

А. Н. Буркин

Е. А. Шеремет

**ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ
ОБУВИ**

МОНОГРАФИЯ

Под общей редакцией А. Н. Буркина

**Витебск
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

А. Н. Буркин, Е. А. Шерemet

ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ОБУВИ

МОНОГРАФИЯ

Под общей редакцией А. Н. Буркина

Витебск
2017

УДК 685.34.017.82
ББК 37.255
Б 91

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры товароведения
учреждения образования «Белорусский торгово-экономический
университет потребительской кооперации» Сыцко В. Е.;

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН
Беларуси Гольдаде В. А.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 30.11.2016.

Рекомендовано к изданию Советом УО «ВГТУ»,
протокол № 3 от 29.11.2016.

Буркин, А. Н.

Б 91 **Формоустойчивость обуви : монография / А. Н. Буркин, Е. А. Шеремет, под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 340 с.**
ISBN 978-985-481-515-2

В настоящей монографии обобщен материал как известных, так и собственных работ авторов, связанных с изучением формоустойчивости обуви. Причем вопросы ее оценки относятся ко всему жизненному циклу изделий.

Монография также может быть полезна в качестве учебного материала при изучении курсов «Материаловедение», «Товароведение кожевенно-обувных товаров», «Производственные технологии» и других дисциплин.

Для научных сотрудников, инженерно-технических работников обувных предприятий, студентов, магистрантов и аспирантов.

**УДК 685.34.017.82
ББК 37.255**

ISBN 978-985-481-515-2

© УО «ВГТУ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви. Разработка критерия оценки формоустойчивости обуви	7
1.1 Роль формоустойчивости обуви в оценке ее качества	11
1.2 Определение значимости факторов, влияющих на формоустойчивость обуви	21
1.3 Иерархическая классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви	29
1.4 Установление номинальных значений показателей для критерия оценки формоустойчивости обуви	33
1.5 Разработка критериев оценки формоустойчивости материалов и обуви	40
Глава 2. Влияние технологии производства обуви на ее формоустойчивость	66
2.1 Технологические процессы производства обуви и их влияние на ее формоустойчивость	67
2.2 Разработка методов оценки формоустойчивости материалов, узлов и обуви в процессе ее производства	99
2.3 Исследование влияния режимов формования на формоустойчивость материалов для верха обуви	109
2.4 Исследование влияния режимов формования на формоустойчивость систем материалов, узлов заготовки верха в процессе производства обуви	128
2.5 Оптимизация режимов формования верха обуви	141
Глава 3. Исследование формоустойчивости систем материалов верха и обуви в процессе эксплуатации	172
3.1 Анализ работ, связанных с исследованием формоустойчивости обуви в процессе ее носки	173
3.2 Разработка методов оценки формоустойчивости систем материалов и обуви при эксплуатационных воздействиях	195
3.3 Исследование формоустойчивости систем материалов	211
3.4 Исследование формоустойчивости обуви в процессе ее носки	223
3.5 Установление взаимосвязи между формоустойчивостью систем материалов и обувью	231

Глава 4. Оценка и прогнозирование формоустойчивости обуви	250
4.1 Имитационное моделирование процессов и систем в приложении к обувному производству	251
4.2 Методологические подход к оценке средств измерения формоустойчивости обуви	270
4.3 Разработка методов имитационного моделирования эксплуатационных свойств материалов, систем и обуви	280
4.4 Оценка динамической формоустойчивости материалов, систем и обуви	293
4.5 Прогнозирование формоустойчивости обуви	315
Заключение	336

Витебский Государственный технологический университет

ПРЕДИСЛОВИЕ

В условиях современного рынка большое внимание отводится качеству производимых товаров, которое понимается как соответствие его требованиям, предъявляемым со стороны покупателей. Требования к качеству обуви объединяют соответствие изделия назначению, способность сохранять привлекательный внешний вид на протяжении всего периода носки, ее удобство и надежность. Современные повышенные требования к качеству обуви определяют необходимость не только постоянного совершенствования процессов ее изготовления, но и ужесточение контроля за ее качеством в процессе производства, а также отслеживание изменения свойств обуви в процессе хранения и носки. Для этого необходимо совершенствовать научно-обоснованные методы количественной оценки качества обуви.

Следует отметить, что в настоящее время оценка качества материалов и обуви производится на основе нормативных документов, регламентирующих физико-механические показатели материалов, показатели прочности обуви и специфические показатели, характеризующие ее эргономические свойства и др. В то же время оценку формоустойчивости, которая является одним из важнейших показателей качества материалов и обуви, нормативные документы не регламентируют. Под формоустойчивостью понимают свойство обуви противостоять воздействию внешних и внутренних факторов и сохранять форму, приданную ей при изготовлении. Формоустойчивость является не только важной составляющей в эстетическом оформлении обуви, но и определяет ее удобство. Кроме того, по формоустойчивости обуви можно косвенно оценивать эффективность технологических процессов, совершенство используемого оборудования и оснастки, а также соответствие применяемых материалов конструкциям обуви.

О значимости проблемы формоустойчивости обуви свидетельствует достаточное количество публикаций, посвященных упруго-пластическим свойствам материалов, способам их формования, методам оценки формоустойчивости на всех этапах жизненного цикла изделий. Не будем останавливаться на авторах, исследовавших данную проблему, так как они достаточно полно представлены во всех главах монографии. Несмотря на большое количество исследований по данной проблеме, следует отметить, что проведенные работы не имеют комплексного и системного характера, используемые методы оценки формоустойчивости немногочисленны и несовершенны, так как не всегда отражают комплекс технологических и эксплуатационных воздействий на изделия. Результаты исследований формоустойчивости, полученные рядом авторов, несопоставимы вследствие различия применяемых методов.

С момента первых публикаций авторов настоящей монографии прошел достаточно большой промежуток времени – 20–40 лет, однако проблема формоустойчивости обуви не потеряла свою актуальность и сегодня. Это связано, прежде всего, с появлением на рынке новых материалов, малой изученностью их свойств, несовершенством приборной базы для их исследования, технологией производства обуви, не учитывающей особенности их структуры и свойств и т. д. Все это приводит к тому, что потеря формы обуви встречается как при хранении в послепроизводственный период, так и в процессе ее носки. Причем последнее характерно как для гарантийного срока носки обуви, так и в последующий период.

В монографии работы авторов в основном представлены в хронологическом порядке: от ранних работ, которые раскрывали и развивали отдельные представления о таком сложном и противоречивом понятии – формоустойчивость обуви, к поздним, в которых исследование систематизировалось в рамках определенных ранее факторов, приводящих к изменению формы и размеров изделия.

В настоящей монографии предложен эволюционный подход к описанию и оценке формоустойчивости обуви, основы которого заложены в работах Ю. П. Зыбина и М. Г. Любича. Монография базируется на многочисленных исследованиях формоустойчивости материалов, систем и обуви, проведенных в разные годы А. Н. Буркиным, а также под его руководством студентами, магистрантами, аспирантами и соискателями.

Глубочайшую признательность авторы выражают д.т.н., профессору Сыцко В. Е. и д.т.н., профессору Гольдаде В. А. за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи монографии. В разные годы рецензентами наших публикаций в данной области были: главный научный сотрудник ИММС им. В. А. Белого НАН Беларуси, д.т.н., профессор Пинчук А. С.; директор РИИТ, д.т.н., профессор Соломахо В. Л.; д.т.н., профессор Российского университета кооперации Петрище Ф. А.; зав. кафедрой «Технология изделий из кожи» Новосибирского технологического института МГУДТ, д.т.н., профессор Карабанов П. С.; д.т.н., профессор Прохоров В. Т. и многие другие, которым авторы выражают благодарность за участие в оценке нашей работы.

Материал, представленный в монографии, предназначен для широкого круга читателей, специализирующихся в области обувного производства, а также смежных отраслях промышленности. Разделы монографии касаются вопросов товароведения, материаловедения и технологии обувного производства и могут быть полезны не только научным сотрудникам, а также инженерно-техническому персоналу предприятий и, безусловно, студентам, магистрантам и аспирантам учебных заведений соответствующего профиля.

ГЛАВА 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ОБУВИ. РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ ОБУВИ

Обувь обладает разнообразными свойствами, проявляющимися на всех стадиях ее жизненного цикла: в производстве, хранении и эксплуатации. Обычно различают термины «потребление» и «эксплуатация» товара. Первый из них характеризует полный расход товара, а второй применяют к изделиям, при использовании которых расходуется ресурс.

Следует отметить, что обувь, являясь довольно сложным товаром, обладает помимо формоустойчивости довольно широким набором свойств, которые проявляются в процессе производства и эксплуатации. Созданием различного рода классификации и номенклатур потребительских свойств в обуви занималось достаточное количество авторов: Азгальдов Г. Г., Любич М. Г., Лиокумович В. Х., Лифиц И. М., Кутянин Г. И., Фомина Т. Т., Иванов М. Н., Горбачик В. Е., Линник А. И., Садовский В. В. и др. Все они отмечают в той или иной мере важность сохранения формы обуви при ее эксплуатации. Авторы монографии ставили целью не проведение анализа номенклатур показателей качества обуви, а обозначение важности формоустойчивости как комплексного свойства в ее оценке.

Согласно ГОСТ 15467–79 под продукцией понимается овеществленный результат народнохозяйственной деятельности, предназначенный для удовлетворения определенных потребностей. В свою очередь изделием называется единица промышленной продукции, количество которой исчисляется, например, в парах обуви. Под расходным изделием понимается единица промышленной продукции, количество которой исчисляется при помощи непрерывных величин (килограммов, метров и др.) [1.3].

Продукцию народного хозяйства принято классифицировать в соответствии со следующей схемой (рис. 1.1).

На первом уровне (А) вся промышленная продукция по критерию «Особенности износа (расхода) продукции при эксплуатации» разделяется на два класса: А1 и А2 [1.3].

Продукция первого класса А1 расходуется по назначению в процессе использования. При этом происходит, как правило, необратимый процесс переработки (сырья, материалов, полуфабрикатов) и т. д. В отдельных случаях может быть частично обратимый процесс (например, рециклинг отходов обувного производства и т. д.).

