

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Горбачик В.Е.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ГЕЛЕНКОВ

Рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги и средств обучения Министерства образования Республики Беларусь в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности "Технология и конструирование изделий из кожи" высших учебных заведений

Витебск, 2000

УДК 685.

В.В. Геленков. Учебно-методическое пособие. Минск: ВГУ, 2000 г.

Рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги и средств обучения Министерства образования Республики Беларусь в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности "Технология и конструирование изделий из кожи" высших учебных заведений.

В пособии дана систематизация конструктивных решений геленков как отечественного, так и зарубежного производства. Изложены общие вопросы проектирования различных типов геленков и методы их испытания. Дана методика расчета металлических геленков на прочность.

Одобрено кафедрой технологии и конструирования изделий из кожи; протокол № 5 от "12" февраля 1999 г.

Рецензенты:

докт. техн. наук, профессор  
кафедры технологии изделий  
из кожи Московского государственного  
университета технологии и дизайна

В.В. Костылева

директор ОАО "ЭКГБ" г. Минска  
канд. техн. наук

В.Н. Стругов

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом ВГУ

" 16 " марта 2000 г., протокол № 2.

Ответственный за выпуск Чумак В.М.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	1
1. Классификация геленков	2
2. Проектирование пластинчатых геленков	8
3. Проектирование стержневых геленков	10
3.1. Определение места расположения геленка на условной развертке следа колодки	12
3.2. Построение продольного профиля геленка	18
3.3. Построение поперечных сечений геленков	24
4. Методика расчета стержневого металлического геленка на прочность	31
4.1. Обоснование расчетной схемы нагружения геленка	31
4.2. Расчетная схема нагружения геленка в обуви	36
4.3. Учет динамического действия нагрузок при ходьбе	42
4.4. Методика расчета геленка на прочность	43
4.5. Пример расчета геленка на прочность	49
5. Испытание геленков	60
6. Новые конструкции геленков для высококаблучной обуви	74
Литература	80

## Введение

В обуви с каблучком при отсутствии жесткой опоры в перейме (геленочной части) стопа прогибается в области наружного свода. Это приводит к преждевременному утомлению мышц ног и может явиться причиной развития плоскостопия. Учитывая это, необходимо надежно укреплять перейму в обуви, имеющей каблучки даже небольшой высоты.

В большинстве конструкций выпускаемой обуви создание необходимой жесткости в геленочной части осуществляется промежуточными деталями низа — геленками, основным назначением которых является укрепление пяточно-геленочной части обуви в целях сохранения ее формы и создания опоры для наружного свода стопы.

Необходимо отметить, что в промышленности металлический геленок неправильно называют супинатором. Супинатор — медицинский термин, которым называют вкладыш под внутренний свод стопы для его поддержки при плоскостопии и супинации стопы, т.е. подъема ее внутреннего края.

Однако, несмотря на то, что от правильной конструкции переймы обуви и ее укрепителей геленков в значительной степени зависит нормальное функционирование сводов стопы, предотвращение развития деформаций и патологических отклонений в стопах, проектирование их ведется, как правило, на основе данных многолетней практики и личного опыта модельеров без достаточного обоснования их формы и размеров, что зачастую приводит к нерациональным конструктивным решениям и вызывает их частые поломки.

Исследования показывают, что примерно в 25—30% обуви, ремонтируемой по дефекту “смена каблучка”, геленки сломаны. При этом наиболее часто сломанные геленки встречаются в обуви на среднем и высоком каблучке.

Все это свидетельствует о необходимости проведения дальнейших работ в направлении совершенствования методов проектирования и испытания

геленков.

## 1. Классификация геленков

Конструкции геленков весьма разнообразны в зависимости от вида и назначения обуви, высоты каблука, материала, из которого они изготовлены, и т.д. Однако, несмотря на большое многообразие конструкций, их можно классифицировать по целому ряду признаков.

Так, исходя из формы и работы геленков в обуви, предлагается подразделить их по конструктивным решениям на стержневые и пластинчатые [1].

К стержневым относятся геленки, у которых два измерения — ширина и толщина — значительно меньше третьего — длины. Они применяются в большинстве видов выпускаемой обуви и изготавливаются в форме узких профилированных полосок шириной 10-18 мм различных форм и поперечных сечений. Стержневые геленки могут иметь расширенные передний и пяточный концы, различные профили поперечных сечений — плоские, выпуклые, с ребрами жесткости, образовывать в пяточной части вилку и т.д. (рис. 1.1, а).

К пластинчатым относятся геленки, у которых толщина гораздо меньше двух других измерений — ширины и длины. Они выполняются обычно по форме пяточно-геленочной части стелек и могут быть плоскими, выпуклыми или же с ребрами жесткости. Кроме изгиба в продольном направлении они имеют и поперечный изгиб (рис. 1.1, б). При работе пластинчатых геленков их напряженное состояние в отличие от напряженного состояния стержневых геленков не является одноосным.

С учетом расположения геленков относительно деталей низа они подразделяются на геленки внутреннего крепления, располагающиеся между основной стелькой и подошвой (рис. 1.2, а), и наружного крепления, размещающиеся или сверху основной стельки (рис. 1.2, б), или же с наружной стороны подошвы (рис. 1.2, в).

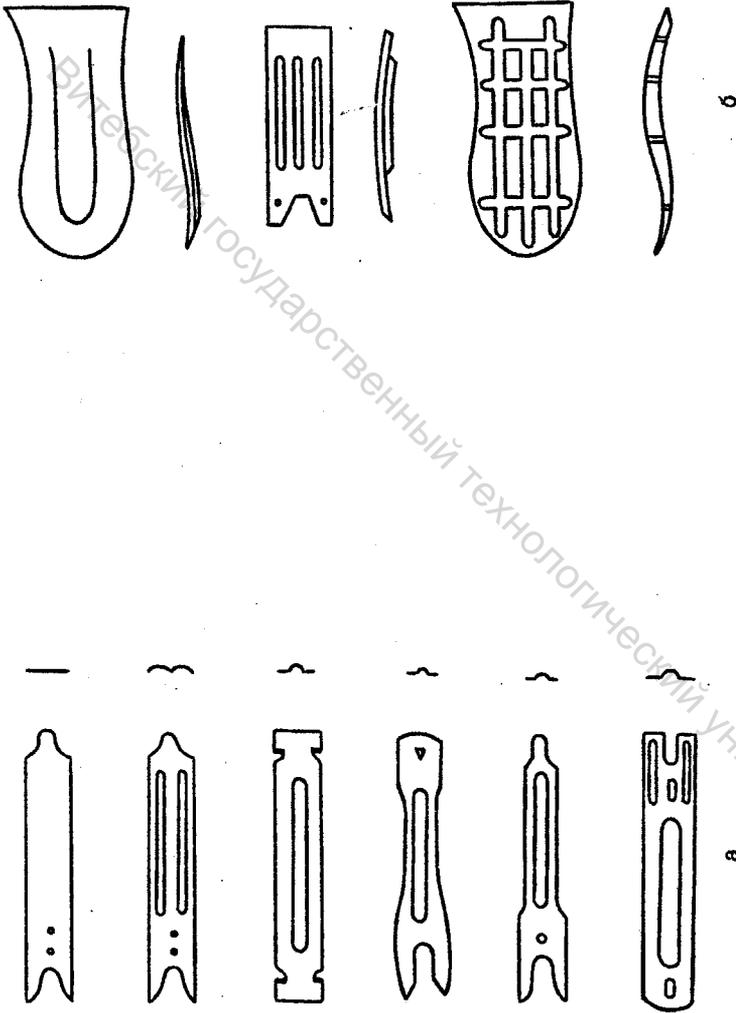


Рис. 1. 1. Различные конструкции геленов  
 а) стержневые  
 б) пластинчатые

а

б

Внутреннее крепление геленка является характерным для большинства видов и конструкций выпускаемой обуви. Недостатком расположения геленка сверху основной стельки является то, что в случае поломки геленок может травмировать стопу, несмотря на то, что применяются защитные прокладки. Недостаток расположения геленка с наружной стороны подошвы — это ухудшение эстетического оформления низа обуви.

Согласно ТУ РБ 00302570.014-98 [3] по половозрастному признаку геленки подразделяются в соответствии в таблице 1.1.

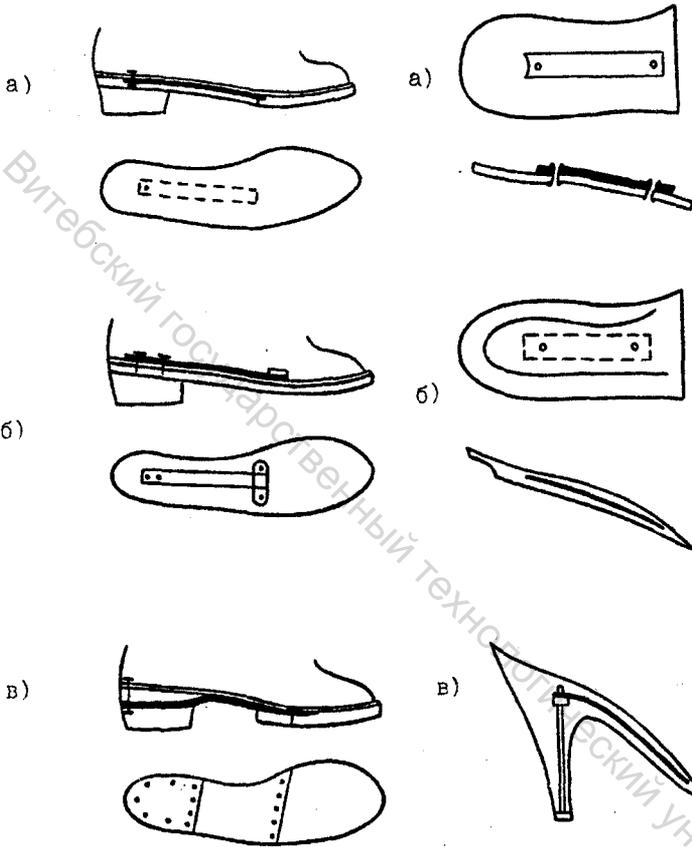
Таблица 1.1

Группа обуви	Условное обозначение группы
Мужская и мальчиковая	9
Женская на особо высоком каблуке	8
Женская на высоком каблуке	7
Женская на среднем каблуке	6
Женская на низком каблуке	5
Девичья на низком каблуке	4
Школьная для мальчиков и девочек	3

По группам размеров геленки подразделяются в соответствии с таблицей 1.2.

Таблица 1.2

Группа размеров	Условное обозначение	Группа обуви
230-245 210-230 205-225	1	Мужская и мальчиковая Женская и девичья Школьная для мальчиков и девочек
250-275 235-250	2	Мужская и мальчиковая Женская и девичья
280-305 255-275	3	Мужская Женская



**Рис. 1.2.** Расположение геленков относительно деталей низа обуви

**Рис. 1.3.** Комбинации различных видов геленков

По способу крепления геленки подразделяются в соответствии с таблицей 1.3.

Таблица 1.3

Способ крепления	Условное обозначение
Гвоздем	Г
Блочкой	Б
Клямером	К
Клеем	Л

По материалам, применяемым для изготовления геленков, они подразделяются на деревянные, картонные, пластмассовые и металлические.

Деревянные геленки изготавливаются в основном из бука или клееной фанеры, выгнутой по заданному профилю. Они применяются главным образом в тех видах обуви, где важен легкий вес, например, в спортивной обуви. В бытовой обуви они в настоящее время почти не применяются.

Картонные геленки используются в домашней или дешевой текстильной обуви на низком каблуке, а также в детской обуви. Основной их недостаток в том, что при действии влаги они быстро размягчаются и теряют свою форму.

Пластмассовые геленки изготавливаются в основном из термопластов: капрона, полиэтилена, полистирола, полипропилена и др. Они уступают металлическим по жесткости, упругости и восприятию переменных нагрузок, поэтому их часто армируют проволочной сеткой или стекловолокном. В США разработана технология изготовления геленка из стеклопластика, который обладает лучшими механическими характеристиками по сравнению с термопластами. Изготовление пластмассовых геленков может осуществляться двумя путями: нанесением смолы на стельку и литьем пластмассы в пресс-формы. Второй путь является более простым, однако в этом случае

возникает необходимость скрепления геленка со стелькой.

Металлические геленки составляют наибольшую часть используемых геленков. В бытовой обуви всех методов крепления используются в основном стержневые металлические геленки. Для их изготовления рекомендуется применять ленту холоднокатаную из пружинной стали марок 60Г, 65Г, 60С2, 60С2А по ГОСТ 14957-76 или ленту холоднокатаную из углеродистой конструкционной стали марок 50, 55, 60 по ГОСТ 1050-88 [3]. Геленки штампуются на одноручьевых и многоручьевых штампах с автоматической подачей ленты, а затем подвергаются термической обработке.

В медицинской и некоторых видах производственной и спортивной обуви, где необходимо обеспечить стабильное укрепление переймы, применяются пластинчатые металлические геленки, выштампованные из листовой стали.

Большое распространение в последние годы получило укрепление переймы обуви за счет комбинации различных видов геленков, например, картонных и пластмассовых с металлическими. При этом металлический геленок скрепляется с картонным, а затем этот узел приклеивается к основной стельке (рис.1.3, а). Такая комбинация геленков повышает жесткость переймы и устойчивость пяточно-геленочной части обуви. Учитывая недостаточную жесткость и прочность термопластов, пластмассовые геленки или узлы пластмассовый каблук - геленок также зачастую армируются металлическими геленками (рис.1.3, б, в).

Анализ отечественной и импортной высококаблучной обуви показал, что примерно у 90% обследованных пар укрепление переймы осуществляется комбинацией металлических и картонных геленков, у 5% — пластмассовыми геленками, армированными металлическими, в единичных парах встречаются пластмассовые стержневые геленки и деревянные.

## 2. Проектирование пластинчатых геленков

Форма пластинчатых геленков в большинстве случаев соответствует форме пяточно-геленочной части следа колодок.

Ширина их бывает различной в зависимости от метода крепления подошвы. Так, например, в обуви клеевого метода крепления контур и размеры геленка соответствуют контуру и размерам пяточно-геленочной части стельки (рис. 2.1, а,б) или контуру, образованному затяжной кромкой (рис. 2.1,в), отступая от него на 1,5 - 2 мм, а в рантовой — пространству, образованному губой рантовой стельки, отступая 1,5-2,0 мм от внутреннего края губы в геленочной части и края припуска на затяжку в пяточной части (рис.2.1,г).

Передний край пластинчатых геленков по действующим у нас нормативам не должен доходить до линии пучков ( $0,68D_{ст}$ ) на 8-10 мм, чтобы он не попадал в зону изгиба низа обуви.

Анализ расположения пластинчатых геленков в отечественной и импортной обуви показал, что расстояние переднего края геленка от средней линии пучков в импортной обуви составляет 0-30 мм (в среднем 10 мм), а в отечественной — 10-30 мм (в среднем 20 мм). При этом, чем выше каблук, тем передний край геленка располагается ближе к линии пучков. Это объясняется тем, что с увеличением высоты каблука зона изгиба низа обуви в пучках сокращается и смещается вперед.

Передний край геленка проходит или перпендикулярно оси симметрии пяточно-геленочной части (см. рис. 2.1, б, в, г), или же параллельно линии середины пучков (рис. 2.1, а), т.е. перпендикулярно оси построения стельки.. В работе [4] отмечается, что расположение переднего края геленка параллельно линии середины пучков предохраняет обувь от растаптывания и сваливания при ходьбе на наружную сторону. Однако в большинстве конструкций современной отечественной и импортной обуви передний край геленка проходит перпендикулярно оси симметрии пяточно-геленочной части.

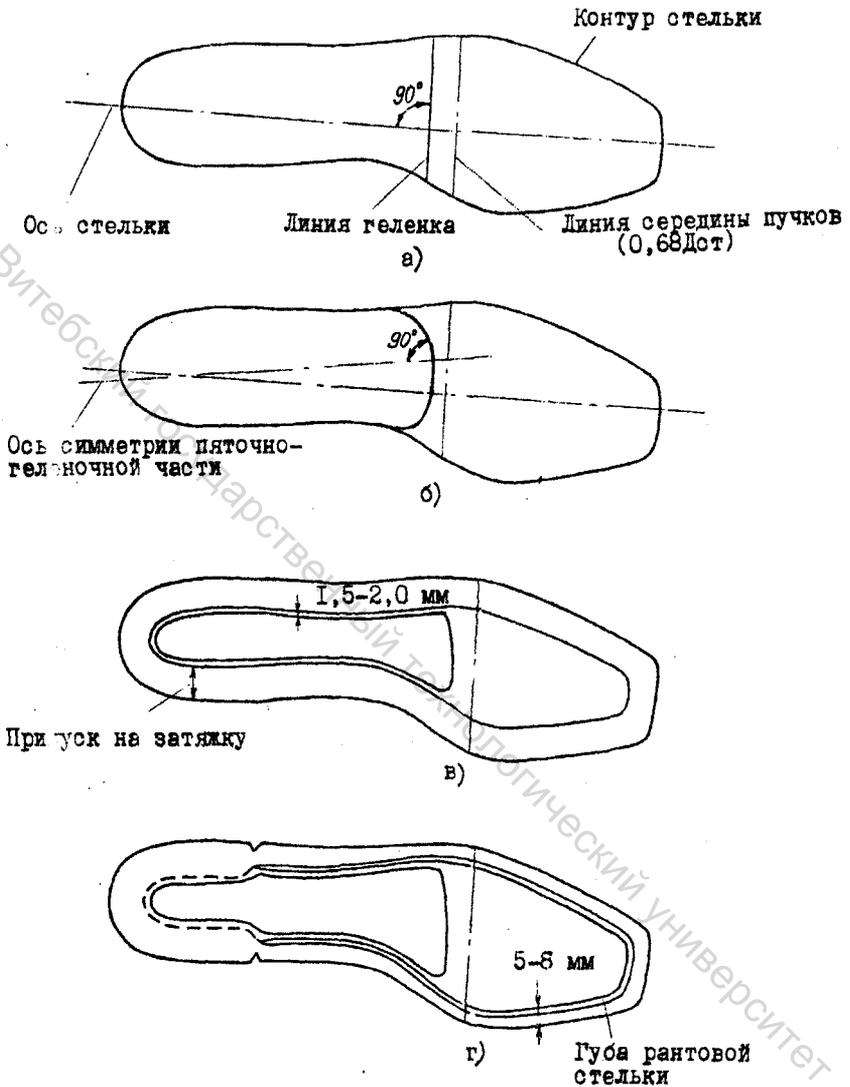


Рис. 2.1. Схема построения пластинчатых геленков для обуви клеевого (а, б, в) и рантового (г) методов крепления

Передний край пластинчатых геленок из картона (картонных полустелек) проектируется или по прямой линии (2.1, а), или же по дуге различного радиуса (рис. 2.1, б). При этом в большинстве конструкций отечественной и импортной обуви передний край таких геленок оформляется в виде прямой линии. Это, по-видимому, связано с тем, что геленок с прямолинейным контуром обеспечивает более высокую устойчивость низа при ходьбе и, кроме того, при раскрое сокращаются отходы картона за счет улучшения укладываемости.

