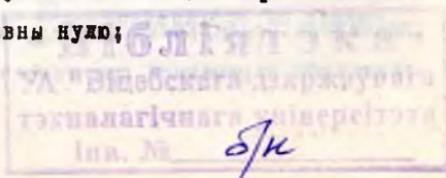
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГЕЛЕНКОВ НА ПРОЧНОСТЬ .

В данной главе доказано, что при расчете геленков на прочность его изогнутую ось в расчетной схеме можно заменить прямой осью, т.е. рассматривать геленок как прямую балку, так как отношение радиуса оси к высоте поперечного сечения у всех геленков гораздо больше 5.

Показано также, что в действительности геленок в обуви нужно рассматривать, как балку на упругом основании с коэффициентом постели, зависящим от ее длины. Однако, расчет коротких балок на упругом основании довольно сложен, если к тому же учесть, что коэффициент податливости основания не известен. Поэтому, для практического инженерного метода расчета без больших погрешностей, идущих в запас прочности, можно в расчетной схеме принять опоры шарнирными. Учитывая, что на пяточном конце закрепление геленка более жесткое, в этом месте была принята шарнирно-неподвижная опора, а на пучковом конце - шарнирно-подвижная, так как возможность смещения геленка параллельно плоскости опоры здесь значительно больше.

Установлено, что реальные нагрузки, действующие на геленок, в расчетной схеме можно заменить только распределенной нагрузкой, интенсивность которой меняется по длине балки.  $-q = f/x$ . Это объясняется следующими исходными предположениями:

- во-первых, при расчете геленков на прочность целесообразно принять наиболее неблагоприятный случай, когда внешние силы, действующие на геленок при одевании обуви и вызывающие отрицательные напряжения в его сечениях, будут равны нулю;



- во-вторых, при стоянии давление от костного скелета стопы передается на перемычку через мягкие ткани, которые рассредотачивают его. Следовательно, на геленок со стороны наружного свода стопы действует сплошная распределенная нагрузка;

- в-третьих, нагрузка на перемычку обуви со стороны стопы действует не перпендикулярно оси геленка, а под некоторым углом, величина которого зависит от высоты каблука. В тех конструкциях, где металлический геленок прочно скрепляется со стелькой, на него кроме распределенной нагрузки перпендикулярной оси будут действовать и продольные силы. Однако, действием этих сил можно пренебречь, так как показано, что напряжения от продольных сил в опасной зоне балки-геленка составляют порядка 1,5% значений напряжений от изгибающих моментов.

Закон изменения интенсивности нагрузки  $q = f/x$  определялся, исходя из распределения напряжений по длине балки-геленка, с использованием дифференциальной зависимости между изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки.

Для аналитического выражения зависимости  $\sigma = f/x$  использовались экспериментальные данные, полученные в предыдущей главе.

Исходя из методики проведения эксперимента по исследованию напряженного состояния балки-геленка в обуви, показано, что зависимость между напряжением и длиной балки-геленка относится к типу зависимостей случайной переменной  $y$  от неслучайной переменной  $x$ . В этом случае при нахождении уравнения приближенной регрессии предполагается, что при каждом фиксированном значении аргумента  $x$  распределенных зависимой переменной  $y$  подчинено нормальному закону, а величина условной дисперсии зависимой переменной при изменении аргумента остается неизменной.

проверка гипотезы нормальности распределения проводилась по совокупности малых выборок и показала, что распределение зависимой переменной  $y$  при каждом фиксированном значении  $x$  подчинено нормальному закону.

Сравнение выборочных значений дисперсий зависимой переменной  $y$  при каждом фиксированном значении  $x$  с помощью критерия Кохрана подтвердило незначимость расхождений между ними.

Анализ смещения рядов распределения зависимой переменной  $y$  с увеличением  $x$  показал, что исконая кривая регрессии может быть описана параболой  $n$ -ого порядка. Подтверждением данного предположения служит тот факт, что на геленон действует только распределенная нагрузка, а, следовательно, эпюра напряжений будет иметь вид параболы. Исходя из этого, исследуемая зависимость

$\sigma = \phi(x)$  аппроксимировалась полиномом вида

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Степень и коэффициенты аппроксимирующего полинома определялись по данным выборки путем последовательных уточнений.

В качестве критерия прекращения вычислений рассматривалась дисперсия:

$$D_n = \frac{1}{k(n+1)} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - a_0 - a_1x_i - \dots - a_nx_i^n)^2$$

где:  $k$  - количество точек с координатами  $(x_i, y_i)$

$n$  - степень полинома

$l = n+1$  - число связей, накладываемых на выборку функцией

$$y = \phi(x)$$

Значимость различия между  $D_{n+1}$  и  $D_n$  проверялась по критерию Фишера

$$\frac{D_n}{D_{n+1}} > F_{l-p}$$

Уровень значимости  $P$  был выбран равным 0,05.