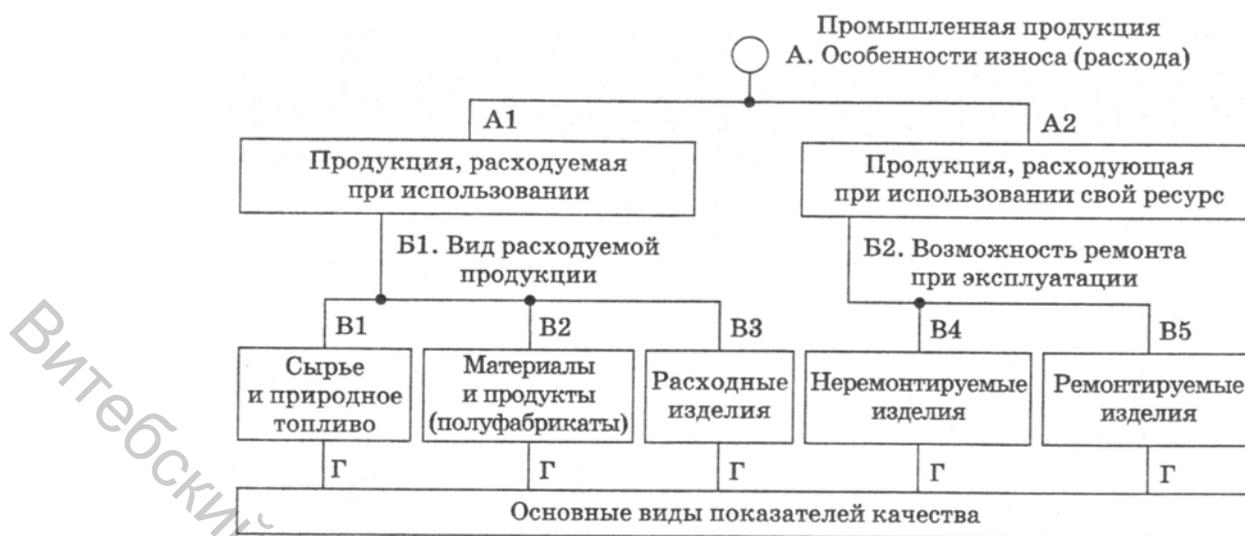


Рисунок 1.1 – Система показателей качества промышленной продукции

При использовании продукции второго класса А2 происходит расход ее ресурса. При этом продукция используется до технического или морального износа.

На втором уровне происходит дальнейшее разделение каждого класса продукции. Первый класс по критерию Б1 «Вид расходуемой продукции» разделяется на три подгруппы: В1, В2, В3, а второй класс по критерию Б2 «Возможность ремонта при эксплуатации» – на две подгруппы: В4 и В5 (см. рис. 1.1).

Далее для всех подгрупп В1–В5 предлагается одна и та же унифицированная номенклатура (система) групповых показателей качества. Выбор в этой системе конкретных показателей качества для дальнейшей оценки уровня качества различных видов промышленной продукции зависит от цели оценки. Цели использования выбираемой номенклатуры показателей продукции устанавливаются в зависимости от характера задачи управления качеством продукции. Ими могут быть:

- установление номенклатуры показателей продукции для включения в общетехнические стандарты, а также в документы таких видов, как технические условия, технические требования: стандарты параметров и (или) размеров; правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения; правила эксплуатации и ремонта и т. п.;

- установление номенклатуры показателей свойств продукции при ее аттестации;

- установление номенклатуры показателей продукции для разработки предложений в планы развития техники, а также для повышения качества серийно выпускаемой продукции;

- установление номенклатуры показателей продукции в документах, определяющих торговые отношения партнёров, или при специализации и кооперации производств.

Возможны и иные цели определения номенклатуры показателей свойств при оценке уровня качества рассматриваемой продукции.

Для большинства видов промышленной продукции можно основываться на следующей общей номенклатуре основных видов показателей качества.

1. *Показатели назначения.* Характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена. Отражают свойства и уровень качества продукции с точки зрения ее основного назначения, а также полезный эффект от эксплуатации (потребления) продукции.

2. *Показатели безотказности.* Характеризуют свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного времени эксплуатации или некоторого периода времени (гарантийный срок носки обуви). Эти показатели относятся как к периодам эксплуатации, так и к периодам хранения и транспортирования.

3. *Показатели долговечности.* Характеризуют свойство изделий сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при соответствующем уходе за обувью и ремонте.

Под предельным понимают такое состояние обуви, при котором ее дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо при котором восстановление ее после отказа невозможно или нецелесообразно.

4. *Показатели ремонтпригодности.* Характеризуют приспособленность обуви к защите от повреждений, выявлению их причин и устранению последствий в ходе ремонта. На ремонтпригодность обуви влияют ее конструктивные особенности, а также удобство и сложность ремонта.

5. *Показатели сохраняемости.* Характеризуют свойство обуви непрерывно сохранять до использования (эксплуатации) заданные показатели качества в установленных пределах в течение некоторого промежутка времени при транспортировании и хранении.

Показатели 2–5 (безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости) часто объединяются в более общий показатель качества продукции – надежность. Надежность отражает свойства обуви сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в соответствующих условиях применения, требуемом уходе, ремонте, хранении и транспортировки.

6. *Показатели экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов.* Характеризуют техническое совершенство обуви по уровню потребления сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов.

7. *Эргономические показатели.* Характеризуют систему «человек – продукция – среда использования» и учитывают требования, предъяв-

ляемые к продукции для повышения эффективности взаимодействия человека с данной продукцией (в определенной среде). Эргономические требования определяются:

- антропометрическими характеристиками человека;
- характеристиками двигательной активности человека;
- возможностями и особенностями функционирования органов чувств человека;
- особенностями восприятия;
- необходимостью учета, например, возраста человека, взаимодействующего с продукцией.

8. *Эстетические показатели* отражают эстетические свойства изделия, то есть их чувственно воспринимаемые особенности, имеющие ценность для потребителя.

9. *Показатели технологичности*. Характеризуют эффективность конструкторско-технологических решений для обеспечения высокой производительности труда при изготовлении обуви.

10. *Показатели транспортабельности*. Характеризуют приспособленность обуви к транспортированию, то есть к перемещению в пространстве, не сопровождающемуся использованием продукции.

11. *Показатели стандартизации и унификации*. Характеризуют степень использования в изделии стандартных составных частей и уровень их унификации.

12. *Патентно-правовые показатели*. Характеризуют степень обновления технических решений, которые использованы в продукции, их патентную защиту в стране и за рубежом и возможность беспрепятственной реализации продукции (в стране и за рубежом).

Патентно-правовые показатели характеризуют продукцию в целом с точки зрения использования в ней новейших достижений науки и техники.

13. *Показатели безопасности*. Характеризуют степень безопасности для потребителя, окружающих, а также сопрягаемых объектов при использовании продукции.

14. *Показатели влияния на окружающую среду (экологические)*. Характеризуют уровень вредных воздействий (химических, механических, биологических и др.), возникающих при эксплуатации обуви.

15. *Показатели устойчивости к внешним воздействиям*. Характеризуют способность обуви сохранять свойства, входящие в состав ее качества, при воздействии сопрягаемых объектов и окружающей среды.

При формировании общей номенклатуры показателей качества обуви можно использовать рекомендации, представленные в таблице 1.1 (см. подгруппу В5).

Таблица 1.1 – Целесообразность применения показателей для различных групп промышленной продукции

Показатели качества промышленной продукции	Подгруппа продукции				
	B1	B2	B3	B4	B5
1 Назначения	+	+	+	+	+
2 Безотказности	-	-	-	+	+
3 Долговечности	-	-	-	+	+
4 Ремонтпригодности	-	-	-	-	+
5 Сохраняемости	+	+	+	+	+
6 Экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов	-	(+)	(+)	(+)	+
7 Эргономические	-	-	+	+	+
8 Эстетические	(+)	(+)	+	+	+
9 Технологичности	+	+	+	+	+
10 Транспортабельности	(+)	(+)	+	+	+
11 Стандартизации и унификации	-	-	(+)	+	+
12 Патентно-правовые	-	+	+	+	+
13 Безопасности	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
14 Влияния на окружающую среду	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
15 Устойчивости к внешним воздействиям	(+)	(+)	+	+	+

Примечание. Знак «+» означает применимость, «-» – неприменимость, «(+))» – ограниченную применимость соответствующих групп показателей качества продукции. Каждой группе продукции соответствует определенная совокупность видов показателей, обуславливающих уровень ее качества, и не совпадающая с совокупностью, присущей любой другой группе продукции.

Нетрудно заметить, что понятие «формоустойчивость обуви» органически вписывается в содержание таблицы 1.1 и в той или иной мере влияет на качество продукции в течение всего ее жизненного цикла. Оценке влияния различных факторов, влияющих на качество обуви и ее формоустойчивость, посвящена настоящая монография и более подробно они будут изложены ниже.

1.1 Роль формоустойчивости обуви в оценке ее качества

Для того, чтобы эффективно проводить исследование формоустойчивости и добиваться нужного результата кратчайшими путями, необходимо изучить факторы, влияющие на нее, и из всего их многообразия выбрать те, которые улучшают качество обуви в большей степени.

Рассмотрим обзор основных работ с целью выявления факторов, влияющих на формоустойчивость, определения их значимости, а также возможности классификации. Прежде всего, рассмотрим вопросы, связанные с исходными свойствами материалов, их структурой, технологи-

ей производства обуви и условиями носки.

Обувь состоит из ряда деталей, которые подразделяют на ответственные и менее ответственные. К ответственным деталям относится союзка, которая подвержена наибольшим воздействиям в процессе обтяжно-затяжных операций и при носке обуви. Состояние союзочной части обуви во многом определяет внешний вид изделия. Ухудшение вида обуви, связанного с потерей формы, выражается в растаптывании, сваливании и нависании верха над урезом подошвы и каблука, появлении складок на союзке и т. д.