Толщина пластинчатых геленок колеблется от 2,0 до 4,5 мм в зависимости от конструкции и применяемых материалов. К краям контура геленка толщина его плавно уменьшается и сходит на нет по всему периметру. Ширина спуска по переднему краю 14-15 мм, в остальных частях — 8-10 мм.

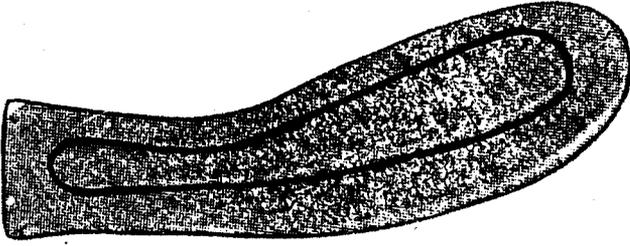
В пластинчатых геленках из пластмасс на стороне, обращенной к подошве, зачастую делают утолщение высотой 2,3-2,5 мм, которое увеличивает жесткость геленка и одновременно заполняет пространство, образованное затяжной кромкой (см. рис.2.2, а).

В пяточной части пластинчатых геленок из пластмасс в ряде конструкций делают выступы с отверстием для центрированной насадки каблука (рис.2.2.,б, в) [5].

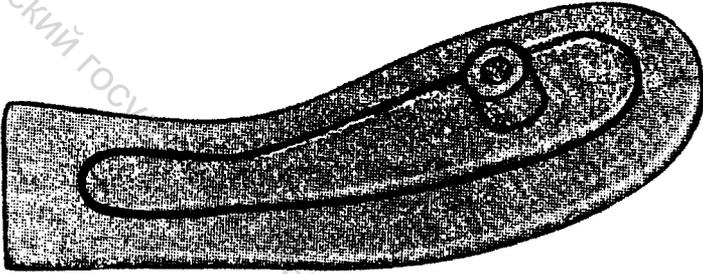
Кроме изгиба, в продольном направлении пластинчатые геленки имеют и поперечный изгиб, соответствующий изгибу геленочного участка колодки.

### 3. Проектирование стержневых геленок

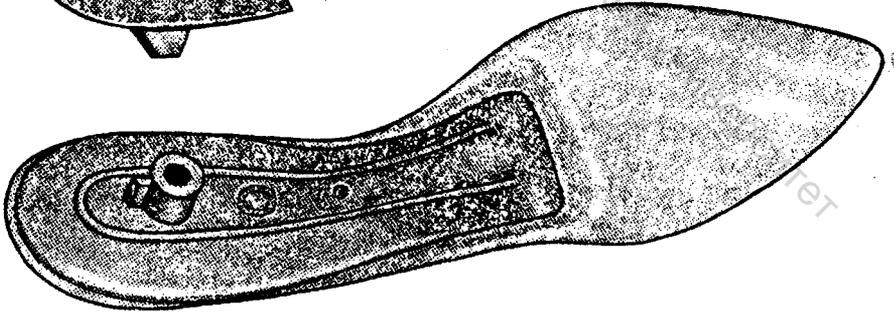
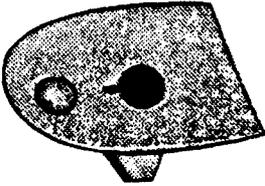
При проектировании стержневых геленок определяют количество размеров обуви, на которые предназначается один номер геленка, определяют место расположения геленка относительно контура стелек каждого из предусмотренных размеров, строят его профиль и разрабатывают конструкцию в зависимости от его назначения и условий работы.



а



б



в

Рис. 2.2. Конструкции пластинчатых геленков из пластмасс

Исходными данными при проектировании геленков являются:

- шаблоны условных разверток следа и продольно-вертикальных сечений колодок для всех размеров серии. Эти шаблоны являются частью технической документации на колодки, служащей для изготовления и контроля их формы и размеров;

- кривые сечения следа колодок по оси симметрии пяточно-геленочной части с привязкой к продольному профилю следа. При наличии чертежа на колодку кривая сечения следа может быть определена по данным чертежа. При отсутствии чертежей ее определяют по координатам, полученным путем замеров колодки на разметочной плите;

- способ крепления каблучков к обуви и расположение крепителей относительно контура верхней поверхности каблучков;

- длина верхней поверхности каблучков.

### 3.1. Определение места расположения геленка на условной развертке следа колодки

Место геленка на условной развертке следа колодки характеризуется условной осью симметрии пяточно-геленочного участка, по которой располагается продольная ось контура геленка, и положением его пучкового и пяточного концов.

В первую очередь определяют предполагаемое место расположения геленка среднего номера (№2) на условных развертках следа колодок, для которых он предназначен (табл. 3.1), а затем уже геленков крайних номеров (№1 и №3).

Шаблоны условных разверток следа колодок соответствующих размеров последовательно очерчивают на листе белой бумаги остро заточенным карандашом (рис. 3.1), совмещая их так, чтобы совпадали оси построения следа колодок О-О, а расстояния между пяточными закруглениями в смежных

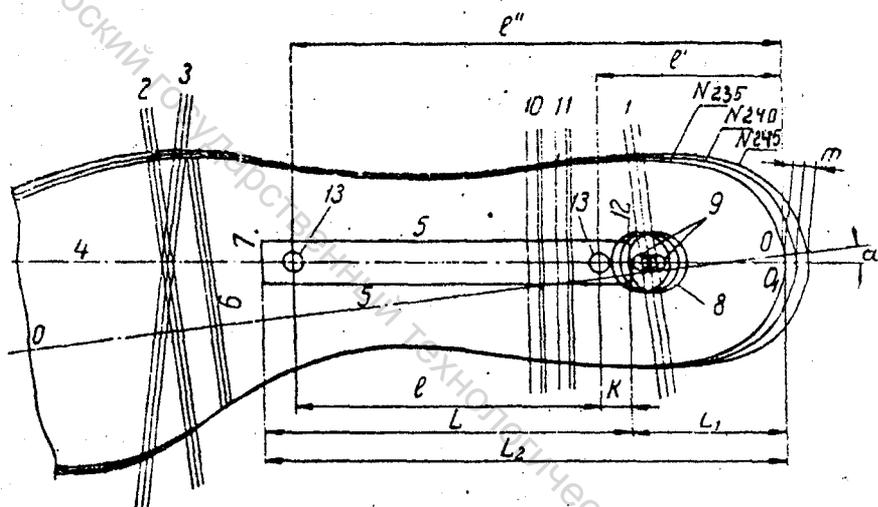


Рис. 3.1. Совмещение условных разверток следа колодок и расположение геленка на следе

размерах были равны  $m$ . Затем на очерченные условные развертки следа колодок переносят с шаблонов линии 1 сечений 0,18Д (Д — длина стопы), линии 2 середины пучков и линии 3, соединяющие пучки.

Как правило, один номер геленка рассчитан на три - пять размеров обуви. В табл. 3.1. приведена рекомендуемая разбивка по номерам геленков для женской обуви.

Таблица 3.1

Соответствие номеров геленков размерам женской обуви

Номер геленка	Размеры обуви по ГОСТ 11373-88
1	210, 215, 220, 225, 230
2	235, 240, 245, 250
3	255, 260, 265, 270, 275

Эти рекомендации являются ориентировочными. Окончательная разбивка возможна лишь после определения места расположения геленка относительно контуров условных разверток следа колодок соответствующих размеров.

После разбивки по номерам производят совмещение продольно-вертикальных сечений следа колодок всех размеров, для которых предназначается тот или иной номер геленка, таким образом, чтобы обеспечивалось наилучшее совпадение кривых следа разных размеров в геленочно-пяточной части на участке примерного расположения геленка. Определяют так называемый сдвиг  $m$  — расстояние между крайними пяточными точками следа смежных размеров.

Величина  $m$  колеблется от 2,5 до 5,0 мм в зависимости от формы кривой следа и высоты каблука обуви.

Для точного определения величины  $m$  кривые продольно-вертикальных

сечений колодок переносят на лист бумаги, начиная с большего размера, следя при совмещении за точным совпадением кривых следа разных размеров на участке расположения геленка и одинаковым расстоянием  $m$  между размерами.

Для дальнейших построений выбирают исходный размер колодки данной родовой группы (для женской обуви - 240), исходя из того, что на колодки этих размеров имеется полная техническая документация.

Ось симметрии пяточно-геленочной части 4 строят на условной развертке следа колодки исходного размера с последующей проверкой по другим размерам. Ее проводят или под углом  $\alpha = 7^{\circ}$  вправо к оси построения следа через точку, расположенную на расстоянии  $0,06 D$  от наиболее выступающей точки пяточного закругления условной развертки следа колодки [6], или же ширину следа в сечении  $0,18D$  делят пополам, откладывают полученный отрезок от наружного края контура в сечении  $0,68D$  и соединяют полученные точки [7].

Параллельно условной оси на расстоянии половины ширины геленка проводят прямые, ограничивающие его контур по ширине.

Если геленок проектируется с уширением на каком-нибудь участке (например, с развилкой в пяточной части) проводят также линии, характеризующие контур уширенной части геленка.

Ширина геленков колеблется в очень широких пределах: от 7 до 19 мм в зависимости от высоты каблука, формы геленка, его поперечного сечения и т.д. Для высококаблучной обуви рекомендуется ширину геленка устанавливать в пределах 16-18 мм [8].

При определении границы пяточного конца металлического геленка обычно исходят из того, что согласно действующим технологиям изготовления обуви длина конца геленка, расположенного под каблуком, должна быть не менее 20 мм.

Анализ расположения геленков в женской высококаблучной обуви

отечественного и зарубежного производства [8] показал, что величина захода пяточного конца металлического геленка за линию фронта каблука в обуви зарубежного производства колеблется от 17 до 56 мм и в среднем составляет 38 мм. В обуви же отечественного производства эта величина колеблется от 17 до 28 мм (в среднем 23 мм).

Такие значительные колебания объясняются различной длиной ляписной поверхности каблучков, которая колеблется от 43 до 66 мм в зависимости от конструкции каблучков и направления моды. При одинаковой длине ляписа каблучка значение этого параметра колеблется в обуви зарубежного производства от 25 до 38 мм (в среднем 31 мм), в отечественной — от 17 до 28 мм (в среднем 23 мм).

Учитывая большие колебания размеров ляписной поверхности каблучков, целесообразнее определять расположение пяточного конца геленка на условной развертке следа колодки расстоянием от пяточного закругления до металлического геленка по оси симметрии пяточно-геленочной части.

Анализ этого параметра в женской высококаблучной обуви показал, что он находится в пределах от 10 до 40 мм (в среднем 17 мм) в обуви зарубежного производства и от 18 до 31 мм (в среднем 25 мм) — в обуви отечественного производства. По типовой технологии [9] для женской обуви среднего размера на высоком каблучке эта величина должна составлять 22,5 мм.

Границу пучкового конца металлического геленка определяют, исходя из условия, что он не должен доходить до линии пучков как минимум на 10 мм (0,68Д-10), чтобы не попасть в зону изгиба низа обуви.

Учитывая, что в большинстве конструкций отечественной и зарубежной обуви укрепление перемы осуществляется комбинацией металлического геленка с картонным или пластмассовым, рекомендуется границу пучкового конца металлического геленка располагать на 12-13 мм от переднего края картонного геленка, у которого он при совмещении условных разверток следа

колодок наиболее приближен к пятке [10].

Анализ этого параметра [8] показал, что он колеблется в очень широких пределах — от 7 до 35 мм. При этом в обуви зарубежного производства расстояние от пучкового конца металлического геленка до передней линии картонного геленка (полустельки) в среднем составляет 20 мм, в обуви отечественного производства — 12 мм.

Однако, если сравнить расстояние пучкового конца металлического геленка от линии пучков, то получается, что в обуви зарубежного производства оно в среднем составляет 30 мм, в то время как в отечественной обуви — 36 мм. Этот параметр более точно характеризует границу пучкового конца металлического геленка.

Таким образом, в зависимости от вида, рода обуви, высоты каблука, способа укрепления переймы и т.д. и ориентируясь на приведенные выше данные, устанавливают место расположения геленка на условной развертке следа колодки.

На спроектированном контуре геленка уточняют места расположения отверстий, с помощью которых металлический геленок крепят к стельке или к картонному геленку (полустельке), а также места расположения и размеры ребер жесткости. Для этого на чертеже совмещенных условных разверток следа колодок (см. рис. 3.1) наносят отдельно для каждого размера колодки пяточные отверстия в металлической пластине для прохождения крепителей, прикрепляющих стельку к колодке. По данным [10] центр этого отверстия находится на расстоянии 38 мм от наиболее выпуклой точки пятки. Диаметр отверстия 15 мм. Кроме того, определяют места расположения крепителей каблука к обуви.

Основное ребро жесткости проходит по продольной оси геленка, совпадающей с осью симметрии пяточно-геленочной части. При этом ширина ребра жесткости колеблется от 3 до 11 мм. В большинстве современных

конструкций зарубежных геленков имеются дополнительные два ребра жесткости в пяточной части шириной 2,5 - 5,0 мм и длиной 22 - 44 мм (см. рис.3.2), что повышает их жесткость и прочность.

Отверстия для крепления геленков располагают по продольной оси геленка. Количество отверстий и их размеры зависят от способа крепления и размеров крепителей. В большинстве случаев металлические геленки скрепляют с картонными (полустельками) двумя блочками или хольнитенами. В этом случае диаметр отверстий колеблется в пределах 3,0-5,0 мм. На пучковом конце геленка зачастую вместо круглого отверстия делают овальное, например, размером 6,0х3,5 мм.

На рис.3.3 показаны наиболее часто встречающиеся конструкции геленков зарубежного и отечественного производства и показаны основные исследуемые параметры, а в табл. 3.2 приведены средние значения этих параметров.

Закончив размещение отдельных элементов определяют с помощью чертежа (см. рис. 3.1) расстояния  $L_1$  и  $L_2$  по оси симметрии пяточно-геленочной части от пяточного закругления условной развертки следа колодки исходного размера до пяточного и пучкового концов металлического геленка и вычисляют его развернутую длину  $L$ .

$$L = L_2 - L_1$$

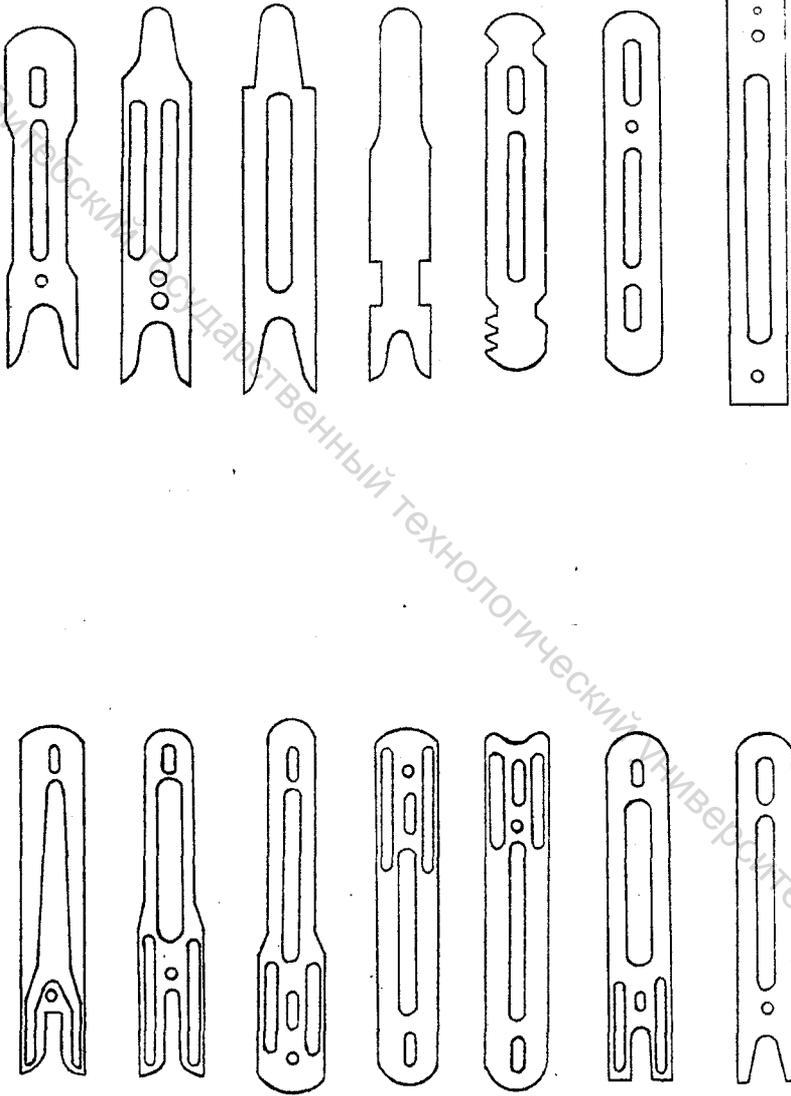
Также определяют расстояние  $l$  между центрами отверстий.

Эти расстояния необходимы для построения продольного профиля геленка и, кроме того, они определяют место расположения металлического геленка на стельке и полустельке.

Контуры геленков других номеров строят аналогично.