Определение коэффициентов полинома проводилось по методу наименьших квадратов.

Все расчеты были выполнены на ЭВМ М - 220 в вычислительном центре ВЦНИИПМ и ЭВМ "Наири" в вычислительном центре МТИЛПа.

Установлено, что зависимость между напряжениями в сечениях балки-геленка и длиной балки может быть выражена уравнением регрессии вида:

$$\sigma = -96,26 + 178,568x + 0,4296x^2 - 2,2068x^3$$

Отклонение расчетных значений от экспериментальных при этом составляет в среднем 5,7%. В этом случае интенсивность распределенной нагрузки будет меняться по длине балки по линейной зависимости. Причем, место пересечения линии нагрузки с осью балки расположено на расстоянии 0,6 мм от места закрепления балки в пучковой части, т.е. от начала координат. Пренебрегая этой незначительной величиной, в расчетной схеме было принято, что на геленок действует сплошная распределенная нагрузка, интенсивность которой меняется по длине балки по закону треугольника.

Величина общей /суммарной/ нагрузки, действующей на балку-геленок со стороны стопы, подсчитанная по уравнению, выражающему закон изменения интенсивности нагрузки по длине балки, будет составлять, примерно, 12% веса тела человека, приходящегося на одну ногу.

Но так как расчеты на прочность ведутся по максимальным нагрузкам, действующим на деталь, необходимо установить наибольший вес людей, которые будут носить данную обувь. Для этого предлагается использовать связи между ростом и весом человека и ростом и длиной стопы.

таким образом, при расчете на прочность реальную конструкцию геленка в обуви можно заменить расчетной схемой прямой балки, лежащей на шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорах и нагруженной сплошной распределенной нагрузкой, интенсивность которой изменяется по длине балки по закону треугольника. Величина суммарной нагрузки, действующей на геленок, будет составлять 12% приходящегося на одну ногу наибольшего веса людей, которые будут носить данную обувь.

Нахождение опасного сечения геленка и величины максимальных напряжений в этом сечении проводится по обычной методике расчета аналогичных балок, что подробно разбирается в данной главе.

Ранее было установлено, что при ходьбе напряжения в сечениях геленка меняются как по величине, так и по знаку. В связи с этим необходимо обязательно проводить расчет геленков на усталостную прочность.

Анализ изменения напряжений в сечениях балки-геленка при ходьбе показал, что цикл изменения напряжений, как правило, несимметричен /характеристика цикла  $Z = -0,6$ /. Однако, значительная вариация значений  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$  у разных носчиков дает основания предположить, что у некоторых людей напряжения могут изменяться и по симметричному циклу, при котором предел выносливости материала имеет наименьшее значение.

Поэтому, в разработанной методике расчет геленков на усталостную прочность предлагается проводить как при несимметричном цикле с характеристикой  $Z = -0,6$ , так и при симметричном цикле  $Z = -1$ .

При этом величина максимальных напряжений при несимметричном цикле принимается в 2 раза больше по сравнению с расчетными

значениями напряжений в опасном сечении геленка при статическом действии нагрузки. При симметричном же цикле эта величина уменьшается на 20%, что установлено на основании экспериментальных данных. Объясняется это тем, что увеличение отрицательных напряжений при одевании обуви, которое ведет к увеличению абсолютных значений  $\sigma_{\min}$  в фазу переката через пятку, уменьшает величину положительных напряжений  $\sigma_{\max}$  в фазу опоры на всю стопу.

Расчитанные величины максимальных напряжений в опасных сечениях геленков затем сравниваются с подсчитанными допускаемыми напряжениями и дается заключение о прочности той или иной конструкции геленка.

Экспериментальная проверка методики расчета геленков на прочность, проведенная на геленках марок С-2 и Гс-2 путем тензометрического исследования напряжений наружных волокон показала, что разработанная методика позволяет с достаточной точностью определять напряжения, возникающие в опасной зоне геленков, и может быть использована для расчета различных конструкций геленков.

## Г Л А В А У

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ ГЕЛЕНКОВ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Необходимость проверки прочностных характеристик новых конструкций геленков и осуществления выборочного контроля их качества при массовом производстве выдвигает требование создания методики испытания геленков на усталостную прочность.

Для этих целей нами разработаны специальный прибор и методика испытания геленков на усталость.

Принципиальная схема прибора заключается в следующем: пяточный конец геленка заземляется в зажиме по наиболее опасному сечению, а на пучковый конец действует такая сила, которая обеспечивает в сечении у заделки требуемые напряжения. Нагружение геленка переменными симметрично изменяющимися силами осуществляется приводом с регулируемым эксцентриком. Частота изменения напряжений может регулироваться от 300 до 600 цикл/мин,

В приборе предусмотрена регулировка зажима поточного конца геленка по высоте, что позволяет создать в сечениях геленка предварительное напряжение постоянной величины и тем самым получить несимметричный цикл изменения напряжений с любой характеристикой цикла.