Качество исходных материалов, как показали многочисленные исследования, в большой степени определяет формоустойчивость обуви. Несмотря на постоянное увеличение выпуска синтетических и искусственных кож, кожевенные материалы остаются основными для изготовления обуви. Кожы являются универсальным сырьем для производства обуви. Они обладают таким набором свойств, которые дают возможность осуществлять изготовление качественных изделий и характеризуются высокими эксплуатационными показателями.

Разработкой и совершенствованием технологии производства кожи, улучшением ее качества занимались многие ученые, но подавляющее количество исследований было проведено под руководством Михайлова А. Н., Чернова Н. В., Павлова С. А., Страхова И. П., Шестаковой И. С., Егоркина Н. И., Котова М. П., Кавказова Ю. Л., Кутянина Г. И. Это работы Михайлова А. Н. в области физико-химических процессов кожевенного производства и строения коллагена [1.1, 1.2]; работы Чернова Н. В., Егоркина Н. И., Кутянина Г. И., Страхова И. П. – о качестве кожи [1.4–1.8]; Страхова И. П. – в области хромового дубления, дубления полимерами и отделке кож [1.5, 1.6, 1.9]; Павлова С. А., Шестаковой И. С. – о белковых соединениях шкуры и о строении коллагена [1.10]; Кавказова Ю. Л., связанные с увлажнением и сушкой кожи [1.11] и др. Исследованию структуры и физико-механических свойств кожи посвящены работы Егоркина Н. И., Чернова Н. В., Михайлова А. Н., Зыбина Ю. П., Кутянина Г. И., Страхова И. П., Куприянова М. П., Булатова Г. П., Калиты А. Н., Кравченко А. Д., Зыбина А. Ю. [1.1–1.13] и др. Приведенные работы создают методологические предпосылки для оценки процессов, происходящих в структуре кожи при формовании.

Верх обуви представляет собой многослойную конструкцию, которая может быть собрана при помощи ниток, клеев, сварки и т. д. Эта система деформируется сначала в процессе производства, а затем при носке. Чтобы анализировать свойства системы, необходимо знать, какой из ее элементов доминирует, то есть какой из материалов (верх, межподкладка, подкладка) воспринимает большую нагрузку при формовании и носке.

Вопросом о распределении нагрузок между составляющими элементами систем занимались Любич М. Г., Зыбин Ю. П., Анохин Д. И.

[1.12, 1.14, 1.15] и др. Они установили, что при растяжении в процессе формования нагрузки распределяются в верхе и подкладке в соответствии с их упругими свойствами.

Анохиным Д. И. [1.14] были установлены зависимости распределения нагрузок при параллельном и последовательном соединении деталей. Эти зависимости позволяют применить расчетный метод убавки на деформацию при проектировании верха обуви по методу МТИЛП, разработанному Зыбиным Ю. П., Анохиным Д. И., Раяцкасом В. Л. [1.16]. Однако этот метод не позволяет учитывать формоустойчивость материалов, так как зависимость между пластичностью и величиной деформации кожи при формовании не оценивается и не проводятся соответствующие корректировки деталей верха.

Кроме исходных свойств материалов, конструкции заготовки, существенную роль в создании формоустойчивости обуви играют форма и размеры колодки, которые в значительной мере определяют величину и характер распределения деформации по площади заготовки (в основном в носочно-пучковой части) [1.12, 1.14–1.19].

Большую роль в увеличении формоустойчивости оказывают процессы увлажнения, формования и сушки. Увлажнение заготовок перед формованием позволяет снизить напряжение в верхе при затяжке. Из работ Кавказова Ю. Л., Файбишенко М. А., Шестаковой Н. А. [1.11, 1.12, 1.20, 1.21] известно, что увеличение влажности кожи вызывает значительное снижение напряжений в материале и повышает остаточную деформацию. Рациональной величиной влажности кожи перед обтяжно-затяжными операциями считается 25–30 %. Дальнейшее увеличение влажности приводит к незначительному росту пластичности кожи.

При затяжке величина и характер деформации заготовки при данной её конструкции зависят, прежде всего, от способа формования [1.12, 1.14, 1.19, 1.22–1.26]. При обтяжно-затяжном способе формования с применением обтяжных машин типа ОМ средняя продольная и поперечная деформация находится в пределах 5–9 %. Пяточная часть заготовки растягивается вдоль следа колодки на 3–6 %, союзка на 5–12 %, носок на 10–30 % [1.12, 1.22].

В настоящее время широкое применение нашли машины с одновременной обтяжкой и клеевой затяжкой носочно-пучковой части заготовки. На этом оборудовании общая продольная деформация заготовки меньше на 19–32 %, чем на машинах типа ОМ. Характер распределения деформаций также неравномерный и зависит от типа оборудования [1.12, 1.24].

Акулова Т. Е., Буканков Е. И., Коптюбенко З. А. [1.24] исследовали характер распределения и величину деформации заготовок обуви при формовании на импортных потоках («Анвер»). В результате предварительного формования пяточной части на машине «Ловель» заготовка

деформируется, главным образом, в продольном направлении, максимальная деформация достигает 9,5–10 %, в поперечном направлении – 2,5–3 %. При формовании на машине 63Д фирмы «Шён» деформация носочно-пучковой части заготовки достигает 10,5 %. Максимальная деформация в пучковой части составляет до 10 %. В зоне центра союзки и ближе к носку направление наибольшей деформации почти совпадает с поперечным. Поперечная деформация в этой части тоже больше продольной. Деформация носочной части приближается к симметричному двухосному растяжению. Машина МФ 1000 при затяжке геленочной части вызывает поперечную деформацию 2,7 %. Этот участок менее вытянут по сравнению с другими участками заготовки.

Исследованием деформации материалов верха и заготовок в процессе формования занимался ряд ученых: Зыбин Ю. П., Скатерной В. А., Куприянов М. П., Анохин Д. И., Майорова Н. З., Жаров А. Н., Акулова Т. Е., Данилов Е. Н. [1.12, 1.14, 1.17, 1.22–1.25, 1.27, 1.28] и др. Эти исследователи определяли деформации заготовок при формовании, изучали процессы формования на колодках или их элементах.

Определением напряжений в заготовке занимались Раевский А. Л., Любич М. Г., Ключев В. М., Егоркин Н. И., Черников Н. И. и др. Напряжения в заготовке определялись не путем непосредственного измерения, а путем сопоставления удлинения на деталях верха обуви с удлинением на контрольных образцах кожи. Естественно, что такие исследования не обладали достаточной точностью. Испытания, проведенные Гальпериним Ф. И., показали, что малое напряжение материалов на колодке не обеспечивает формоустойчивость обуви в процессе ее эксплуатации. Он установил, что для обеспечения формоустойчивости обуви с верхом из натуральной кожи, материал следует растянуть не менее чем на 7–10 %. Однако до сих пор остается открытым вопрос, связанный с оптимальными величинами деформаций кож при формовании, обеспечивающими достаточную формоустойчивость обуви.

Наиболее насущной задачей является исследование фиксации формы и релаксационных процессов, проходящих при этом, так как разнообразие видов натуральных кож, искусственных и синтетических материалов, применяемых для верха обуви, требует тщательного исследования условий их применения.

Фиксация формы заготовок заключается в устранении напряжений, возникающих в заготовках в результате обтяжно-затяжных операций. Устранение напряжений в материалах является условием сохранения заготовками формы колодки. В противном случае процесс релаксации напряжений будет протекать дальше в готовой обуви. В этом направлении проводится много работ учеными различных школ и направлений [1.11, 1.12, 1.29–1.40]. Устранять напряжение в материале можно путем приложения физических или механических воздействий. Эти воздействия могут протекать до деформирования и во время выдержки в

деформированном состоянии. Исследованиям релаксационных процессов в коже посвящен ряд работ Ратаутаса А. С. [1.31] и Кравченко А. Д. [1.30]. В работе [1.31] очень подробно исследован процесс релаксации напряжений в коже при гигротермической обработке, показана возможность интенсификации процесса влажно-тепловой обработки. Исследования Кравченко А. Д. посвящены двухосным деформациям кожи.

Наибольшее внимание ученых приковано к разработке режимов фиксации формы верха обуви. Сложные физические процессы, происходящие в коже при увлажнении, формовании и сушке, недостаточно изучены, хотя известно, что режимы их протекания оказывают большое влияние на изменение структуры материала [1.2, 1.4, 1.8, 1.11, 1.12, 1.41–1.43].

На изменение физико-механических свойств кожи при увлажнении существенное влияние оказывает влага гидратации и микрокапилляров. Первая из них повышает объем кожи за счет увеличения расстояния между основными полипептидными связями, а вторая – вследствие расклинивающего действия слоев воды. Наличие этих двух видов влаги в коже способствует протеканию процесса формования. При обтяжке и затяжке наличие влаги облегчает перемещение структурных элементов кожи за счет уменьшения сил взаимодействия между ними и затем при сушке способствует их фиксации.

Под действием внешних сил происходит перестройка структурных элементов кожи, которые ориентируются в направлении приложенной силы, при этом извитость пучков волокон уменьшается. После снятия нагрузки возникшие внутренние напряжения стремятся вернуть структурные элементы в первоначальное положение. Согласно работе Чернова Н. В. [1.4] после устранения нагрузки большая часть пучков волокон не возвращается в первоначальное положение, то есть происходит необратимое перемещение пучков, вызывающее остаточную деформацию кожи. Необратимая ориентация на уровне микроструктуры кожи (пучки, волокна, фибриллы) также приводит к увеличению остаточной деформации. При значительном растяжении кожи происходит перемещение пучков волокон вдоль растягивающей силы, структура разрыхляется и происходит разрушение кожи. Упругая деформация кожи обусловлена разгибанием и растяжением пучков волокон и более мелких структурных элементов кожи. Упругое последствие объясняется наличием сил трения между структурными элементами кожи и является ее ценным свойством, которое позволяет изделию частично восстанавливать форму в процессе между циклами носки.

При основной сушке обуви происходит удаление влаги, растворителей из заготовки, а также уменьшение напряжений в материалах верха. Воздействие температуры приводит к усилению теплового движения молекул коллагена, волокон и других структурных элементов, что приводит к уменьшению напряжений. С удалением влаги происходит уве-

личение внутренних напряжений, и поведение кожи будет обуславливаться наложением указанных процессов друг на друга [1.11, 1.12]. Все это определяет характер фиксации формы, приданной изделию в процессе производства.