### 3.2. Построение продольного профиля геленка

Основой для построения продольного профиля геленка служит кривая



3.2. Современные конструкции стержней металлических гелекнов

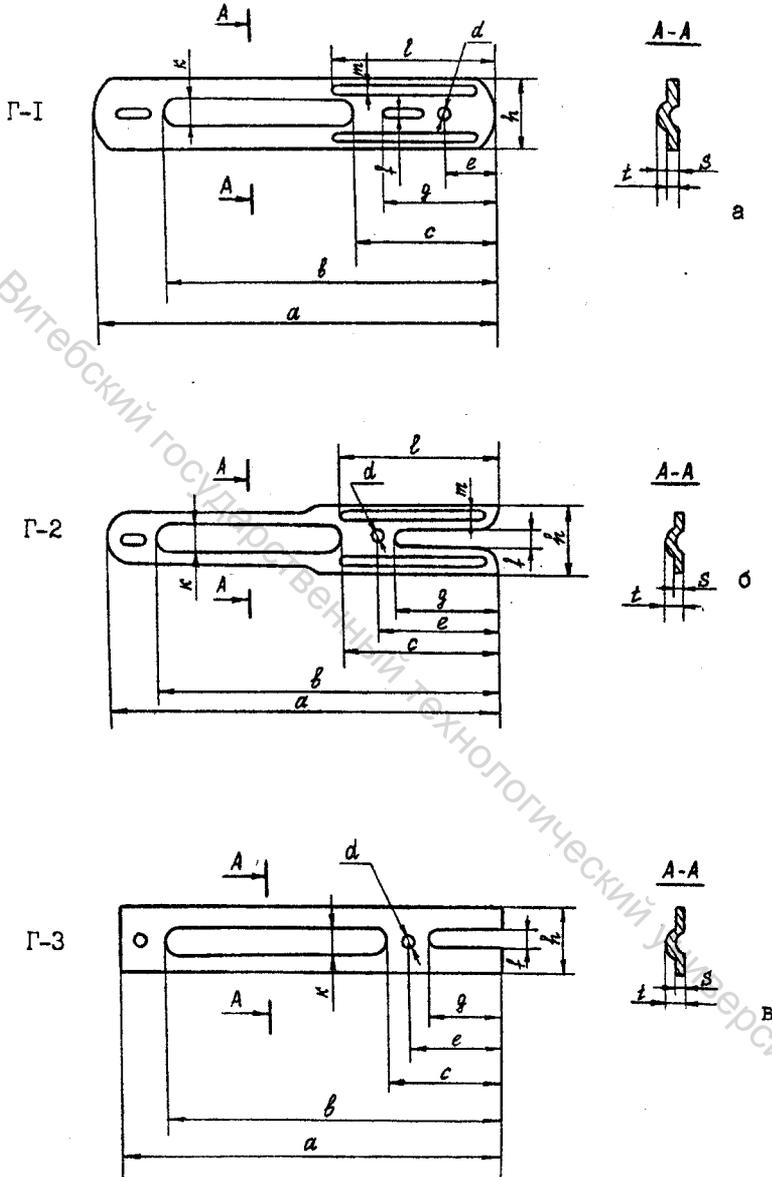


Рис. 3.3 . Конструкции геленков зарубежного (а,б) и отечественного (в) производств

## Основные параметры металлических геленков.

Условное обозначение геленка	Параметры измерения, мм												
	a	b	c	d	e	f	q	h	k	l	m	s	t
Г-1	120,0	102,0	29,0	3,0	5,0	6,0	25,0	16,0	10,0	42,0	3,0	3,0	1,4
Г-2	122,0	104,0	31,0	3,5	26,0	6,0	22,0	15,5	8,0	46,0	3,5	3,0	1,3
Г-3	115,0	91,0	30,0	5,0	23,0	6,5	17,0	12,0	6,0	-	-	3,0	1,0

## Примечания:

- a — длина геленка;
- b — расстояние от пяточного края геленка до начала переименного ребра жесткости;
- c — расстояние от пяточного края геленка до конца переименного ребра жесткости;
- d — диаметр крепежного отверстия;
- e — расстояние от пяточного конца геленка до центра крепежного отверстия;
- f — ширина участка (вилки) геленка до основного крепителя (винт, втулка);
- q — длина участка под основной крепитель каблука;
- h — ширина пяточного конца геленка;
- k — ширина переименного ребра жесткости;
- l — расстояние от пяточного конца геленка до начала пяточного ребра жесткости;
- m — ширина пяточного ребра жесткости;
- s — толщина геленка;
- t — высота геленка.



При отсутствии шаблонов кривые можно построить путем замера на колодке ряда точек этих кривых, расстояние между которыми должно быть не более 10 мм.

Вычертив кривую следа по условной оси симметрии, проводят эквидистантно ей на расстоянии, равном толщине стельки, линию 3, которая изображает наружную сторону стельки. На участке между точками В и С (пяточная и пучковая границы геленка) эта кривая изображает одновременно и продольный профиль геленка.

Для нахождения пяточной и пучковой границы расположения геленка на кривой 2 следа по условной оси симметрии откладывают точку А на расстоянии  $L_1$  от крайней пяточной точки  $O_1$ . Затем из точки А проводят нормаль к кривым 2 и 3. Точка пересечения нормали с кривой 3, обозначенная точкой В, будет являться пяточной границей геленка. Пучковую границу геленка, обозначенную точкой С, определяют, откладывая по кривой 3 от точки В расстояние L.

Отрезок ВС кривой 3, изображающий профиль геленка, размечают и координируют по точкам через каждые 10 мм в системе прямоугольных координат. При этом за ось координат принимают одну из вертикалей, проходящих через точки В и С, а за ось абсцисс — ось ОХ или параллельную ей прямую. Координаты точек кривой  $h_1, h_2, \dots, h_n$  и радиус в пучковом конце R характеризуют продольный профиль геленка.

При проверке профиля на плавность следят за тем, чтобы при сдвиге кривой профиля геленка на 1-2 мм в ту или другую сторону по кривой 3 профиль геленка по возможности совпадал с этой кривой.

После того, как профиль геленка проверен на плавность и в случае необходимости подкорректирован, его переносят на основной чертеж геленка (см. рис. 6.1).

Профили геленков других номеров строят так же, как профиль среднего номера.

### 3.3. Построение поперечных сечений геленков

Стержневые металлические геленки изготавливаются в форме узких профилированных полосок различных форм и поперечных сечений. При этом очень важное значение должно придаваться определению оптимальных профилей поперечных сечений, так как от этого зависит жесткость и прочность геленков.

Анализ отечественных и зарубежных геленков показывает, что профили поперечных сечений геленков могут иметь весьма различную форму: плоскую, выпуклую, с одним или двумя ребрами жесткости и т.д. Практически все геленки имеют одно или два ребра жесткости, расположенные вдоль продольной оси геленка для обеспечения высокой жесткости его центральной части. Как указывалось выше, многие геленки зарубежного производства для высококаблучной обуви имеют дополнительные ребра жесткости в пяточной части, которые дополнительно усиливают этот участок геленка, так как известно [10], что наиболее опасным является участок геленка, расположенный в области линии фронта каблука.

Увеличение прочности и жесткости геленков достигается за счет применения оптимальных профилей их поперечных сечений. Оптимальность же поперечных сечений характеризуется значениями моментов сопротивления, от которых зависит сопротивляемость конструкции изгибу и величина напряжений, возникающих в данном сечении.

Большинство сечений геленков имеют сложную конфигурацию. На рис. 3.5 показаны наиболее характерные поперечные сечения различных участков металлических геленков.

Геометрические характеристики сечений простой формы можно определить по специальным формулам. Для определения же геометрических характеристик сечений сложной формы приходится расчленять их на ряд простых фигур и пользоваться формулами, устанавливающими зависимости

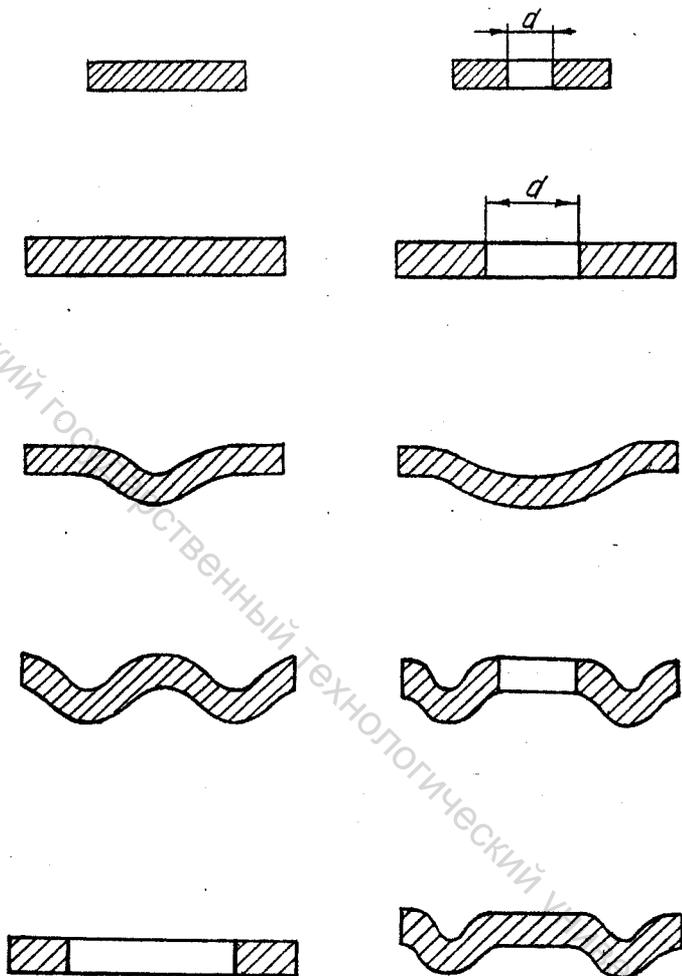


Рис. 3.5. Характерные поперечные сечения различных участков стержневых гелевков

между геометрическими характеристиками относительно различных осей. В работе [11] подробно рассматриваются эти вопросы.

На рис. 3.6 в качестве примера показана разбивка сечения геленка по ребру жесткости. Сечение составлено кольцевым сектором  $A_1A'_1A'_1A_1$ , кольцевым сектором  $A_2A'_2A'_2A_2$  (образованным объединением двух секторов  $A_2A'_2B'_2B_2$ ), двумя наклонными прямоугольниками  $A'_2A_1A'_1A_2$  и двумя "горизонтальными" прямоугольниками  $B'_2D'_2D_2B_2$ .

Алгоритм определения положения центра тяжести сложного сечения сводится к следующему:

- сложное сечение разбивается на части, имеющие вид простых фигур;
- определяются площади и положения центров тяжести каждой фигуры.

Так для прямоугольников площадь  $F$  и ордината центра тяжести  $z$  вычисляются по формулам

$$F = b \cdot h; \quad z = \frac{h}{2}, \quad (3.1)$$

а для кольцевого сектора

$$F = R^2 \alpha (1 - \eta^2); \quad z = \frac{2R}{3} \frac{\sin \alpha}{\alpha} \cdot \frac{1 - \eta^3}{1 - \eta^2}, \quad (3.2)$$

где

$$\eta = \frac{r}{R},$$

а угол  $\alpha$  измеряется в радианах;

- выбираются случайные координатные оси  $y$  и  $z$ ;
- вычисляются статические моменты  $(S_y)_i$  каждой из фигур относительно

оси  $y$  по формуле

$$(S_y)_i = z_{c_i} \cdot F_i, \quad (3.3)$$

а затем определяется статический момент  $S_y$  всего сечения

$$S_y = \sum_{i=1}^n z_{c_i} \cdot F_i, \quad (3.4)$$

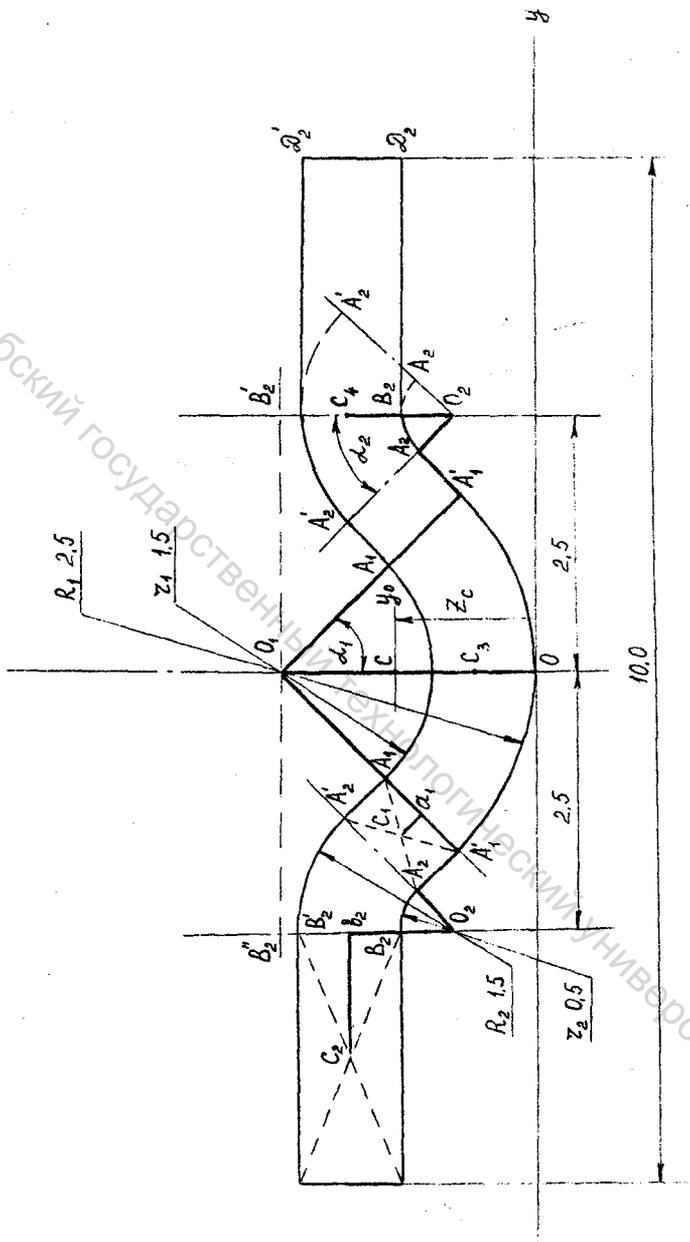


Рис. 3.6. Сечение геленка по ребру жесткости

где  $F_i$ ,  $z_c$  - площадь и координата центра тяжести  $i$ -ой фигуры;

- вычисляются координаты центра тяжести всего сечения

$$z_c = \frac{S_y}{F}. \quad (3.5)$$

Момент инерции составного сечения находят суммированием моментов инерции его частей:

$$I_y = \sum (I_y)_i, \quad (3.6)$$

где  $(I_y)_i$  - момент инерции  $i$ -ой части сечения относительно оси  $y$ .

Осевой момент инерции прямоугольника относительно главных осей вычисляется как

$$I_{y_0} = \frac{bh^3}{12}, \quad (3.7)$$

и кольцевого сектора по формуле

$$I_{y_0} = \frac{R^4}{4} \alpha \left( 1 + \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} \right) (1 - \eta^4). \quad (3.8)$$

При решении практических задач зачастую необходимо определять моменты инерции сечения относительно осей, различным образом ориентированных в его плоскости.

В общем случае переход от любой старой к любой новой системе координат может рассматриваться как два последовательных преобразования старой системы координат:

- путем поворота их относительно старого начала координат;
- путем параллельного переноса осей координат в новое положение.

Используя формулы параллельного переноса, находят момент инерции сложного сечения относительно главных центральных осей  $y_0$ ,  $z_0$ .

Момент инерции относительно оси  $y_0$

$$I_{y_0} = \sum_{i=1}^n \left[ I_{y_i} + (z_c - z_{c_i})^2 F_i \right], \quad (3.9)$$

где  $n$  - число частей составного сечения ;

$I_{y_i}$  - момент инерции относительно центральной оси  $y_i$   $i$ -той части сечения;

$z_{c_i}$  - координата ее центра тяжести,  $F_i$  - ее площадь;

$z_c$  - координата центра тяжести сечения в целом.

Момент сопротивления сложного сечения геленка определяется как

$$W = \frac{I_{y_0}}{z_{max}}, \quad (3.10)$$

где  $z_{max}$  - расстояние от главной центральной оси  $y_0$  до наиболее удаленной точки сечения.

В работе [8] был проведен анализ различных поперечных сечений геленков.

Для анализа были выбраны различные конструкции геленков отечественного и зарубежного производства. Расчет моментов сопротивления геленков проводился для трех характерных участков геленков — по ребру жесткости, по отверстию для крепежителя и на участке перед ребром жесткости. Оттиски поперечных сечений геленков на этих участках с помощью видеоскопа увеличивались в 10 раз, после чего производилось измерение необходимых параметров для определения моментов сопротивлений.

По приведенным выше формулам рассчитывались моменты сопротивления сечений, выбранных для исследования геленков, значения которых представлены в таблице 3.3. Из анализа табл. 3.3 следует, что из трех рассматриваемых участков геленка наибольшим моментом сопротивления обладает участок с ребром жесткости. В этом сечении самым высоким моментом сопротивления характеризуется геленок каунасского завода-изготовителя ( $W = 0,0136 \text{ см}^3$ ). Его геометрические размеры: толщина 1,3 мм, ширина волны 13 мм, высота волны - 2,4 мм.

Сравнивая значения момента сопротивления ребер жесткости геленков

других конструкций, можно отметить его зависимость от их геометрических размеров. При увеличении ширины и высоты волны момент сопротивления возрастает.

Для того, чтобы проследить влияние геометрических размеров геленка на общий момент сопротивления сечения, за основу был взят геленок Каунасского опытно-механического завода "Апвия". При этом были стабилизированы его основные параметры — толщина и высота волны.

Сохраняя ширину сечения, уменьшали ширину волны, добавляя к ней прямоугольники. Расчет моментов сопротивлений производился по формулам, приведенным выше. Результаты расчетов приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Влияние ширины волны на момент сопротивления сечения геленка

Ширина прямоугольника, $10^{-1}$ , мм	Момент сопротивления, $\text{см}^3$
0	0,0136
5	0,0136
10	0,0137
15	0,0135
20	0,0132
25	0,0123
30	0,0115
40	0,0091

Из табл. 3.4 видно, что при увеличении размеров прямоугольников до 1 мм момент сопротивления поперечного сечения практически не изменяется по сравнению с исходным профилем, а с дальнейшим увеличением размера начинает падать. Но, поскольку увеличение момента сопротивления незначительно, а геленок становится сложнее в изготовлении, такое усложнение профиля геленка нецелесообразно.