Методика проведения испытаний в целом довольно несложна. Перед началом испытания рассчитывается стрела прогиба пучкового конца геленка, т.е. величина эксцентриситета настройки прибора. Она вычисляется графо-аналитическим способом, исходя из схемы нагружения геленка в приборе и заданной амплитуды колебаний напряжения в сечении геленка, расположенном в месте заземления. Полученная величина прогиба устанавливается на эксцентрик, геленок закрепляется в приборе и включается электродвигатель. Число циклов испытания фиксируется счетчиком. Если испытания геленка проводятся при несимметричном цикле изменения напряжений, то дополнительно определяется среднее напряжение цикла  $\sigma_m$  и вычисляется прогиб пучкового конца балки, соответствующий этому напряжению в месте заземления геленка. На полученную величину прогиба смещается зажим пяточного конца геленка по отношению к своему положению при симметричном цикле изменения напряжений.

В работе дан проверочный расчет прочности и результаты испытания на усталость геленков С1-2, которые наиболее широко

используются в промышленности в настоящее время.

проведенный расчет показал, что наиболее опасным в данном геленке является сечение, расположенное в месте нахождения отверстия для крепления геленка в пяточной части. Здесь при ходьбе возникает напряжения больше допустимых.  $\sigma_{max} \approx 3000 \text{ кг/см}^2$

В результате испытания геленков на усталость по разработанной методике на новом приборе установлено, что в опасном сечении при расчетных напряжениях материал геленка выдерживает в среднем  $1,5 + 1,5$  млн. циклов изгибов, что меньше установленного исходя из сроков носки обуви предела  $2,0 + 2,5$  млн. циклов.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в обуви с каблуком при отсутствии жесткой опоры в перейме стопы прогибается в области наружного свода. Это приводит к преждевременному утомлению мышц ног и может явиться причиной развития плоскостопия. В соответствии с этим необходимо надежно укреплять перейму в обуви, имеющей каблуки даже небольшой высоты.

2. Дана систематизация конструктивных решений создания жесткости в перейме обуви и классификация используемых для этой цели геленков. Показано, что в настоящее время построение большинства конструкций укрепителей переймы ведется на основе данных многолетней практики, без достаточного обоснования их формы и размеров, что зачастую приводит к нерациональным конструктивным решениям и вызывает их частые поломки.

3. Для определения нагрузок, действующих на перейму обуви со стороны стопы, разработана новая методика исследования распределения давления по плантарной поверхности стопы в обуви

как при стоянии, так и при ходьбе. Установлен общий характер распределения давления по участкам подошвенной поверхности стопы в обуви с различной высотой каблука как в статике, так и в динамике.

при стоянии как на плоскости, так и в обуви с различной высотой каблука основная нагрузка /42-48% от веса тела, приходится на одну ногу, падает на пяточную часть. Сравнительно большая нагрузка воспринимается перемой обуви /порядка 13% веса тела человека, приходящегося на одну ногу/.

С увеличением высоты каблука обуви значительного перераспределения давления между отделами стопы не происходит. При изменении высоты каблука от 0 до 60 мм нагрузка на передний отдел при стоянии возрастает на 8-10%.

При ходьбе давление на все отделы стопы значительно возрастает. Максимальное давление наружный свод оказывает в период опоры на весь стопу, причем оно возрастает примерно в два раза по сравнению со статикой.

4. Разработана методика экспериментального изучения работы перемы обуви. Для этой цели предложено использовать тензометрический метод исследования напряженного состояния геленка как в статике, так и в динамике.

Анализ результатов исследования напряженного состояния геленка показал, что общая картина нагружения перемы обуви у всех носчиков в процессе функционирования в основном одинакова:

- при одевании обуви на ногу стопа деформирует ее, в результате чего происходит деформация деталей низа обуви и, как следствие этого, изгиб геленка выпуклостью вверх, т.е. в сторону стопы. При этом в сечениях геленка возникают отрицательные изгибающие моменты;

- при равномерной опоре на обе ноги геленок изгибается в противоположную сторону, т.е. выпуклостью книзу, что является результатом действия давления наружного свода стопы на перемычку обуви. Изгибающие моменты, действующие в сечениях геленка, при этом меняют знак на противоположный;

- при ходьбе на геленок действуют переменные по величине и направлению динамические нагрузки.

5. Впервые дано объяснение частым поломкам металлических геленок в процессе эксплуатации обуви. Причиной этого является тот факт, что во время ходьбы в сечениях геленка возникают знако-переменные циклические напряжения.