Для исследования изменений, происходящих в структуре кожи, применялись различные методы: микроскопический (включая электронную микроскопию) и рентгеноструктурный анализы, акустический, ртутной порометрии, хроматографии.

Считается, что микроструктуру пористых тел (к которым относится натуральная кожа) можно охарактеризовать удельной поверхностью, величиной и объемом пор [1.2, 1.8, 1.10, 1.11, 1.44]. Установлено, что к одним из самых производительных методов можно отнести последние два [1.2, 1.44]. Метод ртутной порометрии основан на капиллярных свойствах несмачивающихся жидкостей с углом смачивания больше 90° . Вследствие поверхностного натяжения эти жидкости могут проникать в мелкие поры только под действием внешнего давления. Объем ртути, проникающей в поры под различным давлением, можно измерить с точностью $\pm 2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$. Навеска образца в этом случае – 0,5–5 г [1.44]. Этот метод достаточно часто применялся для определения пористости кожи [1.2, 1.45, 1.46]. Метод обладает достаточной быстротой анализа, точностью и широким диапазоном определяемых параметров.

Методом газовой хроматографии можно вычислить удельные поверхности пор. Этот метод основан на экспериментальном определении изотерм адсорбции газов. Обычно для этих целей применяют азот, иногда аргон, криптон, углеводороды. Метод разработан Брунауэром, Эметтом, Теллером и именуется «методом БЭТ». Возможность исследования структуры кожи с помощью метода газовой хроматографии была показана в работах Чесунова В. М. и др. [1.47, 1.48]. Этот метод прост, доступен и отличается быстротой анализа. Для него можно использовать промышленные установки, выпускаемые серийно. Суть метода заключается в мономолекулярной адсорбции паров адсорбата в порах исследуемого материала с последующим вытеснением их инертным газом-носителем [1.49, 1.50].

В процессе производства обувь находится на колодке довольно продолжительный период времени. Безусловно, увеличение времени сборки обуви способствует повышению формоустойчивости. Например, на фабриках индивидуального пошива, как правило, не применяют тепловую фиксацию верха, а оставляют обувь длительное время (до нескольких суток) на колодке, добиваясь достаточно хорошей ее формоустойчивости. Широко применявшийся в недавнем времени конвективный метод сушки также обеспечивал хорошую формоустойчивость обуви, но это достигалось за счет большой длительности процесса и выдержки изделия на колодке. При современных интенсифицированных методах изготовления обуви сокращение производственного цикла

должно происходить без ухудшения качества изделия. Возместить этот недостаток выдержки на колодке можно разработкой рациональных режимов формования верха обуви.

Известно, что кожа существенно изменяет свои размеры в зависимости от влажности [1.2–1.7, 1.11, 1.12, 1.15], поэтому на форму и размеры обуви при ее производстве существенное влияние оказывают гигротермические параметры воздуха в цехе [1.51]. Исследованием влияния условий хранения обуви на ее формоустойчивость занимались Любич М. Г., Кавказов Ю. Л. и др. [1.15, 1.52], которыми было определено максимальное увеличение ширины союзки на 1,3–2,4 % при 100 % влажности воздуха в течение 30 суток. Такое увеличение размеров обуви практически неощутимо при носке. Таким образом, выше были перечислены основные факторы, влияющие на формоустойчивость обуви при ее производстве.

При носке обувь изменяет свои размеры и форму от воздействий стопы и окружающей среды. Рассмотрим механизм воздействия стопы. Стопа – это своего рода механизм, который, действуя на обувь, вызывает в ней деформации. Считается, что основными причинами деформации верха обуви в процессе носки является: соотношение формы и размеров стопы и обуви, изменение размеров и формы стопы в процессе ходьбы.

При ходьбе стопа значительно изменяет свои размеры. В пяточной части подвержена сжатию только плантарная часть. Плюсневая часть стопы более сжимаема, благодаря некоторой подвижности плюсневых костей, наличию мышц и связок. Значительную подвижность имеет стопа в плюсно-фаланговом сочленении, где происходит основной изгиб при движении.

Исследование картограмм давления стопы на опору показывает, что общим является сосредоточение наибольшего давления под костными выступами: оно максимально в центре пятки при стоянии на плоской опоре. Пальцы служат опорой лишь при движении. При подъеме пятки наблюдается перераспределение давления в передний отдел стопы. Исследования показали значительное колебание величины давления по опорной поверхности стопы [1.15, 1.16, 1.53–1.55]. Вес человека, а также грузы оказывают большое влияние на изменение размеров стопы.

Максимальное приращение длины стопы при стоянии – 14 мм, среднее – 3 мм; по ширине максимальное – 7 мм, среднее – 3–5 мм. Наибольшее изменение по объёму в пучках – 30 мм, среднее – 7–12 мм [1.15, 1.16]. Работы, проведенные Кушнир Н. К., показывают, что по мере приближения к переднему краю податливость стопы увеличивается [1.54].

По данным Макухи В. И. [1.56] при ходьбе периметр объёма в пучках увеличивается на 10–11 мм или на 4,0–4,7 % к длине периметра в висячем положении. Наименьшее значение объёма стопы в плюсно-

фаланговом сочленении имеет в момент переноса, наибольшее – в момент отрыва пятки от опорной поверхности, так как в этот момент вся нагрузка сосредотачивается на переднем отделе стопы. Далее следует быстрое уменьшение величины обхвата в плюсно-фаланговом сочленении, который в момент отрыва стопы от опорной поверхности достигает минимального значения.

В работе Вылежнина И. М. также установлено, что наибольшие изменения происходят в области пучков стопы, особенно во время перехода через внутренний пучок в момент отрыва пятки от опоры. Изменение размеров сечения происходит от наименьшего значения при опоре на пятку, достигая максимума в некоторый период после отрыва пятки. Минимальный периметр сечения – в висячем положении. В момент окончания заднего толчка периметр сечения имеет среднее значение между максимумом и минимумом. Среднее колебание периметра – 10 мм (5,6 %), наибольшее отклонение – до 13–14 мм (7–8 %).

Ссылаясь на работу Хохлова Б. П. и Златорунского А. А., Любич М. Г. пишет, что изменение периметра стопы в плюсно-фаланговом сочленении находится в пределах 6–8 % [1.15]. Воздействуя на обувь, стопа деформирует ее, значительно изменяя форму, приданную изделию в процессе производства. Наибольшим деформациям подвержена союзка в области пучков. Вопросами формоустойчивости обуви занимался ряд ученых [1.15, 1.57, 1.58]. Было установлено, что интенсивное увеличение размера в пучковой части верха обуви происходит в течение 2–3 недель носки, то есть задолго до разрушения обуви [1.16, 1.57, 1.58].

В работах Акуловой Т. Е. и Зыбина Ю. П. показано, что в зависимости от растяжения тканей величина растяжения обуви в области пучков колеблется от 2,9 % до 10,9 %. Обувь, изготовленная из кож с низким удлинением (12–22 %), лучше сохраняет форму. Для обеспечения формоустойчивости предлагается применять для верха обуви материалы с меньшей растяжимостью или малотягучие подкладки и межподкладки.

Формоустойчивость обуви является одним из основных требований к качеству. Многократный изгиб обуви приводит к потере ею формы и разрушению. По данным Черникова Н. Н. сквозной прорыв союзки из хромового опойка появляется после 12 месяцев носки, что соответствует 3–4 млн циклов изгиба. По мнению Зыбина Ю. П. материал верха обуви должен выдерживать не менее 1,5 млн циклов. По мнению Зайончковского А. Д. – не менее 3 млн [1.59]. Английские исследователи останавливаются на цифре 2 млн циклов [1.60]. Видимо, следует остановиться на цифре в 1,5–2 млн циклов как минимальном пределе.

В работах Калиты А. Н. и Зыбина Ю. П. [1.61] показано, что разрушение материала верха начинается одновременно вдоль всей линии изгиба, или на небольшом участке в глубине складки, реже – на концах складки, где она имеет незначительный пробег. Разрушение материала

происходит в результате многократного одностороннего изгиба с одним минимальным радиусом кривизны. Несмотря на сложную пространственную форму верха обуви, характер изгиба материала близок к неосложненным другим деформациям. Также было установлено, что материал верха разрушается тем быстрее, чем меньше радиус кривизны и больше амплитуда колебания материала при изгибе. Складки, образовавшиеся при изгибе, остаются по количеству без изменения при дальнейшем повторении изгибов. Предлагалось оценивать внешний вид обуви суммарной высотой складок в пучковой части союзки (ΣH). Обувь с ΣH более 20 мм имеет неудовлетворительный внешний вид.

Вопросам сохранения формы обуви в носке, исследованию ее гибкости в статике и при движении человека посвящены работы Максимовой Т. С., Цветкова В. Н., Хоменковой Н. Г., Акуловой Т. Е., Зыбина Ю. П., Островитянова Э. М., Калиты А. Н. и др.

Калита А. Н., Кочеткова Т. С., Зыбин Ю. П. [1.62] установили область наибольших изменений размеров стопы в плюсно-фаланговом сочленении, находящихся в пределах 0,62–0,78 длины стопы. А так как деформация обуви следует за деформацией стопы, то, следовательно, в этой же области будут происходить наибольшие деформации верха и низа обуви.

Изготовление удобной, нежесткой обуви, легко поддающейся всем изменениям стопы при движении человека, и в то же время формоустойчивой, требует знания отдельных факторов, влияющих на гибкость обуви.

Большое количество исследований в области изучения и оценки гибкости обуви проведено Цветковым В. Н. Он установил, что на верх обуви при ходьбе и беге действуют активные силы давления тыльной стороны стопы, а на низ – реактивные силы опорного давления стопы. Величина, направление и место приложенных силовых факторов, действующих на стопу, резко меняются в процессе ходьбы и бега.