В результате анализа моментов сопротивлений различных сечений геленков при стабилизированных основных параметрах выяснилось, что геленок шириной волны (ребра жесткости), равной или почти равной всей ширине геленка, имеет наибольший момент сопротивления и, следовательно, в таких сечениях будут возникать наименьшие напряжения при изгибе. Это необходимо учитывать при проектировании поперечных сечений геленков.

#### 4. Методика расчета стержневого металлического геленка на прочность

Как уже отмечалось, в настоящее время проектирование геленков, как правило, ведется на основе данных многолетней практики и личного опыта модельеров без достаточного обоснования их формы и размеров, что зачастую приводит к нерациональным конструктивным решениям и вызывает их частые поломки. Поэтому разработка методики расчета геленков является весьма актуальной задачей.

##### 4.1. Обоснование расчетной схемы нагружения геленка

При расчете реальных деталей их обычно представляют в расчетной схеме в виде типовых элементов (стержней, пластин, оболочек), а реальные внешние нагрузки также схематизируют в виде сосредоточенных, распределенных или объемных сил.

Таким образом, при разработке методики расчета геленков в первую очередь необходимо составить и обосновать расчетную схему их нагружения.

Геленок представляет собой балку с изогнутой осью, т.е. линия, проходящая через центр тяжести поперечных сечений, является кривой. Кривизна геленка определяется продольным профилем колодок и зависит от высоты каблука.

В то же время, из теории сопротивления материалов известно, что

напряжения в брусках малой кривизны, у которых радиус оси  $R_0$  велик по сравнению с высотой поперечного сечения  $h$ , т.е.  $R_0/h \geq 5$ , с достаточной для практики точностью можно определять по формулам для прямых брусков. В геленках для обуви с высотой каблука от 20 до 80 мм радиусы кривизны осей  $R_0$  соответственно равны 170-90 мм, а высота сечения  $h$  в месте нахождения ребра жесткости колеблется от 2,5, до 4,3 мм, т.е. отношение  $R_0/h$  гораздо больше 5. Следовательно, в расчетной схеме изогнутую ось геленка можно заменить прямой осью, т.е. рассматривать геленок как прямую балку.

Необходимо также схематизировать опорные части геленка, заменяя действительную конструкцию наиболее приближающейся к ней схемой. В обуви геленок опирается по всей своей длине на геленочную часть подошвы или на картонный геленок и подошву. Учитывая это, можно представить всю систему как балку на упругом основании с коэффициентом постели, изменяющимся по ее длине, что связано с неодинаковой жесткостью упругого основания. Так, в пяточной части балка лежит на каблучке, жесткость которого достаточно высокая, в пучковой части подошва касается плоскости опоры, а между этими концами геленочная часть низа обуви находится на весу.

Однако, принимая во внимание, что расчет балок на упругом основании требует знания коэффициентов податливости основания (постели), а их экспериментальное определение вызывает значительные трудности, если к тому же учесть, что они различны в разных участках балки, можно без больших погрешностей, идущих в запас прочности, в расчетной схеме опоры принять шарнирными.

Учитывая, что защемление пяточного конца геленка в обуви более жесткое, в расчетной схеме на этом конце балки принята шарнирно-неподвижная опора. Опора же пучкового конца представлена в виде шарнирно-подвижной, т.к. возможность смещения параллельно плоскости в этом месте значительно больше, чем в пяточном конце. Зачастую пучковый конец геленка вообще не закрепляется и может свободно перемещаться вдоль следа обуви.

Действительная схема действия внешних сил на геленок в обуви не известна, а непосредственное определение ее экспериментальным путем вызывает определенные затруднения. В то же время анализ взаимодействия стопы с обувью показывает, что реальные нагрузки, действующие на геленок, можно заменить более простой и удобной для расчета схемой.

Изучение характера напряженного состояния балки-геленка в обуви [12] показало, что при одевании обуви на ногу в результате деформации деталей низа на геленок действуют силы, изгибающие его в сторону стопы, а в сечениях геленка возникают отрицательные изгибающие моменты и напряжения. Деформация деталей низа в обуви закрытого типа вызывается давлением пяточной части стопы на жесткий задник и давлением плюсны стопы на верх и низ обуви в пучковой части. В обуви же с открытой пяточной частью этого не происходит и при одевании такой обуви изгибающие моменты и напряжения в сечениях геленка будут равны нулю.

Кроме того, даже в обуви закрытого типа напряжения в сечениях геленка при одевании обуви сильно варьируют у разных носчиков вследствие разнообразия форм и размеров стоп. Поэтому в ряде случаев эти напряжения, а, следовательно, и силы, действующие на геленок, будут иметь незначительную величину.

Необходимо также отметить, что напряжения в сечениях геленка, возникающие при одевании обуви, уменьшаются в процессе ее эксплуатации за счет разношивания и приформовывания обуви к стопе.

Таким образом, из сказанного выше следует, что при расчетах геленков на прочность силы, действующие на геленок при одевании обуви на стопу, можно не учитывать (в запас прочности), т.е. целесообразно принять наиболее неблагоприятный случай.

При стоянии на геленок действует нагрузка со стороны наружного свода стопы. При этом давление от костного скелета стопы передается на опору через мягкие ткани, которые рассредоточивают его по поверхности опоры. Это дает

основание при составлении расчетной схемы принять, что на геленок со стороны стопы при стоянии действует распределенная нагрузка. Необходимо также учесть, что нагрузка со стороны стопы действует не перпендикулярно оси геленка, а под некоторым углом, величина которого зависит от высоты каблука обуви.

В тех конструкциях обуви, где геленок жестко не скрепляется со стелькой в пучковой части, может происходить взаимное смещение этих деталей друг относительно друга, и продольная составляющая нагрузки на геленок передаваться не будет. В тех же конструкциях, где металлический геленок скрепляется блочками с картонным геленком, который в свою очередь прочно склеивается со стелькой, на геленок, кроме распределенной нагрузки, перпендикулярной его оси, будут действовать и продольные силы. В этом случае полные нормальные напряжения  $\sigma$  в сечениях геленка должны определяться как

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}, \quad (4.1)$$

где  $N$  — продольная сила,

$F$  — площадь поперечного сечения геленка,

$M$  — изгибающий момент в сечении геленка,

$W$  — момент сопротивления данного сечения.

Сравним по величине оба слагаемых полного нормального напряжения. Величину продольной силы  $N$  можно ориентировочно определить, представив нагрузку, действующую на геленочную часть обуви, в виде сосредоточенной силы  $P = \int_0^l q(x) dx$ . Тогда  $N = P \cdot \sin \alpha$ , где  $\alpha$  — угол подъема пяточной части стопы.

Ранее было установлено [13], что общая нагрузка, действующая на геленочную часть обуви  $P$  составляет примерно 13% веса тела человека, приходящегося на одну ногу. Величина угла  $\alpha$  для обуви с высотой каблука 60

мм будет равна  $21^\circ$ . Учитывая, что средняя масса испытуемых при исследовании напряженного состояния металлического геленка [12] была равна 60 кг, можем записать:

$$N = \frac{60 \cdot 9,8 \cdot 13}{2 \cdot 100} \cdot \sin 21^\circ \approx 14 \text{ Н} \quad (4.2)$$

Нормальные напряжения в сечениях балки-геленка от действия продольной силы в этом случае будут равны:

$$\sigma_N = \frac{N}{F} = \frac{14}{2 \cdot 10^{-5}} = 0,7 \text{ МПа} \quad (4.3)$$

Размеры поперечного сечения балки-геленка были взяты из работы [12].

Величина же напряжений в сечениях балки-геленка от изгибающего момента колеблется от 15 до 54 МПа [12]. Следовательно, напряжения от продольной силы составляют всего 1,5-5,0% от напряжений, возникающих в сечениях геленка от изгибающего момента.

Учитывая также, что металлический геленок имеет возможность некоторого сдвига в продольном направлении, т.к. жесткость его значительно выше по сравнению с картоном, при инженерных расчетах геленков на прочность действием продольных сил, если они и возникают, можно пренебречь.

Таким образом, реальную конструкцию геленка в обуви можно заменить расчетной схемой прямой балки, лежащей на шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорах и нагруженной только распределенной нагрузкой, интенсивность которой меняется по длине балки:  $q(x) = f(x)$  (рис. 4.1).

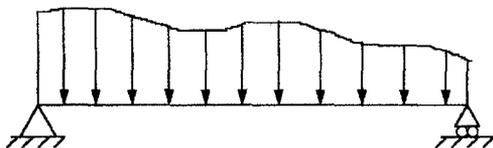


Рис. 4.1. Расчетная схема нагружения геленка в обуви

#### 4.2. Схематизация реальных нагрузок, действующих на геленок

Приняв в расчетной схеме, что на геленок действует только распределенная нагрузка, и зная распределение напряжений по длине балки-геленка, можно определить закон изменения интенсивности нагрузки, используя дифференциальную зависимость между изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки

$$q(x) = \frac{d^2 M_x}{dx^2}, \quad M_x = \frac{\sigma_x I}{y_{\max}}, \quad (4.4)$$

где  $M$  — изгибающий момент в сечении балки,

$\sigma$  — напряжение в сечении балки,

$I$  — момент инерции данного сечения,

$y_{\max}$  — расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленной точки сечения.

Таким образом, задача сводится к нахождению зависимости  $\sigma_x = f(x)$ .

Для этого были использованы экспериментальные данные, полученные при изучении характера напряженного состояния балки-геленка в обуви [12], представленные на рис. 4.2. При этом исходными предпосылками корреляционно-регрессионного анализа, как известно, являются нормальность распределения зависимой переменной при каждом фиксированном значении аргумента и неизменность величины дисперсии зависимой переменной при изменении аргумента.

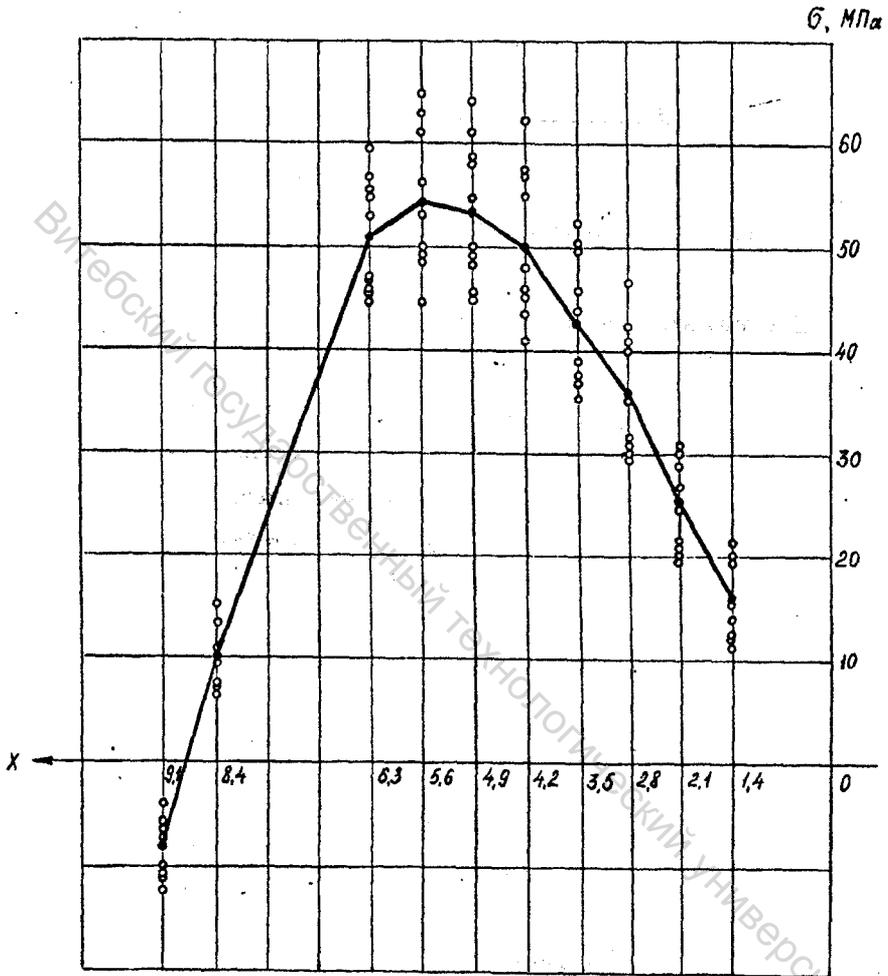


Рис. 4.2. Распределение напряжений по длине балки-геленка при стоянии испытуемых в обуви с высотой каблука 40 мм

Гипотезу нормальности распределения проверяли по совокупности малых выборок. Проверка показала, что при каждом фиксированном значении аргумента  $x$  распределение зависимой переменной  $\sigma_i$  подчиняется нормальному закону.

Статистическая проверка однородности ряда дисперсий с помощью критерия Кохрана показала незначимость расхождений между ними.

Анализ смещения рядов распределения  $\sigma_i$  с увеличением  $x$ , которое изображается ломаной линией, соединяющей частные средние  $\bar{\sigma}_i$  по каждому ряду распределения (см. рис. 4.2), свидетельствует о нелинейном характере зависимости  $\bar{\sigma}_i = f(x)$ . При этом характер ломаной линии дает основание предполагать, что искомая кривая регрессии может быть описана параболой  $n$ -го порядка. Подтверждением данного предположения является то, что и в расчетной схеме на геленок действует только распределенная нагрузка, а, следовательно, эпюра напряжений имеет вид параболы.

Исходя из этого, исследуемая зависимость  $\bar{\sigma}_i = f(x)$  аппроксимировалась полиномом вида

$$\sigma_x = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (4.5)$$

Степень и коэффициенты аппроксимирующего полинома определялись по данным выборки путем последовательных уточнений по методу наименьших квадратов. В качестве критерия прекращения вычислений рассматривалась дисперсия

$$D = \frac{1}{k - n - 1} \cdot \sum_{i=1}^k (\bar{\sigma}_i - a_0 - a_1x_i - \dots - a_nx_i^n)^2, \quad (4.6)$$

где  $k$  — количество точек с координатами  $x_i$  и  $\sigma_i$ ;

$n$  — степень полинома.

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

Все расчеты были выполнены на ЭВМ с использованием стандартной программы.

Сравнение результатов аппроксимации зависимости  $\overline{\sigma}_1 = f(x)$  полиномами 2, 3 и 4-ой степени показало, что уравнение третьего порядка является существенным уточнением уравнения второго порядка. В то же время отличие  $D_4$  от  $D_3$  является незначительным. Отклонение расчетных значений от экспериментальных в этом случае составляет в среднем 5,7%. Такая точность вполне достаточна для целей нашего исследования.

Таким образом, зависимость между напряжениями в сечениях балки-геленка и длиной балки может быть выражена уравнением регрессии вида

$$\sigma_x = -96,26 + 178,57x + 0,4296x^2 - 2,2068x^3, \quad (4.7)$$

где  $x$  — расстояние от пучкового конца балки-геленка до рассматриваемого сечения, см;

$\sigma_x$  — напряжение в сечениях балки-геленка,  $10^{-1}$  МПа.

Зная закон изменения напряжений по длине балки-геленка и учитывая, что на балку действует только распределенная нагрузка, можно определить закон изменения интенсивности нагрузки по длине балки.

Так как балка-геленок в эксперименте [12] имела прямоугольное сечение шириной  $b=9,5$  мм и высотой  $h=2,1$  мм, связь между изгибающим моментом и напряжением в сечениях балки-геленка выражается соотношением

$$M_x = \frac{\sigma_x \cdot I}{y_{\max}} = \frac{\sigma_x \cdot bh^3}{12 \cdot 0,5h} = \frac{\sigma_x \cdot 0,95 \cdot 0,21^2}{12 \cdot 0,5} = 0,00705\sigma_x \quad (4.8)$$

Подставив вместо  $\sigma_x$  аналитическую зависимость напряжения от длины балки, получим аналитическое выражение закона изменения величин изгибающих моментов по длине балки-геленка:

$$M_x = -0,679 + 1,259x + 0,00303x^2 - 0,01556x^3 \quad (4.9)$$

Взяв первую и вторую производные от изгибающего момента по длине балки, получим закон изменения поперечных сил и интенсивности распределенной нагрузки

$$Q_x = \frac{dM_x}{dx} = -(1,259 + 0,00606x - 0,04668x^2), \quad (4.10)$$

$$q_x = \frac{d^2M_x}{dx^2} = 0,00606 - 0,09336x. \quad (4.11)$$

Таким образом, интенсивность распределенной нагрузки меняется по длине балки по линейной зависимости.

Приравняв правую часть уравнения нулю, определим место пересечения линии нагрузки с осью балки. Это сечение будет расположено на расстоянии 0,06 см от начала координат, т.е. от места закрепления балки-геленка в пучковой части. Пренебрегая этой незначительной величиной в расчетной схеме, можно принять, что на геленок действует сплошная распределенная нагрузка, интенсивность которой меняется по длине балки по закону треугольника.

Величина общей нагрузки, действующей на геленок со стороны стопы при стоянии, подсчитанная по уравнению, выражающему закон изменения интенсивности нагрузки, будет в нашем случае равна

$$P_{\text{общ.}} = \int_0^l q(x) dx = \int_0^{8,8} (-0,09336x) dx = -36,1 \text{ Н}. \quad (4.12)$$

Это составляет примерно 12% веса тела человека, приходящейся на одну ногу, что хорошо согласуется с данными о величине нагрузки, действующей на прейму обуви [13].

Величина верхнего предела интегрирования  $l = 8,8$  см принята, исходя из условия, что пяточный конец геленка должен заходить на каблук не менее 20 мм. В геленках, имеющих развилку в пяточной части, длина ее в расчет не

принимается, т.к. она не воспринимает нагрузку, действующую на переимю обуви, и лежит на твердой опоре.

Так как расчеты на прочность ведутся по максимальным нагрузкам, действующим на деталь, необходимо установить наибольшую массу людей, которые будут носить данную обувь. Ориентировочно эту задачу можно решить, используя связи между ростом и массой человека, ростом и длиной стопы.