В динамические напряжения в сечениях геленка достигают максимальных значений в период опоры на всю стопу, возрастая в 2-2,5 раза по сравнению со статикой. Время действия отрицательных и положительных напряжений в сечениях геленка в течение шага примерно одинаково.

Установлено, что как при стоянии, так и во время ходьбы наиболее опасными являются сечения геленка, расположенные около линии фронта каблука, что подтверждается результатами осмотра поломанных при ношке обуви геленок: излом геленок происходит преимущественно в зоне, расположенной около фронта каблука.

6. Показано, что жесткость перемычки обеспечивается в основном металлическим геленком и он воспринимает основную часть нагрузки, действующей на перемычку обуви.

7. Зависимость между напряжениями в сечениях геленка и его длиной может быть выражена уравнением регрессии вида:

$$\sigma = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$$

8. Разработана методика расчета геленок на прочность. Доказано, что при расчете прочности геленка реальную конструкцию

его можно заменить расчетной схемой шарнирно-подвижной балки с шарнирно-неподвижной опорой на пяточном, нагруженной опломной распределенной нагрузкой, интенсивность которой изменяется по длине балки по закону треугольника.

Прочность геленков должна обязательно рассчитываться с учетом действия переменных нагрузок, вызывающих переменные напряжения. предложено проверочный расчет геленков на усталостную прочность проводить как при несимметричном цикле с характеристикой  $\sigma = -0,6$  по наибольшим напряжениям, полученным по расчету, так и при симметричном цикле  $\sigma = -1$ , уменьшая при этом величину амплитуды колебания напряжений на 20% по сравнению с расчетными данными.

9. Показано, что разработанная методика расчета геленков на прочность достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными и может быть использована для расчета различных конструкций геленков.

проверочный расчет прочности геленка СТ-2 показал, что наиболее опасным в данном геленке является сечение, проходящее по отверстию для крепления его в пяточной части. Напряжения, возникающие в этом сечении при ходьбе, превышают допускаемые.

10. Разработана конструкция нового прибора и методика испытания различных геленков на усталостную прочность. Конструкция прибора обеспечивает проведение испытаний при любой характеристике цикла.

В результате испытания геленков СТ-2 на усталость установлено, что в опасном сечении при расчетных напряжениях материал геленка выдерживает примерно 1,3-1,5 млн. циклов изгибов, что меньше установленного исходя из сроков носки обуви предела.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что работа укрепителей перемы обуви происходит при знакопеременных циклических нагрузках.

Установленные закономерности позволили разработать методику расчета прочности геленгов и научно-обоснованно подойти к проектированию рациональных конструкций укрепителей перемы.

В качестве практической рекомендации предлагается ввести в соответствующие стандарты оценку механических свойств геленгов на усталостную прочность, для чего можно использовать в лабораториях обувных фабрик и фурнитурных заводов новый прибор, применяемый в настоящее время в ВТИЛпе.

материалы диссертации изложены в пяти главах на 149 страницах машинописного текста.

Работа содержит 52 рисунка и 45 таблиц. Список использованной литературы содержит 124 наименования.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ю.П.Зыбин, В.Е.Горбачик. Рациональная конструкция низа детской обуви, ж. "Кожевенно-обувная промышленность", 1968, № II.
2. В.Е.Горбачик, К.И.Кульпина, Ю.П.Зыбин. Исследование распределения давления по плантарной поверхности стопы в обуви, "Известия ВЛЗов. Технология легкой промышленности", 1970, № 2.

3. В.Е.Горбачик. Методика исследования работы геленочной части обуви. Труды Витебского технологического института легкой промышленности, том I, 1970.

4. В.Е.Горбачик, Ю.П.Зыбин. Результаты исследования работы переходной обуви. "Стопа и вопросы построения рациональной обуви", Труды IV Пленума межведомственной комиссии по рациональной обуви, ЦИТО, М., 1972.

5. Л.П.Гурова, В.Е.Горбачик. Основные предпосылки к испытанию супинаторов на прочность. ж. "Дожевенно-обувная промышленность", 1972, № 3.

Результаты работы доложены и получили положительную оценку:

1. На научной конференции МТИЛП, посвященной 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции, Москва, 1967г.

2. На межвузовской научно-технической конференции по усовершенствованию конструирования обуви, Москва, 1968г.

3. На III, IV, V и VI научно-технических конференциях ВТИЛП, Витебск, 1970-1978 гг.

4. На пленуме Межведомственной комиссии по вопросам лечения заболеваний и деформаций стоп и обеспечения населения рациональной обувью, Москва, 1972г.



Витебский государственный технологический университет

АЖ I5I89. Подписано к печати 23/4-74 г. Формат 60X84/16  
Печ. л. 2.0. Тираж 250. Заказ 128. Бесплатно.

---

Вычислительный центр статуправления Витебской области.