Цветков В. Н. впервые выделил три основных вида сопротивления обуви деформациям: изгибная, распорная и опорная жесткости. Цветков В. Н. отмечает, что изгибная жесткость низа обуви играет весьма важную роль в правильной оценке конструкции в целом. Она предопределяет в значительной мере нагрузки на стопу человека при ходьбе и беге. Максимальная кривизна нейтральной поверхности низа обуви при ходьбе и беге имеет почти постоянную величину, мало зависящую от конструкции низа обуви. Это является результатом того, что деформация низа обуви следует за деформацией стопы. Поэтому увеличение жесткости низа увеличивает поперечные нагрузки. Одновременно с этим возрастает нагрузка на соединение низа обуви с верхом и в итоге – на верх обуви. С другой стороны, жесткость низа обуви связана с устойчивостью ее формы в процессе носки. Увеличение жесткости повышает способность обуви сохранять свою форму. Подбором упругопластиче-

ских свойств материалов можно значительно снизить изменяемость формы обуви при носке без большого увеличения мгновенной жесткости конструкции низа.

Определенная гибкость низа обуви является одной из основных характеристик рациональной обуви. Цветков В. Н. считал, что обувь с недостаточно эластичным низом, затрудняющим получение изгибающих деформаций, мало удобна в носке. Чем больше усилий требуется стопе для того, чтобы вызвать необходимые изгибы низа обуви, тем скорее утомляется стопа, тем менее рациональна такая обувь.

Цветков В. Н. отмечает, что конструкция низа влияет на жесткость обуви в двух направлениях. Во-первых, она связана с результирующей толщиной низа, то есть в итоге – с моментами инерции его поперечных сечений; во-вторых, характер крепления элементов низа предопределяет возможность их смещения относительно друг друга, что резко влияет на сопротивление конструкции низа деформациям при изгибе под действием поперечных нагрузок [1.63].

Следует отметить тот факт, что формоустойчивость обуви зависит в определенной мере от износостойкости материалов низа. Исследованием физико-механических свойств кож для низа обуви и их способностью работать в обуви при носке занимались Чернов Н. В., Кутянин Г. И., Платунов К. М., Цветков В. Н., Нестеров В. П. [1.4, 1.7, 1.8, 1.63, 1.64] и др. Ими были предложены методы испытаний, а также показана связь между деформационными и эксплуатационными свойствами кож.

Рассмотрим физико-химические воздействия стопы на верх обуви. Существует достаточно исследований, показывающих действия пота и тепла стопы на материалы заготовки. В исследованиях Калиты А. Н., Зыбина Ю. П. [1.65] показано, что в 2–3 раза снижается устойчивость кожи к многократному изгибу под действием пота. По данным американских исследователей [1.66] температура внутри обуви в процессе интенсивной ходьбы колеблется в пределах 40–48 °С. За восьмимесячный период носки, обувь подвергается действию 58 литров пота. Около 60 % этого количества впитывается обувью, остальное испаряется в процессе носки. Эта цифра возрастает во время теплой и влажной погоды в условиях особой активности в поведении человека, при сильном потении ног. Обобщая работы ряда исследователей, Любич М. Г. приводит цифры 1–12 г/ч выделений пота стопой [1.15]. Пот оказывает вредное влияние на обувь, так как в его состав входят такие элементы, как мочевины, ацетиновая, никотиновая, масляная и жировые кислоты, аммоний и некоторые соли. В результате этих воздействий изменяются прочностные характеристики верха обуви [1.65, 1.67]. Особенно интенсивно происходит потеря формы верха обуви при комплексном воздействии пота и уробактерий, вызывающих раздубливание кожи [1.65].

Существенное влияние на формоустойчивость обуви оказывают действие воздуха, дождя и солнечной радиации [1.15]. Следует отметить

также действие различных химически активных веществ в окружающей среде (соль на тротуарах, отходы нефтепродуктов на дорогах и др.).

Помимо указанных выше факторов, определенное влияние оказывают механические воздействия (абразивный износ и др.). Таким образом, потеря формы обуви в носке происходит при комплексном воздействии стопы и окружающей среды. Выше были перечислены основные факторы, влияющие на формоустойчивость обуви при ее носке.

В более поздних исследованиях, проводимых Михеевой Е. Я., Беляевым Л. С., Смелковым В. К., Зурабяном К. М., Красновым Б. Я., Фоминой Т. Т. и др., изучались указанные выше факторы, влияющие на процесс формования и формоустойчивость обуви [1.68–1.80].

Однако краткий анализ литературных источников по изучаемой проблеме показал, что несмотря на имеющиеся разработки по ее отдельным направлениям, эти вопросы еще недостаточно освещены и требуют специального изучения.

Так, до сих пор детально не исследованы многие из факторов, влияющих на формоустойчивость обуви, не приведена их систематизация и классификация. Не приводится комплексное изучение влияния факторов на формоустойчивость обуви при ее производстве и носке. Остается открытым вопрос, связанный с установлением оптимальных величин деформации материалов при формовании. Кроме того, недостаточно раскрыт механизм изменений, происходящих в структуре материалов при их формовании [1.81]. Следует также отметить, что еще недостаточно глубоко исследованы вопросы по изучению совместного влияния режимов формования на формоустойчивость обуви при ее производстве и носке. В связи с этим в настоящем разделе работы проведено исследование возможности классификации всего многообразия факторов, влияющих на формоустойчивость обуви.

1.2 Определение значимости факторов, влияющих на формоустойчивость обуви

Проведенный анализ работ показал многообразие факторов, влияющих на формоустойчивость обуви, сложность их определения и противоречивость. С одной стороны, обувь должна сохранять свою форму и размеры после снятия с колодки, с другой стороны, она должна хорошо приформовываться к стопе (изменять свою форму и размеры в зависимости от особенностей биомеханики и физиологии стопы человека) и затем длительное время сохранять вновь приобретенную форму.

Следует отметить и то, что некоторые из факторов, влияющих на формоустойчивость обуви, очень плохо изучены (представлены незначительным количеством публикаций), поэтому оценить их значимость и

классифицировать по литературным источникам – практически невыполнимая задача.

Незначительное количество исследований, разрозненность их задач, невозможность сопоставления результатов экспериментов из-за разных методик не дают возможности иметь полное представление о значимости и взаимосвязи факторов по степени их влияния на формоустойчивость обуви. Как уже отмечалось выше, формоустойчивость обуви относится к одному объекту в процессе всего его жизненного цикла, а в связи с этим является правомерным изучение факторов, влияющих на это свойство в процессе производства, хранения и эксплуатации изделий.

Для изучения вопросов на основании литературных источников и опроса специалистов был составлен перечень факторов, влияющих на формоустойчивость обуви. Были выделены следующие факторы: 1 – физико-механические свойства материалов верха и низа, 2 – конструкция заготовки обуви, 3 – увлажнение заготовки, 4 – величина и характер распределения деформаций по площади заготовки при затяжке, 5 – фиксация формы, 6 – продолжительность нахождения обуви на колодке, 7 – гигротермические параметры воздуха в цехе, 8 – условия транспортирования и хранения обуви, 9 – соответствие формы и размеров стопы и обуви, 10 – механические воздействия стопы, 11 – физические воздействия стопы (влага, тепло), 12 – химические воздействия стопы (пот), 13 – воздействия уробактерий, 14 – механические воздействия окружающей среды, 15 – физические воздействия окружающей среды (влага, тепло), 16 – химические воздействия окружающей среды, 17 – уход за обувью, 18 – геометрические параметры колодки.

Для выяснения значимости факторов был использован опыт, накопленный специалистами, работающими в промышленности, научно-исследовательских организациях и высших учебных заведениях. С этой целью на 15 фабриках, в ЦНИИКПе, НИТХИБе и ряде вузов было распространено более 200 анкет, включающих все перечисленные выше факторы. Порядок расположения факторов был различным, что исключает его влияние на окончательный результат.

Полученные данные сводили в таблицу нормальных рангов, затем все расчеты производили на ЭВМ по методике, изложенной в работе [1.82]. В результате ранжирования факторов, указанных в анкете 1, получена средняя априорная диаграмма рангов. На рисунке 1.2 факторы расположены в порядке их значимости, причем фактор, имеющий наименьший средний ранг, является более важным. По диаграмме видно, что наиболее значимыми являются 1, 5, 4, 3, 6 факторы.

Из распределения факторов видно, что производственные факторы оказывают основное влияние на получение формоустойчивой обуви. Из факторов эксплуатационного характера следует выделить 9 и 10, имеющих наибольшее влияние. Ввиду известного подхода к изучению

данного вопроса дальнейшие ссылки на авторов не производятся и методика проведения опроса не приводится.

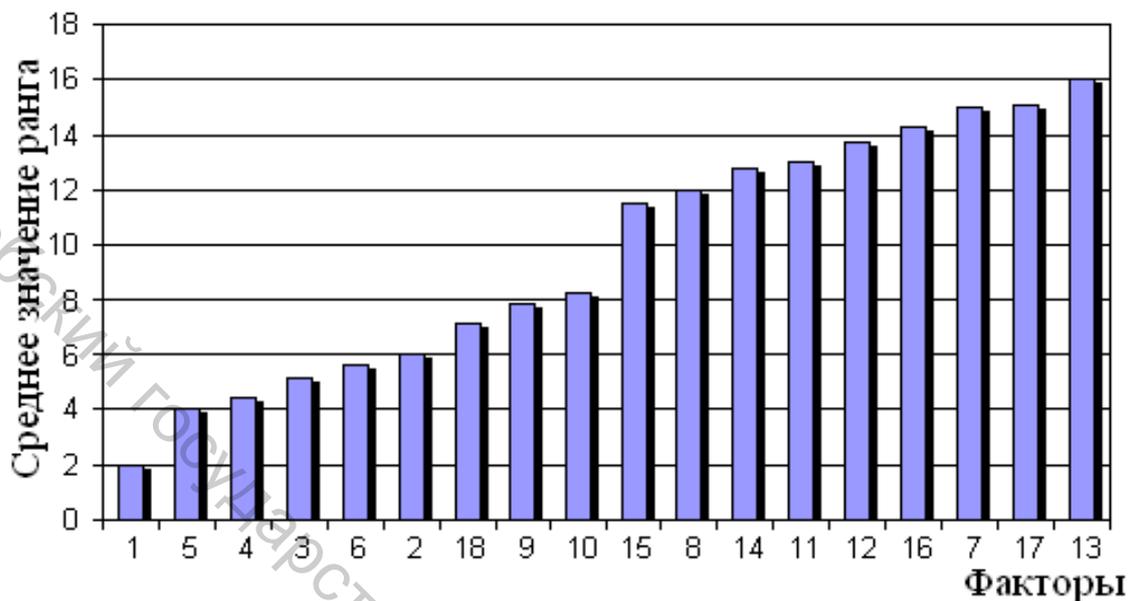


Рисунок 1.2 – Диаграмма распределения факторов по их значимости

Для оценки степени согласия специалистов был найден коэффициент конкордации $W = 0,685$. Для оценки значимости коэффициента конкордации использовали χ^2 – распределение с числом степеней свободы $\alpha - 1$. В нашем случае $\chi^2 = 873,69$, в то время как для наиболее низкого однопроцентного уровня теоретическое значение $\chi^2 = 33,41$. Это свидетельствует о том, что коэффициент конкордации является значимым, и данное ранжирование следует считать достоверным [1.82–1.84].