Как известно, один номер геленка предназначен для 3-5-ти размеров обуви [10]. Для определения максимальной нагрузки, действующей на геленок со стороны стопы, необходимо взять самый большой размер обуви, в котором будет использоваться данный геленок. Зная род и размер обуви легко определить средний рост людей, которые будут носить данную обувь, используя для этого установленные зависимости между ростом  $R$  и длиной стопы  $D_{ст}$  взрослого населения.

Так, для мужчин  $D_{ст}=0,14 R+29$ , а для женщин  $D_{ст}=0,14 R+22$ . У детей отношение длины стопы к росту составляет приблизительно 16-17%.

Известно также, что масса людей находится в достаточно хорошей корреляционной связи с их ростом. Существуют специальные таблицы, по которым можно определить среднюю массу человека, зная его рост.

Для ориентировочной оценки массы можно использовать и массоростовой индекс Кетле, который показывает, сколько граммов массы должно приходиться на каждый сантиметр роста: у мужчин — 350÷400 г, у женщин — 325÷375 г. Необходимо также учесть колебания массы тела от средней величины (среднеквадратичное отклонение  $S = \pm 6$  кг). При определении величины суммарной нагрузки, действующей на геленок со стороны стопы, берется не подсчитанная средняя масса людей  $m$ , а  $m+2S$ , что дает возможность учесть 95,4% всех людей, носящих данный размер обуви. Брать размах колебаний массы  $+3S$  нет необходимости, т.к. ряд допущений, принятых в расчетной схеме, идет в запас прочности.

### 4.3. Учет динамического действия нагрузок при ходьбе

При исследовании характера работы геленка в обуви было установлено, что во время ходьбы напряжения в сечениях геленка меняются как по величине, так и по знаку [12]. Учитывая, что при действии переменных напряжений разрушение материалов происходит при напряжениях значительно меньших, чем опасные напряжения при статическом нагружении, необходимо обязательно производить расчет геленков на усталостную прочность. Основной характеристикой прочности в этом случае является предел усталости или выносливости.

Известно [14], что величина предела выносливости в значительной мере зависит от степени симметрии цикла, т.е. соотношения между крайними значениями меняющегося напряжения. Анализ изменения напряжений в сечениях балки-геленка при ходьбе показал, что, как правило, по абсолютной величине  $\sigma_{max} > \sigma_{min}$ . Следовательно, цикл изменения напряжений в сечениях геленка несимметричен. В наиболее напряженных местах, расположенных около линии фронта каблука, характеристика цикла  $r$  в среднем равна -0,6. При этом необходимо учитывать, что значения максимальных напряжений сильно варьируют у разных носчиков (характеристика цикла  $r$  колеблется от -0,4 до -0,8).

В связи с этим вполне возможен случай, когда напряжения  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$  будут равны по величине и обратны по знаку, т.е. будет иметь место симметричный цикл. При симметричном же цикле предел выносливости материала имеет наименьшее значение. Поэтому расчет геленков на прочность при таком цикле, как наиболее опасном, представляет практический интерес.

Однако анализ экспериментальных данных показывает, что при симметричном цикле величина амплитуды колебаний напряжения примерно на 20-25% меньше, чем среднее значение  $\sigma_{max}$  у носчиков при несимметричном цикле.

Учитывая это, расчет геленков на усталостную прочность необходимо проводить как при несимметричном цикле по наибольшим напряжениям, полученным по расчету, так и при симметричном цикле, уменьшая при этом величину амплитуды колебания напряжений на 20%.

#### 4.4. Методика расчета геленка на прочность

Исходя из принятых положений методика расчета геленков на прочность может быть представлена в следующем виде:

– Геленок изображается в расчётной схеме в виде прямолинейной балки с шарнирно-подвижной опорой на пучковом конце и шарнирно-неподвижной на пяточном (рис.4.3). Размеры балки берутся из соответствующих чертежей конструкции геленка. Длина балки определяется по развёртке геленка на плоскость от места закрепления пучкового конца геленка до пяточного конца. При этом, если пяточный конец геленка удлинен и имеет разбивку, то она в расчёт не принимается.

– Подсчитывается величина общей (суммарной) нагрузки, действующей на геленок со стороны наружного свода стопы. Для этого выбирается самый большой размер обуви, в котором будет использоваться данный геленок, определяется средний рост людей, которые будут носить этот размер обуви, и подсчитывается наибольшая масса этих людей. Величина суммарной нагрузки, действующей на геленок, будет составлять 12% подсчитанного веса тела человека, приходящегося на одну ногу.

– Суммарная нагрузка представляется в расчётной схеме в виде сплошной распределённой нагрузки, интенсивность которой изменяется по длине балки по закону треугольника (см. рис.4.3). Так как общая величина нагрузки в этом случае будет равна площади треугольника, то, зная длину балки между опорами, можно легко определить ординату  $q_0$  - наибольшую интенсивность нагрузки в точке опоры на пяточном конце геленка

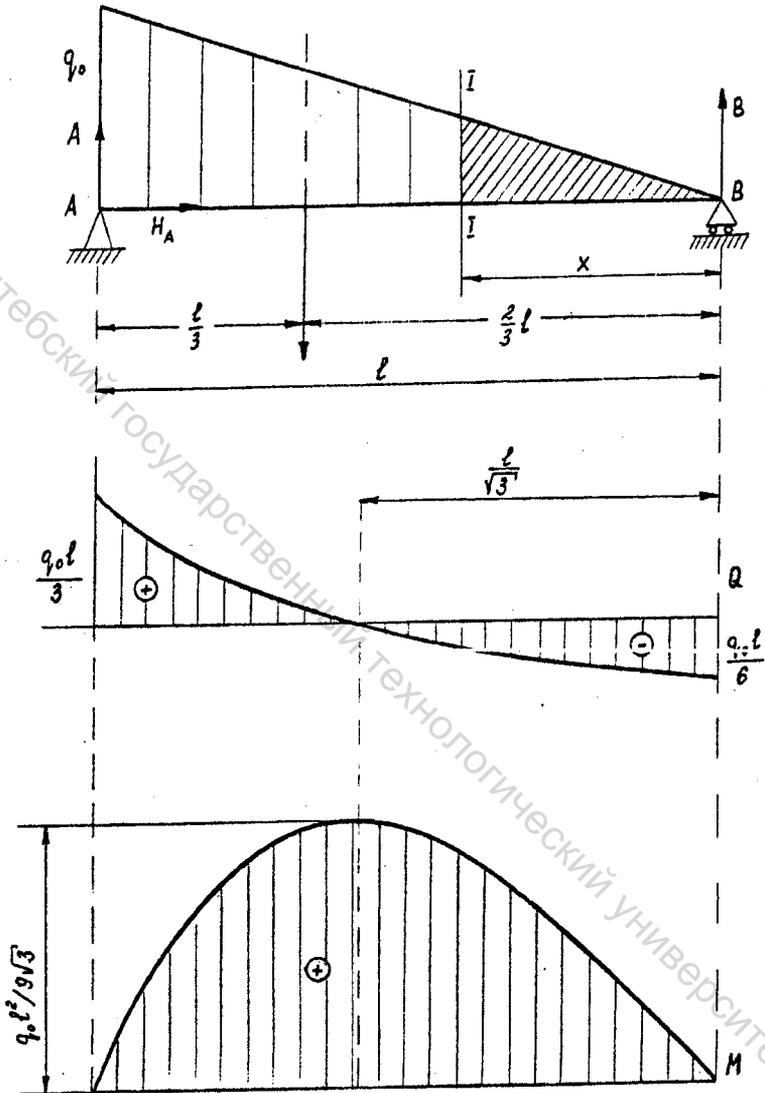


Рис. 4.3. Схема нагружения геленка при расчете его на прочность

$$q_0 = \frac{2\omega}{l}, \quad (4.13)$$

где  $\omega$  - грузовая площадь, равная 12% веса тела человека, приходящегося на одну ногу.

– Определяются опорные реакции из уравнений равновесия для всей балки

$$\begin{aligned} \sum X = 0 \quad H_A = 0 \\ \sum M_B = 0; \quad A \cdot l - \omega \cdot \frac{2}{3}l = 0; \quad A = \frac{2}{3}\omega = \frac{q_0 \cdot l}{3}; \quad (4.14) \\ \sum M_A = 0; \quad -B \cdot l + \omega \cdot \frac{l}{3} = 0; \quad B = \frac{1}{3}\omega = \frac{q_0 \cdot l}{6}. \end{aligned}$$

– Производится построение эпюр поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$ . Уравнения, выражающие законы изменения  $Q$  и  $M$  по всей длине балки, будут иметь следующий вид:

$$Q = -\frac{q_0}{6l}(l^2 - 3x^2); \quad (4.15)$$

$$M = \frac{q_0 \cdot x}{6l}(l^2 - x^2), \quad (4.16)$$

где  $x$  - абсцисса какого-либо сечения 1-1, считая от пучкового конца балки.

Как видно из приведенных формул, эпюра поперечных сил изображается кривой второго порядка, а изгибающий момент изменяется по закону кубической параболы (см. рис.4.3).

– Определяется расположение опасного сечения геленка и величина максимальных напряжений в этом сечении. Учитывая, что большинство используемых в промышленности стержневых металлических геленков имеют переменное по длине поперечное сечение, для нахождения опасного сечения и

величины максимальных напряжений в нем строится эпюра напряжений по длине балки.

– Определяется величина максимальных напряжений, возникающих в опасном сечении геленка при ходьбе. Исходя из того, что в результате динамического действия нагрузок на переходу обуви при ходьбе напряжения в сечениях геленка возрастают примерно в 2 - 2,3 раза по сравнению со статикой и учитывая, что ряд допущений, принятых в расчётной схеме, идёт в запас прочности, величина наибольшего значения действительных напряжений в опасном сечении при ходьбе  $\sigma^d_{max}$  принимается в два раза больше по сравнению с расчётными значениями напряжений в этом сечении при стоянии  $\sigma^c_{max}$ , т. е.  $\sigma^d_{max} = 2\sigma^c_{max}$ .

– Определяется предел выносливости для симметричного цикла при изгибе

$$\sigma^u_{-1} = \beta_k \sigma_{пр} \quad (4.17)$$

где  $\beta_k$  - числовой коэффициент, соответствующий тому или иному виду деформации.

Для катаной и ковальной стали величина коэффициента  $\beta$  в случае изгиба колеблется в пределах от 0,4 до 0,6 [15].

Так как геленки изготавливаются из стальной холоднокатаной ленты и к тому же подвергаются термообработке, что способствует увеличению предела выносливости, при расчётах их на прочность можно принять

$$\sigma^u_{-1} = 0,5 \sigma_{пр} \quad (4.18)$$

– Вычисляется действительный коэффициент концентрации напряжений  $\alpha_{кл}$ . Его приближенно можно определить по следующим эмпирическим формулам:

- в месте расположения отверстия для крепления геленка в обуви он

будет равен

$$\alpha_{\kappa\delta} = 1,5 + 0,15 \frac{\sigma_{np} - 400}{1100}, \quad (4.19)$$

- в месте же окончания ребра жёсткости

$$\alpha_{\kappa\delta} = 1,2 + 0,02 \frac{\sigma_{np} - 400}{1100}, \quad (4.20)$$

где  $\sigma_{np}$  - предел прочности материала.

- Находится допускаемое значение для симметричного цикла

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}^n}{k \cdot \alpha_{\kappa\delta}}, \quad (4.21)$$

где  $k$  — коэффициент запаса прочности.

Величина требуемого запаса прочности зависит от целого ряда обстоятельств: степени ответственности детали, условий ее работы, точности определения действующих нагрузок и т.д. Обычно при расчетах не очень ответственных деталей коэффициент запаса прочности берут 1,4 - 1,5.

Однако, учитывая, что в расчётной схеме ряд принятых положений (схематизация опорных частей геленка, неучёт напряжений, возникающих в сечении геленка при одевании обуви и др.) идет в запас прочности, величину коэффициента запаса прочности можно несколько уменьшить.

Кроме того, срок службы обуви ограничен, поэтому нет необходимости, чтобы геленок выдерживал бесконечно большое количество циклов изгибов. Если учесть, что срок службы обуви колеблется от 8 до 12 месяцев, а в сутки человек в среднем ходит 3,5 - 4,0 часа и общая длительность шага составляет 1,0 - 1,3 сек, то следовательно, геленок должен выдерживать порядка 2,5 - 3,0 млн. циклов изгибов.

Учитывая все вышеизложенное, величину коэффициента запаса

прочности  $\kappa$  при расчётах геленка на усталостную прочность можно принять равной 1,1.

– Определяется допускаемое напряжение для случая несимметричного цикла с характеристикой  $r = -0,6$

$$[\sigma_{-0,6}^u] = \frac{2[\sigma_{+1}^u][\sigma_{-1}^u]}{(1+0,6)[\sigma_{+1}^u] + (1-0,6)[\sigma_{-1}^u]}, \quad (4.22)$$

где  $[\sigma_{+1}^u]$  — допускаемое напряжение при статической нагрузке

$$[\sigma_{+1}^u] = \frac{\sigma_T^u}{\kappa}, \quad (4.23)$$

где  $\sigma_T^u$  — предел текучести материала при изгибе

$$\sigma_T^u = 0,8\sigma_{пр}. \quad (4.24)$$

– Проверяется выполнение условия прочности для наиболее опасных сечений как при несимметричном, так и при симметричном циклах

$$\sigma_{max}^d \leq [\sigma_{-0,6}^u], \quad 0,8 \sigma_{max}^d \leq [\sigma_{-1}^u]. \quad (4.25)$$

Сравнение величин напряжений  $\sigma_{max}^d$ , рассчитанных по данной методике для балки-геленка с экспериментальными данными [10], показало, что в опасной зоне расчетные напряжения незначительно отличаются от экспериментальных данных. Ошибка в этом случае не превышает 10%, что говорит о достаточной точности разработанной методики расчета геленка на прочность.

## 4.5: Пример расчета геленка на прочность

Проверка разработанной методики проводилась на геленках марки Т, разработанных ЦНИИКПом для женской обуви на среднем каблуке. На рис. 4.4 показан чертеж геленка СТ-2 и его основные размеры.

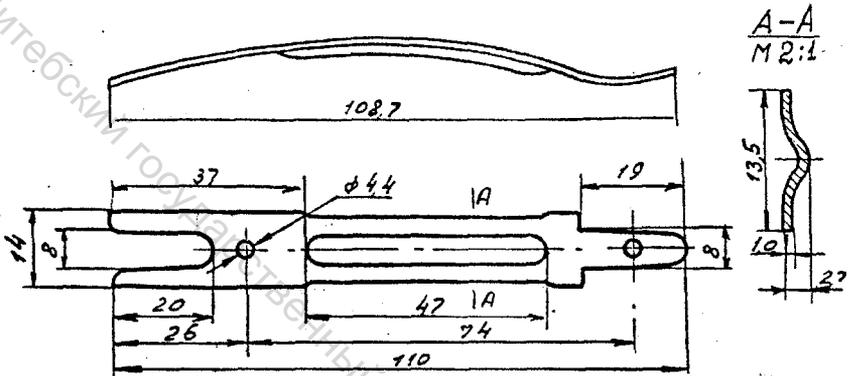


Рис. 4.4. Чертеж геленка СТ-2

В расчетной схеме (рис. 4.5, а) данный геленок представлен прямолинейной балкой переменного сечения длиной 84 мм (вилка в пяточной части в расчет не принимается), нагруженной сплошной распределенной нагрузкой, интенсивность которой изменяется по длине балки по закону треугольника.

Определим величину общей нагрузки, действующей на геленок. Данный геленок предназначен для обуви с 235 по 250 размер. Согласно методике расчета берем самый большой размер 250 и определяем средний рост  $R$  людей, которые будут носить данную обувь:

$$R = \frac{D_{cm} - 22}{0,14} = \frac{250 - 22}{0,14} = 162,9 \text{ см} \quad (4.26)$$

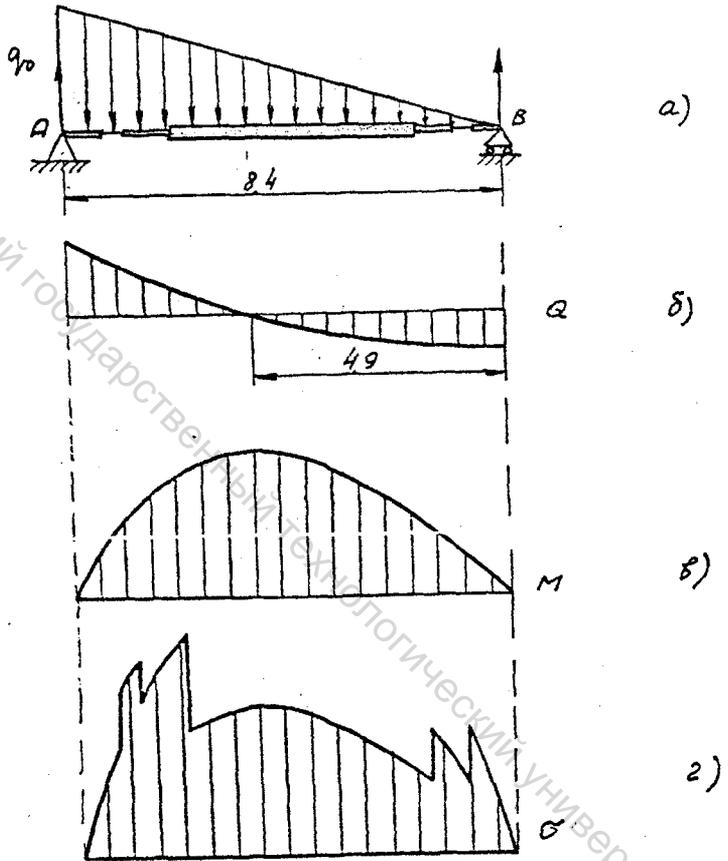


Рис. 4.5. Расчетная схема определения напряжений в сечениях геленга

Используя весо-ростовой индекс Кетгле, вычисляем среднюю массу человека  $m$ , соответствующую данному росту:

$$m = 375 \cdot 162,9 = 61088 \text{ г} \approx 61 \text{ кг.}$$

Наибольшая масса людей, которые будут носить данный размер обуви, составит

$$m_{\max} = m + 2S = 61 + 2 \cdot 6 = 73 \text{ кг,} \quad (4.27)$$

где  $S$  — среднеквадратическое отклонение.

Суммарная нагрузка  $P$ , действующая на геленок со стороны стопы, будет составлять 12% от веса тела, приходящегося на одну ногу

$$P = \frac{12}{100} \cdot \frac{m_{\max}}{2} \cdot g = \frac{12}{100} \cdot \frac{73}{2} \cdot 9,8 \approx 43 \text{ Н,} \quad (4.28)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения.

Наибольшая интенсивность нагрузки  $q_0$  в точке опоры на пяточном конце геленка будет

$$q_0 = \frac{2\omega}{l} = \frac{2 \cdot 43}{0,084} = 1024 \text{ Н/м,} \quad (4.29)$$

где  $\omega$  — грузовая площадь, равная суммарной нагрузке, действующей на геленок.

Опорные реакции в пяточном и пучковом концах геленка будут соответственно равны

$$\begin{aligned} A &= \frac{q_0 \cdot l}{3} = \frac{1024 \cdot 0,084}{3} = 28,7 \text{ Н;} \\ B &= \frac{q_0 \cdot l}{6} = \frac{1024 \cdot 0,084}{6} = 14,3 \text{ Н,} \end{aligned} \quad (4.30)$$

где  $l$  — длина балки.

Уравнения, выражающие законы изменения поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$  по всей длине балки будут иметь следующий вид:

$$Q = -\frac{q_0}{6 \cdot l}(l^2 - 3x^2) = 0,0621x^2 - 1,461; \quad (4.31)$$

$$M = \frac{q_0 x}{6 \cdot l}(l^2 - x^2) = 1,461x - 0,0207x^3, \quad (4.32)$$

где  $x$  — координата какого-либо сечения I-I, считая от пучкового конца балки.

На рис. 4.5, б, в показаны эпюры  $Q$  и  $M$ .

Максимальная величина изгибающего момента будет в сечении при  $x = l/\sqrt{3}$ .

В связи с тем, что поперечное сечение геленка не постоянно по всей его длине, для нахождения опасного сечения и величины максимальных напряжений в нем, вычисляем величины напряжений в различных сечениях геленка  $\sigma_x$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}, \quad (4.33)$$

где  $M_x$  — изгибающий момент в сечении геленка, расположенном на расстоянии  $x$  от пучкового конца;

$W_x$  — момент сопротивления этого сечения.

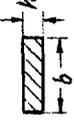
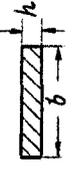
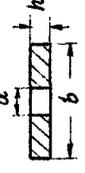
Как видно из чертежа геленка (см. рис. 4.4), он имеет пять участков с различными профилями поперечных сечений: участок 1 — начало пучкового конца, 2 — участок, где расположено отверстие для крепления, 3 — место расширения геленка, 4 — участок по ребру жесткости, 5 — участок, где расположено отверстие для крепления геленка.

В табл. 4.1 показаны сечения различных участков и даны их размеры.

Моменты сопротивления сечений геленков для участков, где нет ребра жесткости, вычисляются достаточно просто. Так, для участков 1 и 3, сечение которых имеет прямоугольную форму, момент сопротивления будет равен

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (4.34)$$

Таблица 4.1

№ сечения	Профиль сечения	Размеры сечения, мм					Момент инерции $I_y \cdot 10^{-4}, \text{см}^4$	Момент сопротивления $W \cdot 10^{-2}, \text{см}^3$
		$b$	$h$	$d$	$R$	$r$		
1.		7,0	1,0	-	-	-	0,583	0,117
2.		8,0	1,0	4,4	-	-	0,300	0,060
3.		14,0	1,0	-	-	-	1,167	0,233
4.		13,5	1,0	-	2,7	1,7	7,135	0,408
5.		14,0	1,0	4,4	-	-	0,800	0,160

где  $b$  и  $h$  — соответственно ширина и высота сечения.

Момент сопротивления сечений участков 2 и 5, где расположены отверстия для крепления геленка, вычисляются по формуле:

$$W = \frac{h^2(b-d)}{6}, \quad (4.35)$$

где  $d$  — диаметр отверстия.

Что касается сечения по ребру жесткости, имеющего сложную форму, то для вычисления его момента сопротивления разобьем сечение на простые геометрические фигуры линиями, проходящими через точки сопряжения дуг. При этом получается, что сечение геленка состоит из двух прямоугольников 1,5 и трех кольцевых секторов — 2÷4 (рис. 4.6).

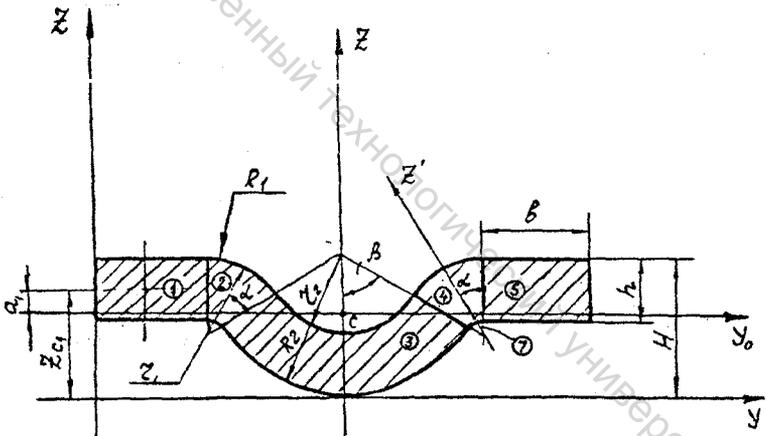


Рис. 4.6. Поперечное сечение геленка в месте нахождения ребра жесткости

Момент сопротивления сечения будет равен

$$W = \frac{I_y}{z_{max}}, \quad (4.36)$$

где  $I_y$  — момент инерции сечения относительно оси  $Y$ ;

$z_{max}$  — расстояние от центральной оси до наиболее удаленной точки.

Момент инерции сечения сложной формы, как известно, равен сумме моментов инерции его составных частей. Для нашего случая

$$I_{y_0} = 2I_y^1 + 2I_y^2 + I_y^3, \quad (4.37)$$

где  $I_y^{1...3}$  — моменты инерции выделенных геометрических фигур 1÷3.

Таким образом, задача сводится к нахождению моментов инерции составных частей сечения относительно нейтральной оси  $y_0$ , проходящей через центр тяжести сечения  $C$ .

Так как сечение геленка симметрично относительно оси  $Z$ , то центр тяжести будет лежать на этой оси. Расстояние же центра тяжести сечения  $C$  до вспомогательной оси  $Y$  определяется как

$$Z_{c_0} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} F_i \cdot Z_{c_i}}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i}, \quad (4.38)$$

где  $F_i$  — площадь фигур, составляющих сечение геленка;

$z_{c_i}$  — расстояние центров тяжести частей сечения от вспомогательной оси  $Y$ ;

$n$  — количество составных частей, на которые разбито сечение геленка.

Площади и расстояния центров тяжести частей сечения при нашей разбивке будут равны

$$F_1 = F_3 = b \cdot h; \quad z_{c_1} = z_{c_3} = H - \frac{h}{2}, \quad (4.39)$$

где  $H$  — высота сечения геленка.

$$F_2 = F_4 = R_1^2 \alpha - r_1^2 \alpha; \quad z_{c_2} = z_{c_4} = H - (R_1 - z'_{c_2} \cdot \cos \alpha), \quad (4.40)$$

где  $z'_{c_2}$  — координата центра тяжести кругового сектора относительно

собственных центральных осей;

$\alpha$  - угол в радианах.

$$z'_{c_2} = \frac{2}{3} R_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha} \cdot \frac{1 - \left(\frac{r_1}{R_1}\right)^3}{1 - \left(\frac{r_1}{R_1}\right)^2}. \quad (4.41)$$

$$F_3 = R_2^2 \alpha - r_2^2 \alpha; \quad z_{c_3} = H - z'_{c_3}; \quad z'_{c_3} = \frac{2}{3} R_2 \cdot \frac{\sin \beta}{\beta} \cdot \frac{1 - \left(\frac{r_2}{R_2}\right)^3}{1 - \left(\frac{r_2}{R_2}\right)^2}. \quad (4.42)$$

Моменты инерции составных частей сечения геленка относительно центральной оси  $I'_{y_0}$  будут равны

$$I'_{y_0} = I'_{y_i} + a_i^2 F_i, \quad (4.43)$$

где  $I'_{y_i}$  — момент инерции части сечения относительно своей центральной оси  $y_i$ , параллельной центральной;

$a_i$  — расстояние между осями.

Вычисление моментов инерции частей сечения относительно собственных центральных осей производится по известным формулам:

$$\text{для прямоугольников: } I'_{y_i} = \frac{bh^3}{12}, \quad (4.44)$$

$$\text{для кольцевых секторов: } I'_{y_i} = \frac{R_i^4}{4} \alpha \left( 1 + \frac{\sin 2\alpha}{2\alpha} \right) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{r_i}{R_i} \right)^4 \right], \quad (4.45)$$

где  $\alpha$  (или  $\beta$ ) - углы в радианах.

Необходимо только учесть, что центральные оси участков 2 и 4 расположены под углом  $30^\circ$  к нейтральной оси. Поэтому перед вычислением моментов инерции этих участков относительно центральной оси необходимо

определить моменты инерции при повороте центральных осей на угол  $30^\circ$ .

Моменты инерции относительно повернутых осей будут равны

$$I_{y_i}^i = I_{y_i}^i \cos^2 \alpha + I_{z_i}^i \sin^2 \alpha. \quad (4.46)$$

В табл. 4.1. приведены результаты подсчета моментов инерции и моментов сопротивления сечений геленка по различным участкам, а на рис.4.5, г показана эпюра напряжений по длине геленка. Как видно из эпюры, максимальные напряжения возникают в сечении, расположенном в пяточном конце геленка там, где начинается ребро жесткости. Несколько меньше по величине напряжения в сечении, где расположено отверстие для крепления геленка в пяточном конце. Однако, необходимо учитывать, что в этом месте наличие отверстия вызывает концентрацию напряжений, и местные напряжения могут оказаться значительно выше расчетных.

Следовательно, опасными в геленке являются два сечения: первое — в месте окончания ребра жесткости, второе — в месте расположения отверстия для крепления геленка. В этих двух сечениях и должна производиться проверка прочности геленка.

Величина наибольших значений действительных напряжений  $\sigma^d_{max}$  в этих сечениях при ходьбе будет равна:

– в месте окончания ребра жесткости  $\sigma^d_{max} = 2\sigma^c = 2 \cdot 172,9 = 345,8$  МПа;

– в месте расположения отверстия  $\sigma^d_{max} = 2\sigma^c = 2 \cdot 151,5 = 303$  МПа,

где  $\sigma^c$  — расчетные напряжения в этих сечениях при статическом нагружении.

Геленки марки Т изготавливают из стали марки 50. При этом в процессе производства материал подвергается термообработке. Согласно литературных данных предел выносливости при симметричном цикле  $\sigma_{-1}$  стали марки 50 с учетом термообработки равен 400 МПа.

Коэффициент запаса прочности  $k$  согласно методике расчета принят равным 1,1.

Действительный коэффициент концентрации напряжений  $\alpha_{kd}$  в месте расположения отверстия принят 1,6 как для плоской полосы с поперечным отверстием [15]. В месте же окончания ребра жесткости переход к прямоугольному сечению достаточно плавный, поэтому действительный коэффициент концентрации определим по формуле:

$$\alpha'_{kd} = 1,2 + 0,02 \frac{\sigma_{np} - 400}{1100} = 1,27, \quad (4.47)$$

где  $\sigma_{np}$  — предел прочности, равный 800 МПа для стали марки 50.

Допускаемое напряжение при симметричном цикле будет равно:

- для сечения, расположенного в месте окончания ребра жесткости

$$[\sigma_{-1}^u] = \frac{\sigma_{-1}^u}{k \cdot \alpha'_{kd}} = \frac{400}{1,1 \cdot 1,27} = 286,3 \text{ МПа}. \quad (4.48)$$

- для сечения, расположенного в месте наложения отверстий

$$[\sigma_{-1}^u] = \frac{\sigma_{-1}^u}{k \cdot \alpha_{kd}} = \frac{400}{1,1 \cdot 1,6} = 227,2 \text{ МПа}. \quad (4.49)$$

Допускаемое напряжение при статической нагрузке равно

$$[\sigma_{+1}^u] = \frac{\sigma_T^u}{k} = \frac{0,8\sigma_{np}}{k} = \frac{0,8 \cdot 800}{1,1} = 581,8 \text{ МПа}. \quad (4.50)$$

Допускаемое напряжение для несимметричного цикла с характеристикой  $r=0,6$  будет равно:

- для сечения, расположенного в месте окончания ребра жесткости

$$[\sigma_{-0,6}^u] = \frac{2[\sigma_{+1}^u] \cdot [\sigma_{-1}^u]}{(1+0,6)[\sigma_{+1}^u] + (1-0,6)[\sigma_{-1}^u]} = \frac{2 \cdot 581,8 \cdot 286,3}{(1+0,6) \cdot 581,8 + (1-0,6) \cdot 286,3} = 318,6 \text{ МПа}. \quad (4.51)$$

- для сечения, расположенного в месте нахождения отверстия

$$[\sigma_{-0,6}^u] = \frac{2 \cdot 581,8 \cdot 227,2}{(1 + 0,6) \cdot 581,8 + (1 - 0,6) \cdot 227,2} = 258,7 \text{ МПа} \quad (4.52)$$

Сравним полученные значения допускаемых напряжений с максимальными амплитудами напряжений, полученными по расчету для опасных сечений как при несимметричном, так и при симметричном циклах:

- для сечения, расположенного в месте окончания ребра жесткости

$$\sigma_{max}^{\partial} = 345,8 \text{ МПа} > 318,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{1max} = 276,6 \text{ МПа} < [\sigma_{-1}^u] = 286,3 \text{ МПа} \quad (4.53)$$

- для сечения, расположенного в месте нахождения отверстия для крепления геленка

$$\sigma_{max}^{\partial} = 303 \text{ МПа} > [\sigma_{-0,6}^u] = 258,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{1max} = 242,4 \text{ МПа} > [\sigma_{-1}^u] = 227,2 \text{ МПа} , \quad (4.54)$$

где  $\sigma_{1max} = 0,8 \sigma_{max}^{\partial}$

Как видно из сравнения, в опасных сечениях геленка СТ-2 при ходьбе возникают напряжения больше допускаемых независимо от того, меняются они по симметричному или по несимметричному циклу. При этом наиболее опасным в данном геленке является сечение, расположенное в месте нахождения отверстия для крепления геленка в пяточной части.

Однако необходимо учитывать, что допускаемые напряжения определяются, исходя из условия, что материал должен выдерживать практически неограниченное число циклов. Исходя же из сроков носки обуви, геленок должен выдерживать 2,5-3,0 млн. циклов изгибов. В связи с этим большой интерес вызывает вопрос, сколько же циклов изгибов выдержит геленок при тех напряжениях, которые возникают в его сечениях. Для

получения ответа на этот вопрос необходимо проводить испытания геленков на усталостную прочность.

## 5. Испытание геленков

Как было показано выше, для выполнения предназначенных функций геленок должен обладать достаточной жесткостью, упругостью и прочностью. В связи с этим существующие методы испытания геленков и направлены на определение этих характеристик.

Большинство известных методов позволяют определять только жесткость и упругость геленков. При этом по характеру нагружения геленков их можно объединить в две группы: испытание по схеме балки на двух опорах и испытание по схеме консольной балки.

Так, согласно ТУ 17-15-10-90 [16] испытание геленков производится на приборе для контроля упругости геленков. Геленок устанавливают на плоскость (рис. 5.1, а) и нагружают его до полного выпрямления. Затем нагрузка снимается и замеряется остаточная деформация после выпрямления геленка, по которой судят об упругости.

При испытании по методике [17] геленок устанавливается на два неподвижных упора с постоянной базой 70 мм таким образом, чтобы передаваемое усилие приходилось в наиболее высокой точке прогиба геленка  $f$  (рис.5.1, б). При испытании замеряется нагрузка после выпрямления геленка и остаточная деформация после снятия нагрузки.

При испытании геленка по принципу консольно закрепленной балки [18,19] его пяточный конец жестко закрепляется в зажимах, а пучковый конец нагружается сосредоточенной силой  $Q$  (рис. 5.1,в). При этом в одних случаях фиксируется нагрузка, вызвавшая определенный прогиб пучкового конца (например, 5 мм) [18]; в других, наоборот, замеряется стрела прогиба в определенной точке геленка при нагружении его определенной силой (например, 50 Н при плече изгиба  $l=85$  мм для размера обуви 240). Расчет

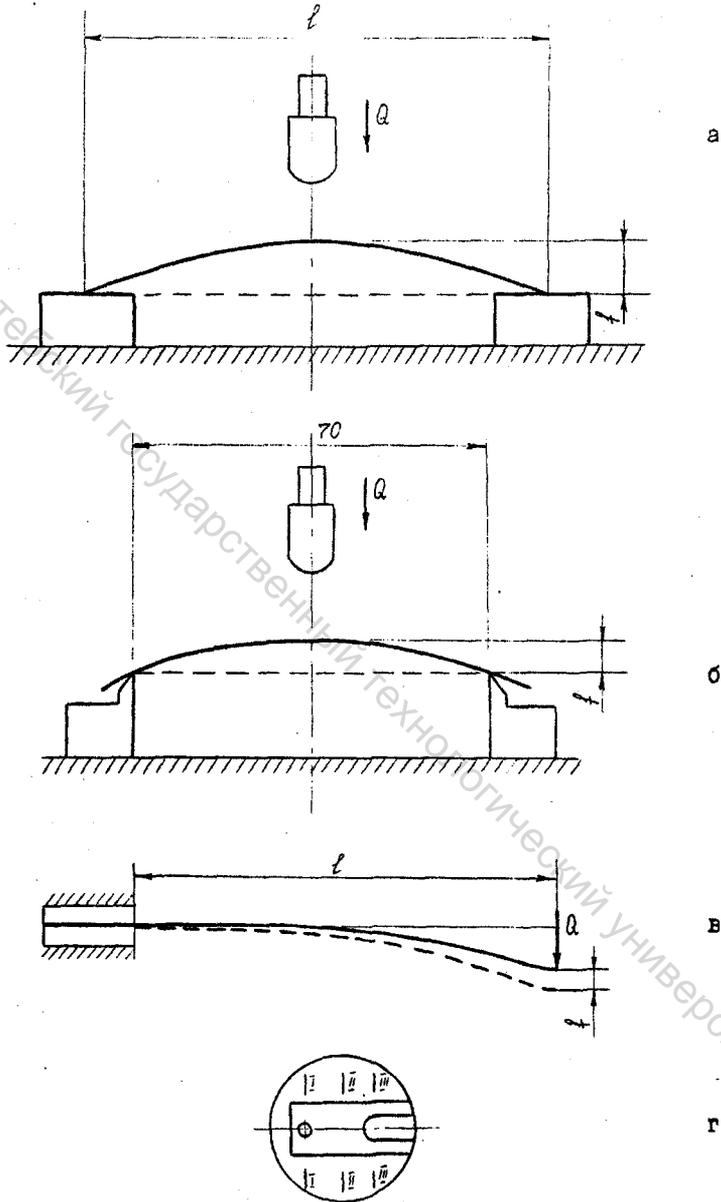


Рис. 5.1. Схемы нагружения гелекков

нагрузки и плеча изгиба проводится, исходя из напряжений, возникающих в геленке при ходьбе [19]. В том и другом случае замеренными величинами характеризуется жесткость геленка. Для характеристики упругости геленка в работе [19] предложен динамический метод испытания, при котором консольно закрепленный геленок нагружается с частотой 70-140 цикл/мин., что соответствует быстрой ходьбе, а после 30 и 6000 циклов изгиба и 5 мин. отдыха замеряется остаточная деформация геленка, которая характеризует его упругость.