Нахождение коэффициентов парной корреляции между окончательным ранжированием и ранжированием отдельных специалистов (m_i) осуществляли по Спирмену. На рисунке 1.3 приведено распределение коэффициентов ранговой корреляции – ρ . График показывает, как ранжирование отдельных специалистов согласуется с полученными результатами.

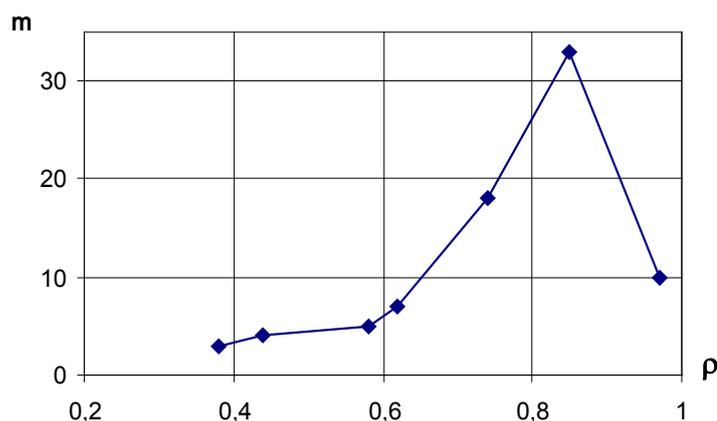


Рисунок 1.3 – Распределение коэффициентов ранговой корреляции

Результаты данного исследования показали, что основными факторами в создании формоустойчивой обуви являются хорошие физико-механические свойства исходных материалов и качественное выполнение процессов формования верха обуви. При носке на изменение формы обуви влияют ее впорность и механические воздействия стопы [1.85, 1.86].

В целом анкета дала достоверные результаты, но со стороны некоторых специалистов были сделаны замечания и дополнения, которые можно свести к следующему: анкету необходимо упростить и конкретизировать по методу крепления и виду обуви.

С учетом пожеланий специалистов были составлены еще две анкеты: производственная (анкета 2) и эксплуатационная (анкета 3). В качестве исходной конструкции обуви был взят наиболее распространенный ее вид – полуботинки (повседневные) клеевого метода крепления с верхом из натуральной кожи.

В связи с тем, что согласованность мнений специалистов была достаточно велика, анкеты распространили только на Московских обувных фабриках, а также в МТИЛПе, ЦНИИКПе и НИТХИБе (названия организаций, которые существовали в 1970–1990 гг.).

Таким образом, получилась новая постановка задачи, решение которой заключалось в нахождении значимости факторов, влияющих на формоустойчивость конкретного вида обуви. Для упрощения дальнейшего анализа результатов исследования использовалась старая нумерация факторов, оставленных без изменения в анкетах 2, 3.

На рисунке 1.4 а дана средняя априорная диаграмма рангов, полученная в результате обработки экспериментальных данных производственной анкеты, где 19 – основные процессы обтяжно-затяжного участка (увлажнение, формование, фиксация формы), 6 – продолжительность нахождения обуви на колодке (не включая время фиксации формы), 20 – процессы производства обуви кроме увлажнения, формования и суш-

ки, а также факторы 2, 7, 18, оставшиеся без изменений. Из рисунка 1.4 а видно, что доминирующим фактором является 19, примерно одинаковыми оказались 2 и 6, 7 и 8 факторы.

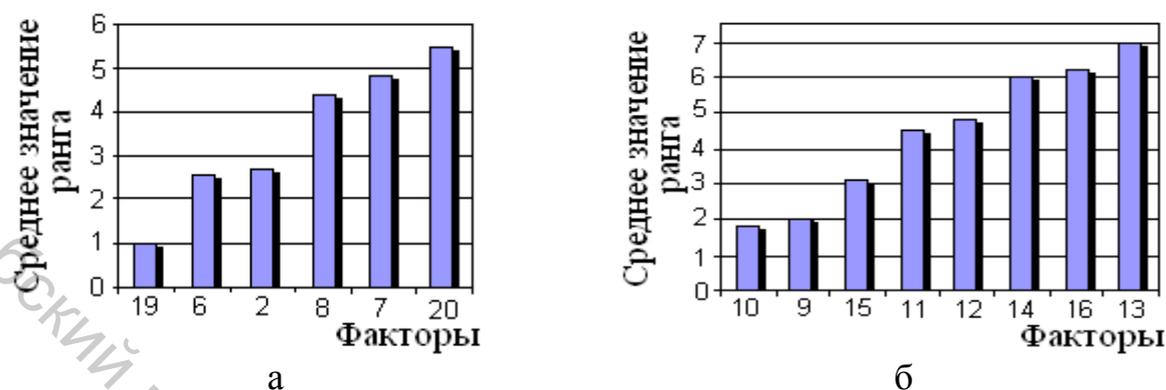


Рисунок 1.4 – Диаграмма распределения факторов по их значимости:
а – производственные; б – эксплуатационные

Таким образом, определяющим фактором в формоустойчивости обуви является качественное выполнение формования верха. Интенсификация производственных процессов приводит к уменьшению времени нахождения обуви на колодке, поэтому резервы в увеличении формоустойчивости обуви следует искать в оптимизации режимов формования верха и создании рациональной конструкции заготовки. Коэффициент конкордации для данного ранжирования $W = 0,764$. Расчетное значение $\chi^2 = 180,0$, теоретическое $\chi^2 = 15,09$; значит, ранжирование можно считать достоверным.

Эксплуатационная анкета 3 включала 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 факторы, влияющие на формоустойчивость обуви при носке. На рисунке 1.4 б дана средняя априорная диаграмма рангов, полученная в результате обработки экспериментальных данных анкеты 3.

Результаты опроса показывают, что наиболее значимыми факторами являются 10, 9, 15, а также 11, 12. Остальные факторы менее значимы. Необходимо отметить, что в анкете 1 расположение факторов 9 и 10 было противоположным, хотя они так же, как и в анкете 3, находились рядом. Следует отметить несколько больший вес фактора 14 в анкете 1 по сравнению с анкетой 3. Эти несоответствия объяснимы: в анкете 1 речь шла об обуви вообще, а не об определенном ее виде. Поэтому сюда вошла и производственная, тяжелая обувь, для которой требование к сопротивлению механическим воздействиям окружающей среды, безусловно, выше, чем в бытовой. Подобным образом можно объяснить и ряд других несоответствий. Коэффициент конкордации для ранжирования $W = 0,639$. Расчетное значение $\chi^2 = 149,0$, теоретическое $\chi^2 = 18,48$, таким образом, ранжирование достоверно.

В целом анкеты 2 и 3 полностью подтверждают основные выводы, полученные по анкете 1.

В результате проведенной работы можно выделить основные факторы, влияющие на формоустойчивость обуви по их значимости. Наиболее важными из них являются физико-механические свойства материалов и качественное выполнение процессов формования верха обуви, а из эксплуатационных факторов – механические воздействия стопы и соответствие ее формы и размеров форме и размерам обуви.

Для обеспечения высокой формоустойчивости обуви в условиях современного интенсифицированного производства необходимо совершенствовать процессы формования прежде всего в плане разработки рациональных режимов их проведения.

С момента проведения исследований, описанных выше, прошло 40 лет, и в производстве обуви, применяемых материалах, а также в науке и технике обувного производства произошли существенные изменения, однако формоустойчивость изделий остается актуальной и сегодня. Об этом свидетельствуют данные, полученные нами в результате опроса покупателей, анализа обуви, возвращенной на предприятия в период ее гарантийного срока носки, и оценка формоустойчивости обуви, поступившей в ремонтные мастерские.

С целью изучения данного вопроса был составлен перечень факторов, влияющих на формоустойчивость обуви в процессе производства и хранения до момента ее реализации (статическая формоустойчивость) и в период ее носки и хранения в межсезонные периоды (динамическая формоустойчивость). В анкетировании принимали участие сотрудники УО «ВГТУ», инженерно-технические работники обувных предприятий, ремонтных мастерских и представители торговых организаций Республики Беларусь. С учетом пожеланий специалистов были составлены 2 анкеты: производственная (анкета А) и эксплуатационная (анкета Б). Объектами настоящего исследования были образцы мужской и женской обуви производства предприятий Республики Беларусь, предназначенные для повседневной носки. Следует отметить, что этот выбор был не случаен, так как объем выпуска такой обуви превалирует в нашей стране, а также она является основной в ремонте. Интересно также обратить внимание на тот факт, что в ремонт попадает женская обувь в 3–4 раза чаще, чем мужская. Даже если исключить наиболее часто встречаемый вид ремонта – замену набойки в женской обуви, количество ее будет существенно преобладать над мужской. Видимо, женщины более требовательны к внешнему виду своей обуви. Это очень интересно, но требует более глубокого анализа, что не являлось целью настоящей работы.