В работе [20] предлагается прибор для оценки жесткости геленков при различных схемах их нагружения и закрепления, в котором пяточный конец геленков крепится в зажиме, шарнирно закрепленном на одной из опор, что позволяет менять угол наклона геленка. В приборе также имеется дополнительная опора для испытания геленков по схеме балки на двух опорах. При нагружении геленка сосредоточенной силой фиксируется величина прогиба геленка в месте приложения нагрузки и величина прикладываемой нагрузки.

С целью выбора наиболее рациональной методики определения жесткости и упругости геленков было проведено испытание различных конструкций геленков по трем схемам нагружения, изображенным на рис. 5.1. Нагружение геленков осуществлялось на разрывной машине Frank (ФРГ), которая обеспечивала в автоматическом режиме прогиб геленка по заданной программе и запись значения усилия  $Q$  от величины прогиба  $f$ . Остаточная деформация определялась с помощью микрометра с ценой деления 0,01 мм. Для получения статистически достоверных данных по возможности испытывалось по 5-10 однотипных геленков [8].

Как показали исследования, при испытании геленков по методике [17] усилия, необходимые до полного его выпрямления, несколько больше, а остаточные деформации меньше по сравнению с данными, полученными при испытании по методике ТУ 17-15-10-90 [16]. Наблюдается также уменьшение

коэффициента вариации как по значениям усилий, так и по значениям остаточных деформаций. Это свидетельствует о более высокой стабильности результатов испытаний одних и тех же геленков по методике [17].

Объясняется это тем, что при испытании по методике ТУ 17-15-10-90 у геленка деформируются в первую очередь наиболее слабые концевые участки, зачастую имеющие еще и вилку в пяточной части. Это и приводит к высокой нестабильности результатов. При испытании же по методике [17] эти участки располагаются за опорами и нагрузка приходится на те участки, которые наиболее нагружены в реальной конструкции обуви, что позволяет получить более объективные данные о жесткости и упругости геленков.

Испытание геленков при консольном закреплении показало, что жесткость их во многом зависит от места закрепления. Если закрепление геленка в зажимах происходит по сечению, куда попадает отверстие для крепителя (см. рис. 5.1, г, сечение I), то в этом случае наблюдается самая низкая жесткость. Наибольшее значение жесткости соответствует закреплению геленка по ребру жесткости (см. рис. 5.1, г, сечение III). То обстоятельство, что отверстия располагаются на различных расстояниях в разных конструкциях геленков, приводит к изменению плеча изгиба, что вызывает определенные трудности при испытаниях геленков различных конструкций.

Для контроля жесткости геленков одинаковых конструкций этот метод даст наиболее стабильные результаты. Кроме того, в реальных конструкциях существующих геленков их опасное сечение (с отверстием) зачастую может попадать на линию фронта каблука. Поэтому испытание по методу консоли может дать наиболее объективные результаты, однако метод не позволяет оценить упругость геленка.

Таким образом, анализ существующих методов испытания жесткости и упругости геленков показывает, что эти испытания целесообразно проводить по методике [17], сочетая ее с испытанием консольно закрепленного геленка. Подобный комплекс испытаний усилит контроль за качеством геленков и будет

способствовать повышению комфортности высококаблучной обуви.

Анализ данных жесткости и упругости различных геленков показал, что жесткость как отечественных, так и импортных геленков различных стран колеблется в очень широких пределах: величина нагрузки для полного выпрямления геленка при испытании на двух опорах колеблется от 400 до 1200 Н, а при испытании по методу консоли — от 18,9 до 55,7 Н по сечению с отверстием и от 40,0 до 96,8 Н по ребру жесткости.

Такие значительные колебания жесткости геленков объясняются различными конструкциями, марками сталей, используемых для их производства, и режимами термообработки.

При этом жесткость австрийских и итальянских геленков в среднем несколько выше геленков стран СНГ.

Величина остаточной деформации стрелы прогиба геленка  $\Delta f_{ост.}$ , характеризующая упругость геленка, также колеблется в очень широких пределах: от 0,22 до 6,46 мм. У большинства австрийских и итальянских геленков остаточная деформация колеблется в пределах 1,6-2,2 мм.

Согласно последним техническим условиям ТУ РБ 00302570.014-98 [3] при контроле определяется только упругость геленков. Для этих целей рекомендован прибор, схема которого изображена на рис. 5.2. При этом геленок устанавливается на съемную плиту 8 таким образом, чтобы пяточная часть его (с развилкой) опиралась на  $2/3$  длины развилки, а пучковая — не более 1,5 ширины геленка.

Пяточная часть устанавливается торцом в упор 9. Пучковая же часть при выпрямлении должна свободно перемещаться по съемной плите.

Шток 4 плавно опускают до соприкосновения его с геленком и снимают показания индикатора часового типа ИЧ-10. При помощи рычага 5 движением вниз перемещают шток 4 до полного выпрямления геленка. Нагрузка при этом прикладывается в наивысшей точке продольного профиля геленка.

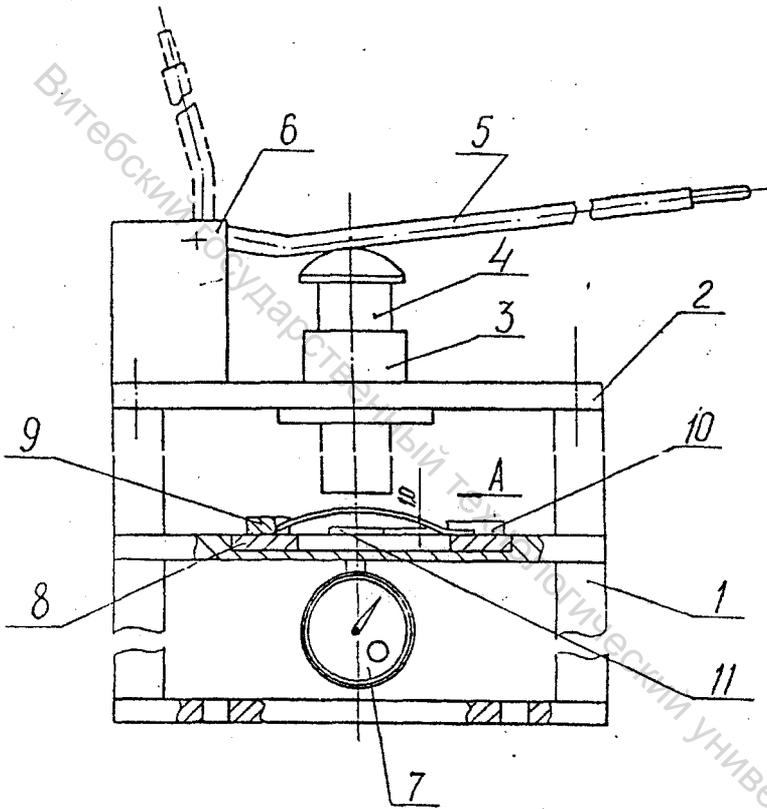


Рис. 5.2. Схема прибора для контроля упругости гелекков

Затем рычаг 5 перемещают в крайнее верхнее положение (снятие нагрузки). Шток 4 поднимают вверх и вновь плавно опускают до соприкосновения с геленком и снимают показания индикатора.

Величина остаточной деформации, характеризующая упругость геленка, определяется как разность первоначального показания индикатора и его показания после снятия нагрузки:

$$\Delta = f_1 - f_2$$

где  $\Delta$  - упругость (остаточная деформация), мм;

$f_1$  - стрела прогиба до приложения нагрузки, мм;

$f_2$  - стрела прогиба после снятия нагрузки, мм.

Геленки соответствуют требованиям, если величина остаточной деформации не превышает для обуви:

- с особо высоким и высоким каблуками — 3,0 мм;
- со средним каблуком — 1,5 мм;
- с низким каблуком — 1,0 мм.

Наряду с оценкой жесткости и упругости геленков большое значение имеет испытание их прочности, на что указывает большой процент поломки геленков при эксплуатации обуви. Однако до сих пор таких испытаний существующие стандарты не предусматривают, отсутствуют серийные приборы и типовые методики испытания прочности геленков.

Нами была разработана методика испытания геленков на прочность и прибор для этих целей. При разработке методики выбрана наиболее простая схема нагружения: консольная балка, на которую действует сосредоточенная сила. Это связано с тем, что на прочность проверяется наиболее опасное сечение геленка, в котором необходимо создать требуемое напряжение, а с помощью какой схемы нагружения эти напряжения будут достигнуты, в принципе неважно.

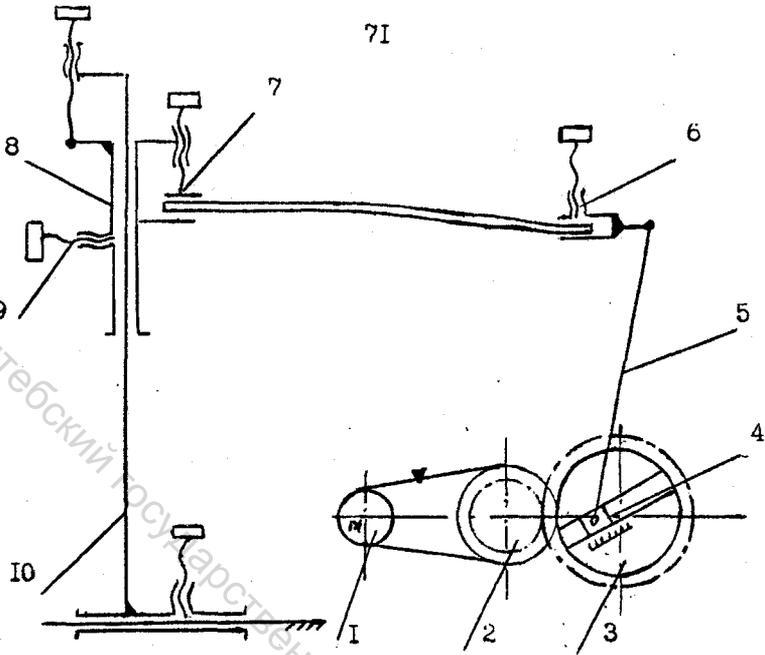
Известно, что величина предела выносливости материала в значительной мере зависит от степени симметрии цикла, т.е. соотношения между крайними

значениями меняющегося напряжения. Исследование напряжений в сечениях геленка при ходьбе [12] показало, что, как правило, цикл изменения напряжений в опасных сечениях геленка несимметричен: характеристика цикла  $r = \sigma_{min}/\sigma_{max}$  у разных носчиков колеблется -0,4 до -0,8. Однако, с учетом сильной вариации значений  $\sigma_{min}$  и  $\sigma_{max}$  возможны случаи, когда эти значения будут равны по величине и обратны по знаку, т.е. будет иметь место симметричный цикл. При симметричном же цикле предел выносливости материала имеет наименьшее значение, поэтому испытания геленков на прочность следует проводить при таком цикле, как наиболее опасном.

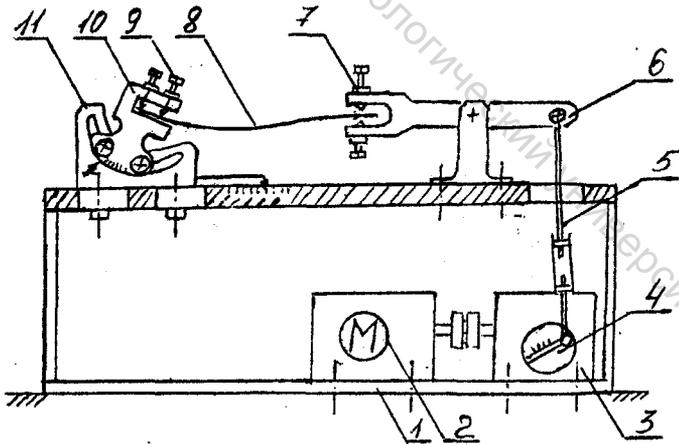
Учитывая также, что время действия отрицательных и положительных напряжений в течение шага примерно одинаковое, для испытания геленков на усталость принят цикл, в котором закон изменения напряжений во времени характеризуется кривой, имеющей вид синусоиды, т.к. такой цикл может быть наиболее просто воспроизведен.

Частота изменения напряжений при ходьбе составляет в среднем 60 цикл./мин. Однако с целью уменьшения времени испытания и учитывая, что изменение частоты колебаний до 100 Гц (6000 цикл./мин.) не оказывает существенного влияния на сопротивление усталости, частота изменения напряжений в геленке может быть выбрана значительно больше, чем при ходьбе.

Перечисленные основные положения были реализованы в приборе и методике испытаний геленков на усталостную прочность. Прибор обеспечивает как несимметричное, так и симметричное знакопеременное нагружение геленка. На рис. 5.3, а представлена кинематическая схема разработанного прибора. На металлической плите расположены узел закрепления геленка, состоящий из стойки 10, зажима 7 и направляющих 8, и узел нагружения, в который входят электродвигатель I, пара зубчатых колес 2 и 3, регулирующий эксцентричный палец 4, шатун 5 и зажим 6. Закрепленный в зажиме 7 геленок может перемещаться вверх и вниз по направляющим 8 и фиксироваться винтом



a)



б)

Рис. 5.3. Принципиальные схемы приборов для испытания гелекков на усталостную прочность

9. Такое перемещение зажима позволяет создать в сечениях геленка предварительное напряжение постоянной величины и тем самым получить несимметричный цикл изменения напряжений при работе прибора с любой характеристикой цикла. Стойка может перемещаться вдоль станины, что дает возможность испытывать геленки разной длины.

Нагружение геленка переменным симметрично изменяющимся напряжением осуществляется шатуном, соединенным шарнирно с эксцентричным пальцем, эксцентриситет которого относительно оси вала может регулироваться, что дает возможность изменять стрелу прогиба пучкового конца геленка и тем самым величину амплитуды напряжения в его сечениях. Изменение частоты колебаний геленков достигается сменой зубчатых колес.

Однако разработанный прибор позволяет одновременно проводить испытания только одного геленка, что требует больших затрат времени на проведение испытаний. В связи с этим совместно с ЦНИИКПом был разработан прибор, позволяющий одновременно проводить испытания шести геленков, в котором реализованы те же основные положения, что и в описанном выше приборе. Принципиальная схема этого прибора представлена на рис. 5.3,б.

Станина 1 прибора, представляет собой верхнюю и нижнюю плиты, соединенные стойками. На нижней плите расположен электродвигатель 2, соединенный через муфту червячным редуктором 3. На двух концах выходного вала редуктора закреплены два эксцентрика 4, эксцентриситет которых может регулироваться. На верхней плите станины расположены два узла нагружения и два узла крепления геленков, т.е. две секции испытания, в каждой из которых можно испытывать по три геленка. Геленок закрепляется в зажиме 10 с помощью винтов 9. Зажим закреплен в пазах стойки 11 и может изменять свое положение и наклон, что позволяет испытывать геленки разной кривизны. Рычаг нагружения 6 закреплен на оси и связан тягой переменной длины 5 с

эксцентриком 4. Тяга переменной длины предусмотрена для обеспечения при испытаниях заданной величины цикла. Нагружение пучкового конца геленка осуществляется винтами 7, которыми регулируется стрела прогиба и степень симметрии цикла.

Зная величину амплитуды колебаний напряжения цикла в сечении геленка, расположенном в месте закрепления в приборе, и момент сопротивления этого сечения  $W$ , который подсчитывается, исходя из геометрических размеров сечения, легко определить величину силы  $P$ , которую нужно приложить к пучковому концу геленка, чтобы получить заданное напряжение в заделке:

$$P = \frac{M}{l}, \quad (5.1)$$

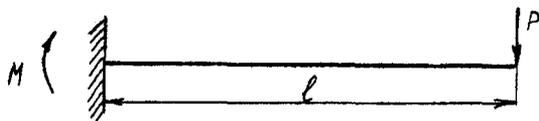
где  $M = \sigma_a \cdot W$ ;

$l$  — длина балки.

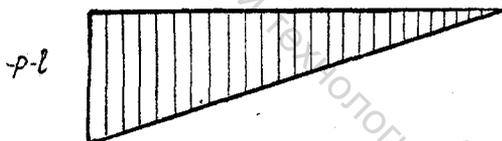
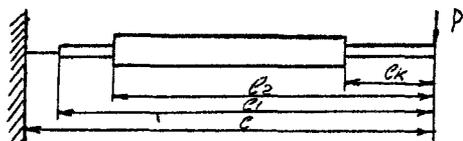
При этом геленок рассматривается как прямолинейная балка, длина которой  $l$  берется от места закрепления пяточного конца до места приложения нагрузки в пучковом конце (рис. 5.4, а).