На рисунке 1.5 приведена средняя априорная анаграмма рангов, полученная в результате обработки экспериментальных данных анкеты А, включающей более детальную их интерпретацию. Были выделены следующие факторы: 1 – физико-механические свойства материала вер-

ха обуви, 2 – конструкция заготовки верха обуви, 3 – увлажнение заготовки, 4 – предварительное формование заготовки, 5 – величина и характер распределения деформаций по площади заготовки при формовании и затяжке, 6 – фиксация формы верха, 7 – продолжительность нахождения обуви на колодке, 8 – процессы производства обуви (кроме п.п. 3–6 анкеты А), 9 – гигротермические параметры воздуха в цехе, 10 – условия транспортирования и хранения обуви.



Рисунок 1.5 – Диаграмма распределения производственных факторов по их значимости

Таким образом, в формоустойчивости обуви основными являются свойства материалов и качественное выполнение процессов формования и фиксации верха. Существенна роль предварительного формования верха обуви, так как оно позволяет придать пространственную форму заготовке и обеспечить более равномерное распределение деформаций по ее площади при последующем формовании и затяжке. Особенно это актуально при внутреннем способе формования. Роль увлажнения в формоустойчивости обуви существенно снизилась, и это связано с появлением новых материалов для верха (эластичных натуральных кож, текстильных материалов, искусственных кож), для которых наличие влаги в макро- и микроструктуре оказывает незначительное влияние на формовочные свойства и формоустойчивость. Следует также отметить, что остальные процессы производства обуви оказывают незначительное влияние на формоустойчивость обуви, а условия производства, хранение и транспортирование регламентированы рядом документов, нарушать условия которых нельзя или нежелательно. В связи с изложенным выше, значения факторов 7, 9 и 10 оказались низкими. Коэффициент конкордации для данного ранжирования $W = 0,716$. Расчетное значение $\chi^2 = 169,0$, теоретическое $\chi^2 = 32,14$; значит, ранжирование можно считать достоверным.

Перечень факторов, влияющих на формоустойчивость обуви в

процессе ее носки, также претерпел существенные изменения (анкета Б, рисунок 1.6). Он включал следующие факторы: 11 – свойства материалов для обуви, 12 – соответствие формы и размеров стопы и обуви (впорность), 13 – механические воздействия стопы, 14 – физические воздействия стопы, 15 – химические и биологические воздействия стопы, 16 – механические воздействия окружающей среды, 17 – физические воздействия окружающей среды, 18 – химические воздействия окружающей среды, 19 – биологические воздействия микроорганизмов (биологическая коррозия), 20 – условия хранения и уход за обувью.

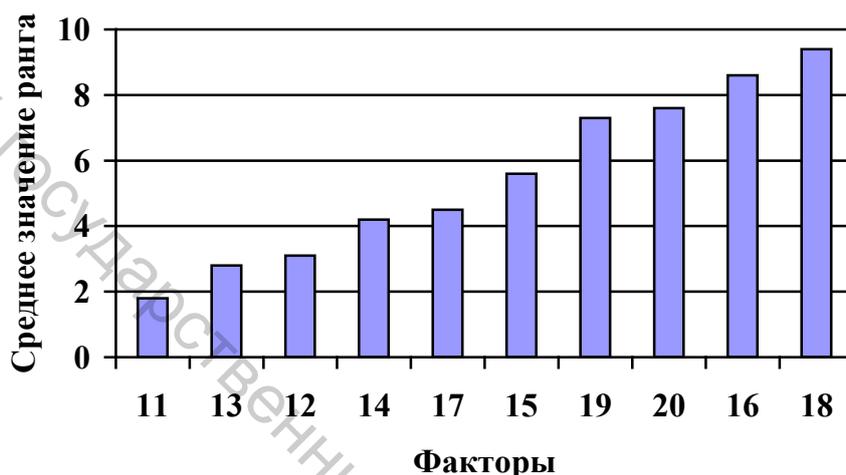


Рисунок 1.6 – Диаграмма распределения эксплуатационных факторов по их значимости

Как и следовало ожидать, качество материалов является определяющим в формоустойчивости обуви, а также соответствие стопы ее внутренним размерам, от которого во многом зависит работа системы «стопа – обувь». Очевидными являются также физические воздействия как стопы, так и окружающей среды. Появившиеся в печати и в других средствах массовой информации сведения о воздействии микроорганизмов на полимерные материалы достаточно хорошо и достоверно отражены в результатах опроса (факторы 15 и 19). Низкие значения факторов 16 и 18, скорее всего, свидетельствуют о том, что повседневную обувь покупатели используют по назначению, то есть она не является многофункциональной, а также то, что ходить пешком мы стали меньше. Коэффициент конкордации для ранжирования $W = 0,687$. Расчетное значение $\chi^2 = 156,0$, теоретическое $\chi^2 = 16,13$. Значит ранжирование достоверно.

Таким образом, качественные материалы, современные технологии, соответствующий дизайн обуви, а также правильный ее выбор в соответствии с условиями носки позволит длительное время сохранять формоустойчивость изделия.

1.3 Иерархическая классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви

Для целенаправленного и эффективного решения вопросов, связанных с улучшением формоустойчивости обуви как в процессе производства, так и при носке, необходимо знать не только значимость факторов, но и тесноту связи между ними. Это дает возможность выбрать из групп основные факторы, воздействуя на которые, можно кратчайшим путем добиться улучшения качества обуви. Для выявления иерархической взаимосвязи факторов по степени их влияния на формоустойчивость обуви использовался один из методов теории распознавания образов (кластер-анализ) [1.87, 1.88], который позволяет получить геометрическую интерпретацию результатов исследования в виде многоуровневого ярусного графа. Основой для расчетов служили данные опроса специалистов, по которым в предыдущем параграфе проводилось ранжирование. Расчеты исходных матриц проводились на ЭВМ [1.85, 1.89].

На рисунке 1.7 изображен граф, объединяющий факторы в группы. При анализе графа можно выделить две группы факторов, равные по количеству D_{16} и Γ_{15} . В первую группу D_{16} объединились факторы производственного характера Γ_{14} , условия хранения и ухода за обувью A_{11} . Неожиданным оказалось объединение эксплуатационного фактора 17 – уход за обувью – с производственными. Причина этого заключается в том, насколько качественно изготовлена обувь, а не то, как мы воздействуем на нее при носке.

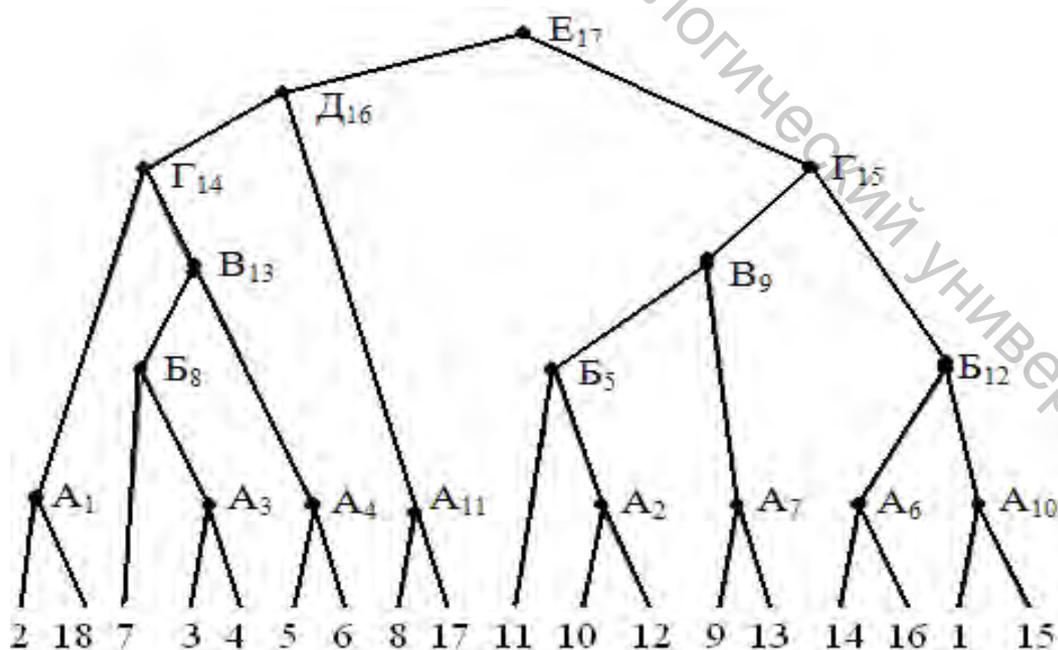


Рисунок 1.7 – Иерархическая классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви

Объединение групп A_1 и B_{13} закономерно, так как одна из них характеризует конструктивные характеристики обуви, а вторая – основные процессы ее производства. Группа B_{13} включает в себя более мелкие B_8 и A_4 , которые показывают связь операций увлажнения и формования A_3 с гигротермическими параметрами воздуха 7, а также фиксацию формы обуви 5 с длительностью нахождения ее на колодке 6. Эти данные хорошо согласуются с проведенными исследованиями на фирме «Масис» в г. Ереване, которые показали, что на качество изделия и экономное использование кожевенного сырья существенное влияние оказывают гигротермические условия окружающей среды [1.51]. Хорошо объясняется связь 5 и 6 факторов, так как формоустойчивость обуви зависит не только от того, насколько эффективно выполнены операции формования, но и от продолжительности нахождения ее на колодке. При современных интенсифицированных методах изготовления обуви сокращение производственного цикла должно происходить без ухудшения качества изделия. В связи с этим насущной проблемой является разработка рациональных режимов формования верха обуви.

Во вторую группу Γ_{15} объединились факторы B_9 , в основном определяющие воздействие стопы на обувь, и B_{12} , связывающие воздействия окружающей среды с исходными свойствами материалов.

Далее можно проследить, что группа B_9 включает в себя B_5 и A_7 . Первая из них характеризует комплексные механо-физико-химические воздействия стопы. Интенсивность потери формы обуви зависит, прежде всего, от многократных механических нагрузений при носке, усложненных воздействием пота A_2 .

Связь факторов 9 и 13 неожиданна и объясняется, видимо, тем, что при воздействии уробактерий интенсивнее происходит изнашивание верха в том случае, если обувь мала или велика. В первом случае происходит более быстрое увеличение периметров обуви, во втором случае растет интенсивность износа подкладки из-за большей амплитуды движения стопы в обуви, что, в конечном счете, приводит к потере формы.