Вычислив силу  $P$  и рассматривая геленок как балку переменного сечения, защемленную одним концом и нагруженную сосредоточенной силой на другом конце, графоаналитическим способом можно довольно просто определить прогиб балки под силой  $P$  [21]. На рис. 5.4, б показана расчетная схема для определения прогиба такой балки, эпюра изгибающих моментов от действия силы  $P$  и фиктивная балка, нагруженная фиктивной нагрузкой. Значение интенсивности фиктивной нагрузки в каждой точке оси фиктивной балки находится путем умножения соответствующей ординаты эпюры  $M$  на отношение  $E_i/E_1$ , где  $I$  — момент инерции сечения в месте защемления, в котором действует  $M_{max}$ ,  $I_i$  — момент инерции в  $i$ -том сечении.

Прогиб под силой  $P$  равен изгибающему моменту в защемлении

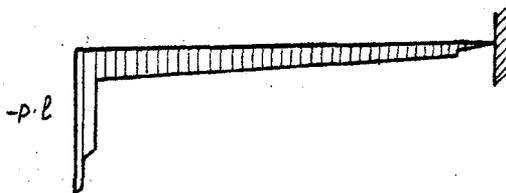


а)



-P·l

б)



-P·l

Рис. 5.4. Расчетная схема для определения прогиба геленка

фиктивной балки, деленному на жесткость действительной балки:

$$f = \frac{M_f}{EI}. \quad (5.2)$$

При этом величина изгибающего момента  $M_f$  определяется как сумма произведений грузовых площадей фиктивной нагрузки  $\omega_i$  на расстояния центров тяжести этих площадей до рассматриваемого сечения  $x_i$ :

$$M_f = - \sum_{i=1}^{i=k} \omega_{x_i} \cdot x_i. \quad (5.3)$$

Величину эксцентриситета для настройки прибора, т.е. прогиб пучкового конца геленка под силой  $P$ , можно определить и экспериментально. Для этого на закрепленный в приборе геленок в точке приложения силы  $P$  подвешивались грузы массой 0,2, 0,4, ..., 1,0 кг, и с помощью индикатора замерялась стрела прогиба  $f$  от силы  $P$ . Построив график зависимости величины прогиба  $f$  от силы  $P$  можно затем быстро определить величину прогиба для любой заданной силы.

Ниже приводится расчет стрелы прогиба пучкового конца геленка СТ-2 для определения величины эксцентриситета при настройке прибора. В качестве заданного напряжения для вычисления прогиба принята величина амплитуды колебаний напряжения цикла  $\sigma_a$ , равная

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = 250 \text{ МПа}. \quad (5.4)$$

При этом величина силы, которую необходимо приложить на пучковом конце геленка, чтобы получить заданное напряжение в заделке, будет равна

$$P = \frac{M}{l} = \frac{\sigma_a \cdot W}{l} = 5,4 \text{ Н}, \quad (5.5)$$

где  $l$  — проекционная длина геленка от места защемления в зажиме до места

приложения нагрузки, равная 74 мм.

Величина прогиба  $f$  под силой  $P$  определяется графоаналитическим способом. На рис.5.4. показана расчетная схема для определения прогиба геленка СТ-2.

Величина изгибающего момента  $M_f$  определяется как

$$M_f = - \sum_{i=1}^{i=5} \omega_{x_i} \cdot x_i \quad (5.6)$$

При этом грузовые площади фиктивной нагрузки определяются или по чертежу, если он вычерчен в соответствующем масштабе, или расчетным путем как разность площадей прямоугольников и треугольников по каждому участку.

Прогиб под силой  $P=5,4$  Н подсчитывался по формуле:

$$f = \frac{M_f}{EI} = 2,9 \text{ мм.} \quad (5.7)$$

где  $E$  — модуль упругости стали 50, равный  $2 \cdot 10^5$  МПа,

$I$  — момент инерции сечения в месте закрепления, равный  $0,8 \text{ мм}^4$ .

Величина эксцентриситета для настройки прибора, т.е. прогиб пучкового конца геленка под действием силы  $P=5,4$  Н, проверяли экспериментально путем подвешивания груза массой 0,54 кг в месте приложения силы  $P$  и замера с помощью индикатора стрелы прогиба. Данные совпали с точностью до 0,1 мм.

С целью проверки правильности настройки прибора и стабильности его работы одновременно с испытанием геленка на усталость производился контроль величины амплитуды и характера изменения напряжений в сечениях геленка. С этой целью на испытуемые геленки в области опасного сечения наклеивались проволочные тензодатчики с базой 5 мм и сопротивлением  $R=101,3$  Ом, которые по полумостовой схеме вместе с компенсационным датчиком подключались к усилителю 8АНЧ-7М и шлейфовому осциллографу К-115.

При нагружении геленков грузами различной массы для определения величины прогиба одновременно на экране осциллографа фиксировалась величина отклонения луча шлейфа. Определив величину отклонения луча шлейфа осциллографа, соответствующую заданному напряжению 250 МПа, можно по ней вести настройку и контроль работы прибора.

После настройки и включения прибора производилась запись циклограммы изменения напряжений. Аналогичная запись проводилась и после 12 часов работы. Расшифровка и анализ циклограмм показали, что при настройке прибора по разработанной методике напряжения в сечениях геленка изменяются действительно по симметричному циклу, закон изменения напряжения во времени характеризуется кривой, имеющей вид синусоиды, амплитуда колебаний напряжений соответствует расчетными данным. Стабильность режима испытания подтверждается тем, что в течение 12 часов как величина, так и характер изменения напряжений остались постоянными.

Результаты испытания геленков на усталостную прочность показали, что геленки СТ-2 выдерживают в среднем 2,0 - 2,3 млн. циклов изгибов, что несколько меньше установленного исходя из сроков носки обуви предела. Однако если учесть, что условия испытания геленков в приборе более жесткие, чем при работе его в обуви, то становится понятным, что, как правило, геленки выдерживают срок носки обуви.

## 6. Новые конструкции геленков для высококаблучной обуви

Как видно из предыдущих разделов, в настоящее время ассортимент отечественных геленков, применяемых при изготовлении высококаблучной обуви, не отличается большим разнообразием конструкций. Зато наличие большого числа заводов-изготовителей, их обширная география, различия в поставках и качестве исходного проката приводят к значительной вариации механических характеристик геленков одной конструкции, но различных

заводов-изготовителей. В этом плане отечественные геленки для высококаблучной обуви не являются рациональными, поскольку не обеспечивают достаточную надежность стелечного узла.

Создание надежного стелечно-каблучного узла в обуви должно осуществляться комплексом различных мероприятий: правильным подбором стелечных материалов и их толщины, конструкцией и способом крепления каблука (включая подбор крепителей), соответствующей конструкцией геленка.

При обосновании конструкции геленка для высококаблучной обуви исходили из анализа конструктивных параметров и технологических особенностей крепления геленков в обуви отечественного и зарубежного производства.

Анализ опубликованной литературы и проведенные исследования показали, что для различных видов и конструкций обуви зарубежного производства с различной высотой каблука применяются различные геленки, обеспечивающие нормальное функционирование стелечно-каблучного узла с точки зрения оптимальных эргономических свойств. Эти исследования были положены в основу при разработке конструкции геленка для высококаблучной обуви [8].

Разработка конструкции геленка велась для колодки с высотой каблука 70 мм среднего размера. Конструктивные параметры геленка выбирались с учетом конкретных особенностей работы каблучно-геленочного узла обуви в процессе ее эксплуатации и наиболее оптимальных зон его расположения.

Любой геленок характеризуется прежде всего габаритами, профилем поперечных сечений и конструктивными особенностями различных его участков.

При обосновании длиннотных размеров геленка исходили прежде всего из того, что в конструкциях стелечных узлов обуви зарубежного производства для обеспечения высокой надежности каблучно-геленочного узла увеличен заход геленка за линию фронта каблука: геленок располагается от пяточного

закругления стельки в среднем на расстоянии 15 мм, в то время, как типовая технология определяет это расстояние в 22,5 мм [9]. Введение норматива в  $15 \pm 1$  мм позволяет: гарантировать минимально допустимый заход геленка за линию фронта каблука, значительно увеличить устойчивость всего стелечно-каблучного узла, предотвратить случаи отхода каблука вперед или назад от исходного положения.

Дальнейшее увеличение захода геленка за линию фронта каблука нецелесообразно, поскольку край геленка может попасть в зону расположения каблучных крепителей.

При обосновании длиннотных размеров геленка учитывалось и то, что в высококаблучной обуви зарубежного производства для придания устойчивости геленочной части обуви уменьшено расстояние переднего края геленка от линии пучков (29-33 мм в геленках зарубежного производства и 36 мм в отечественных). При соблюдении технологии сборки стелечного узла и правильном подборе геленков случаи попадания переднего конца геленка в зону изгиба исключаются. Исходя из наметившейся тенденции в расположении переднего края картонного геленка для высококаблучной обуви (расстояние от линии пучков минимально, до 3 мм), при условии использования в качестве материала картонных геленков достаточно жестких картонов, пучковый конец геленка можно располагать на расстоянии 15 мм от линии пучков.

Как и у большинства изученных конструкций, ширина геленка 18 мм, а толщина 1,2 мм. Дальнейшее увеличение этих размеров не оправдано, поскольку приводит к увеличению массы геленка.

В плане снижения массы обуви и с учетом эпюр напряженного состояния геленка можно рекомендовать уменьшение ширины с учетом степени ответственности различных участков. Поскольку наиболее опасным является участок геленка, расположенный в области линии фронта каблука, на центральном и переднем конце геленка его ширина может быть уменьшена до 12 мм.

Увеличение прочности и жесткости геленков при сохранении их габаритов и массы достигается за счет применения оптимальных профилей их поперечных сечений. Анализ отечественных и зарубежных геленков показывает, что практически все геленки имеют одно и более ребра жесткости, расположенные вдоль продольной оси геленка. Многие из них имеют дополнительные ребра жесткости в пяточной части.

В разработанной конструкции геленка для обеспечения высокой жесткости его центральной и носочной части сделано одно ребро жесткости, расположенное по всей ширине геленка на этом участке (ширина 9 мм, стрела прогиба 3,5 мм).

Для придания достаточной жесткости пяточного конца геленка предусмотрены два дополнительных краевых ребра жесткости (ширина 4 мм, стрела прогиба 1,5 мм), которые гарантируют выход за линию фронта каблука и усиление этого участка геленка.

Пяточный участок геленка выполнен в виде вилки, что позволяет применять почти все размеры и конструкции каблуков. В случае использования каблуков с маленькой лапшой поверхность этот участок рекомендуется спроектировать иначе — с овальным отверстием и перемычкой на конце геленка.

Как уже отмечалось, наиболее опасным является сечение геленка, расположенное на линии фронта каблука. Основной причиной выхода геленков из строя является их поломка именно на этом участке. Опасность еще более усугубляется близко расположенным крепежным отверстием.

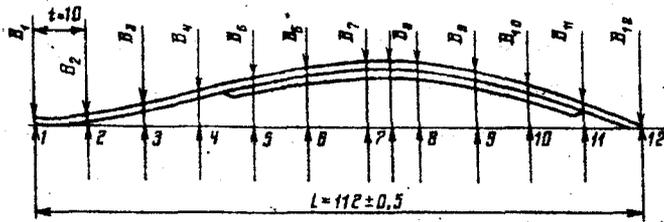
В разработанной конструкции геленка в зоне максимальных концентраций напряжений, у линии фронта каблука, при наибольшей ширине геленок имеет три ребра жесткости, что значительно увеличивает его прочностные характеристики. Поскольку в зависимости от конструкции каблука длина его лапшой поверхности может достигать до 60 мм, предусмотрено, что боковые ребра жесткости в этом случае будут перекрывать линию фронта на 10

мм, и только после этого участка ширина геленка уменьшается.

Для правильного и надежного закрепления геленка на стелечном узле в геленке предусмотрены два крепежных отверстия. С целью уменьшения концентрации напряжений и повышения устойчивости к многоцикловым нагрузкам диаметр отверстия в пяточной части геленка предусмотрено уменьшить до 3 мм. Пучковое отверстие геленка выполняется овальным, что позволяет геленку работать на этом участке менее напряженно.

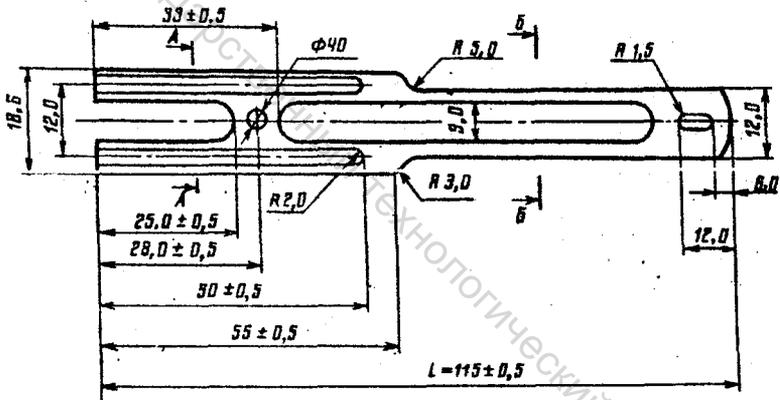
Конструкция разработанного геленка для женской обуви (№ 240) с высотой каблука 70 мм представлена на рис.6.1.

Для изготовления геленков высококаблучной обуви следует применять инструментальные и пружинные стали с более высоким содержанием марганца и углерода, марок Ст 60Г, Ст 65Г по ГОСТ 14959-79; следует строго соблюдать режимы термообработки геленков с целью обеспечения высокой их устойчивости к знакопеременным нагрузкам. Скрепление металлического геленка с картонным рекомендуется производить двумя блочками диаметром 3 мм в пяточном и пучковом концах. В качестве материала картонного геленка для обуви на высоком каблуке обязательно применение картонов повышенной жесткости толщиной 3,5-4,0 мм. В случае применения картона повышенной жесткости меньшей толщины целесообразно картонные геленки изготавливать из двух склеенных слоев. В картонных геленках для высококаблучной обуви необходимо обязательно производить выемку желоба под металлический геленок, что упростит процесс центрирования геленка и ликвидирует случаи неправильного расположения геленка относительно оси симметрии пяточно-геленочного узла. Передний край картонного геленка следует спускать на ширину  $20 \pm 1$  мм, что обеспечит плавный переход его контура к линии пучков.



$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$	$B_{11}$	$B_{12}$
1,3	3,5	5,8	8,3	10,4	12,0	12,4	11,8	10,0	7,2	4,1	1,3

Вариант I



Вариант II

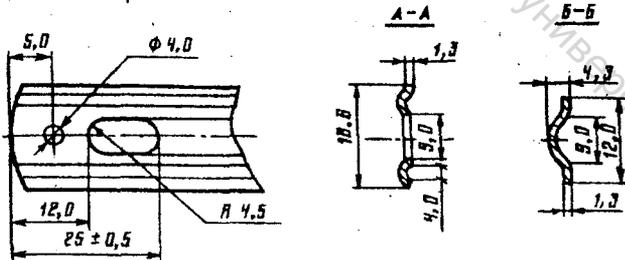


Рис. 6.1. Конструкция геленка для женской обуви (№ 240) с высотой каблука 70 мм

1. Горбачик В. Е., Зыбин Ю. П. Конструктивные решения создания жесткости перемычки обуви. - Товароведение и легкая промышленность. Республиканский межведомственный сборник, вып. 3, Минск, "Вышэйшая школа", 1976, с. 151-158.
2. ОСТ 17-24-83. Геленки металлические для обуви.
3. ТУ РБ 00302570.014-98. Геленки металлические для обуви.
4. Гибкая обувь: Брошюра / Кедров Л. В. и др. - М.: ЦИНТИлегпром, 1962. - 39 с.
5. Буканков Е. И. Применение пластмасс в обувном производстве. - М.: Из-во "Легкая индустрия", 1968. - 70 с.
6. Ченцова К. И., Муханова В. Н., Павлов А. Н. Проектирование и моделирование обувных колодок. - М.: Из-во "Легкая индустрия", 1971. - 208 с.
7. Практикум по конструированию изделий из кожи: Учебн. пособие для студентов вузов. / Ключников В. М., Кочеткова Т. С., Калита А. Н. - М.: Легпромбытиздат, 1985. - 336 с.
8. Горбачик В. Е. и др. Анализ конструкций и методов испытаний каблучно-геленочного узла обуви. - Обувная промышленность. Обзорная информация, вып. 2. - М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1990. - 60 с.
9. Временная технология изготовления особо модной женской и мужской обуви механического производства клеевого метода крепления. - М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1983. - 56 с.
10. Рубашкина Т. С. Супинаторы для гибких комбинированных стелек. - Обувная промышленность. Научно-техническая информация. Серия X, инф. 5(31). - М.: ЦИНТИлегпром, 1966. - 25с.
11. Горбачик В.Е., Федосеев Г.Н. Определение геометрических характеристик поперечных сечений геленков. - Методическая разработка по курсу "Конструирование обуви" для студентов специальности Т.17.04.00

"Технология и конструирование изделий из кожи", Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, ВГТУ, 1999 г. - 30 с.

12. Горбачик В. Е., Зыбин Ю. П. Исследование напряженного состояния металлического геленка в обуви. - Известия вузов. Технология легкой промышленности, 1977, №1. - с. 79-85.

13. Горбачик В. Е., Кульпина К. И., Зыбин Ю. П. Исследование распределения давления по плантарной поверхности стопы в обуви. - Известия вузов. Технология легкой промышленности, 1970, №2. - с. 86-91.

14. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. - М., Наука, 1976. - 608 с.

15. Кинасошвили Р. С. Элементарный курс сопротивления материалов. - Госиздат технико-теоретической литературы, 1952. - 160 с.

16. ТУ 17-15-10-90. Геленки металлические для обуви.

17. Prüfung von Sefruhwerktoffen von Fachfereichesstandart. gr. 625/620/627.

18. А. С. 199470 СССР. Устройство для испытания стелечного узла обуви. - Б. И. №15, 1967.

19. Horáček Y., Sovinsky I. Měšení tunostnich a pevnostnich parametry papinacich stelek. — Kožařstvi, 1973, №8, s. 221-228.

20. А. С. 539261 СССР. Прибор для испытания изделий на изгиб. - Б. И. №46, 1976.

21. Филоненко-Бородич М. М. и др. Курс сопротивления материалов: ч. I. - Госиздат технико-теоретической литературы, 1956. - 246 с.