Группа B_{12} включает в себя A_6 и A_{10} . Логичнее предположить, что потеря формы обуви должна интенсивнее происходить при объединении 14 и 15 факторов, а не 14 и 16, хотя, возможно, что солнечная радиация, содержание различных химически активных веществ в окружающей среде (соль на тротуарах, отходы нефтепродуктов на дорогах и т. д.) оказывают большое влияние. Объединение факторов 1 и 15 хорошо объяснимо, так как исходная структура материалов определяет способность обуви сохранять форму при намокании, высушивании и действии тепла.

После анализа графа необходимо обратить внимание на тот факт, что фактор – физико-химические свойства материалов верха и низа обуви – объединился не с производственными процессами, а с ее эксплуа-

тационными факторами. Это свидетельствует о том, что еще есть много резервов в усовершенствовании технологии производства обуви с целью повышения ее формоустойчивости.

Дальнейшее исследование классификации факторов производилось для конкретного вида обуви – полуботинок клеевого метода крепления с верхом из натуральной кожи. Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рисунке 1.8.

Граф (а) образуется из двух групп: B_4 и A_3 . Первая из них объединяет процессы производства обуви, а вторая – ее конструктивные характеристики. Отличительной особенностью является лишь больший удельный вес процессов формования по сравнению с геометрией колодки и конструкцией заготовки. В остальном же выводы, сделанные выше по группам A_1 и B_{13} (рисунок 1.7), не изменились. Добавить к ним можно довольно значительное влияние фактора 20, который свидетельствует об определенном вкладе операций подошво-крепительного и отделочного участков.

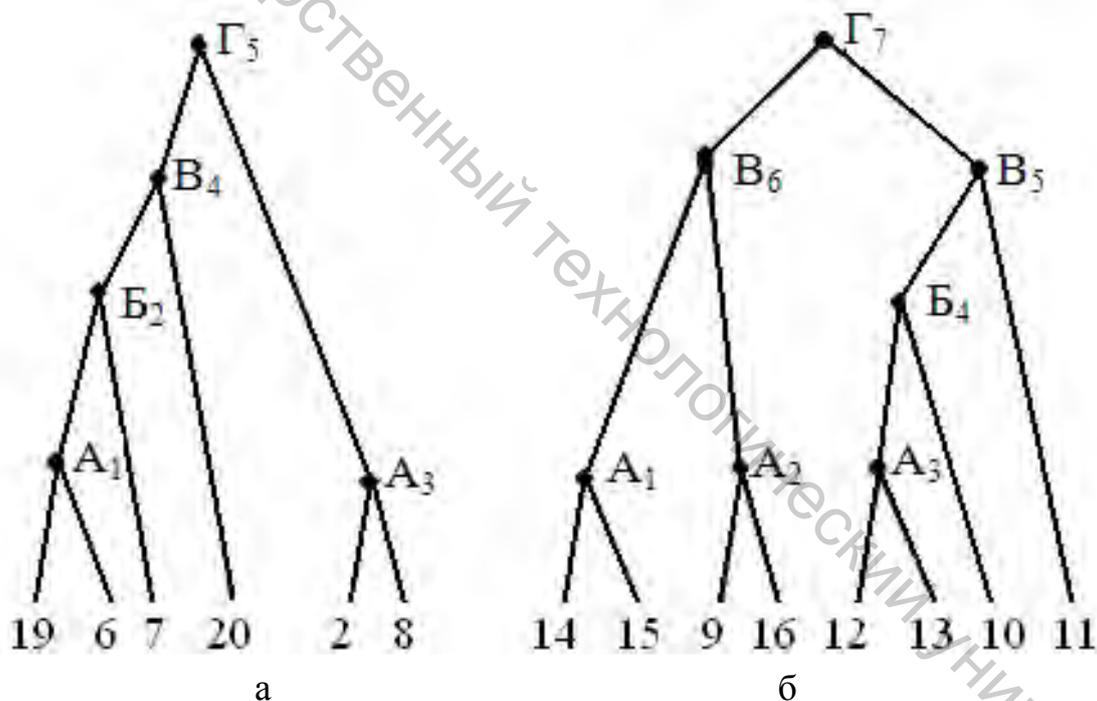


Рисунок 1.8 – Иерархическая классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви:
а – при производстве; б – при носке

Обобщая результаты группировки производственных факторов можно сделать выводы:

– формоустойчивость обуви складывается из рационального выполнения производственных процессов ее сборки, конструктивных характеристик и внутренней формы;

– основным направлением в создании формоустойчивой обуви следует считать оптимизацию режимов увлажнения, формования и фиксации верха;

– существенное влияние на качество обуви оказывают гигротермические параметры воздуха при ее производстве и хранении.

Анализ графа рисунка 1.8 б показал, что он имеет довольно значительные различия в своей структуре построения от аналогичной части графа, представленного на рисунке 1.7, поэтому имеет смысл произвести полный анализ этого графа, и только потом остановиться на причинах их различия.

Граф (б) состоит из двух групп B_6 и B_5 равных по количеству входящих в них факторов. Факторы, объединенные в группу B_5 , характеризуют воздействие стопы на обувь. Эта группа включает в себя B_4 , в составе которой есть A_3 . Первая из них объединяет факторы 12, 13, 10 и показывает, что интенсивнее происходит процесс потери формы верха при многократных воздействиях стопы, усложненных комплексным действием пота и уробактерий. Объединение факторов 12, 13 в группу A_3 характеризует уже достаточно хорошо известный факт, что уробактерии, попадая в среду пота, интенсифицируют износ верха, приводящий к потере формы обуви [1.65]. Группа B_6 включает в себя факторы, характеризующие воздействие на обувь окружающей среды и ее впорность. Закономернее было бы, чтобы впорность обуви коррелировала с комплексными воздействиями стопы. Это может говорить о том, что при проектировании данного вида обуви недостаточно учитываются воздействия окружающей среды. Далее эта группа разбивается на A_1 и A_2 . Связь факторов 14 и 15 понятна, так как потеря формы обуви интенсивнее происходит при комплексном воздействии влаги и механических разрушений. Оказалось, что между фактором 9 и 16 существует довольно тесная связь. Это свидетельствует о том, что наиболее интенсивно происходит потеря формы от невпорности обуви и химических воздействий окружающей среды, что почти совсем не учитывается при производстве и носке обуви.

Сопоставляя анализ эксплуатационных факторов по графам, изображенным на рисунках 1.7 и 1.8, можно сразу отметить их структурные различия. Подробнее остановимся на основном: на рисунке 1.7 впорность обуви 9 коррелировала с воздействиями стопы, тогда как на рисунке 1.7 – с действием окружающей среды. Объяснение этого явления заключается, видимо, или в общности взглядов специалистов г. Москвы, или в недостаточном количестве исследований по данному вопросу, или в специфических особенностях носки данного вида обуви (полуботинок) в условиях г. Москвы. В результате исследования можно сделать общие выводы по влиянию отдельных эксплуатационных факторов на формоустойчивость обуви в носке:

– основными группами факторов, влияющими на формоустойчи-

вость обуви в носке, является воздействие на нее стопы и окружающей среды;

– при проектировании и производстве обуви необходимо учитывать условия окружающей среды, в которой она будет эксплуатироваться.

В результате литературного обзора и изучения факторов для дальнейшего исследования выбирались увлажнение, формование и сушка (производственные) и механические воздействия стопы (носка), занявшие, наиболее значимые места в группах.

Таким образом, можно обобщить все то, что было изложено в п.п.1.1–1.3:

– предложена классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви при ее производстве и носке, определена их значимость и взаимосвязь;

– на основании априорного ранжирования выделены основные факторы, влияющие на формоустойчивость обуви при ее производстве: увлажнение, формование и фиксация верха; определена их связь с другими производственными процессами; основными факторами при носке следует считать: механические воздействия стопы и впорность обуви; определена связь между эксплуатационными факторами;

– для обеспечения высокой формоустойчивости обуви в условиях современного интенсифицированного производства необходимо совершенствовать процессы формования, прежде всего в плане разработки рациональных режимов их проведения, которые учитывали бы условия носки изделия;

– в результате исследования факторов, влияющих на формоустойчивость обуви, для дальнейшего изучения были оставлены: увлажнение, формование, фиксация (производственные) и механические воздействия стопы (носка), имеющие наибольшую значимость в группах.

1.4 Установление номинальных значений показателей для критерия оценки формоустойчивости обуви

В нашей работе [1.90] были определены критерии оценки формоустойчивости обуви: изменение внутреннего объема носочно-пучковой части; подъем носочной части; складкообразование; смещение верха; изменение периметра в сечении $0,62-0,73$ длины стопы ($D_{ст}$). Однако величины их изменения не были определены. Для того чтобы можно было практически пользоваться полученными ранее зависимостями, нужно определить номинальные (допустимые) отклонения указанных выше видов проявления потери формы обуви. Попробуем сделать это, опираясь на исследования, проведенные ранее. Задача эта до-

вольно не простая, так как в настоящее время не существует количественной оценки формоустойчивости обуви. Проанализируем предлагаемые критерии в хронологической последовательности.

Подъем носочной части обуви как вид потери формы верха обуви впервые был отмечен Любичем М. Г. [1.15]. В связи с распространенностью дефекта потери формы верха обуви им совместно с Е. И. Буканковым и В. Д. Ефимовым была проведена серия исследований, связанных с разработкой методов объективной оценки формы обуви и определением формоустойчивости некоторых ее видов. В первоначальных опытах они сравнили контуры проекций обуви на экране до и после ее носки, а также сопоставили гипсовые слепки внутренней полости ношенной обуви с затяжными колодками, на которых была изготовлена эта обувь. Контуры проекций были определены в мужских рантовых полуботинках с кожаной подошвой и стелькой с текстильной формованной губой в новой обуви и после трех месяцев носки. Перед вторичным вычерчиванием спроектированный на экране контур ношенной обуви совмещали с нанесенным ранее контуром так, чтобы точки *a* и *b* (рисунок 1.9) обоих контуров совпали.

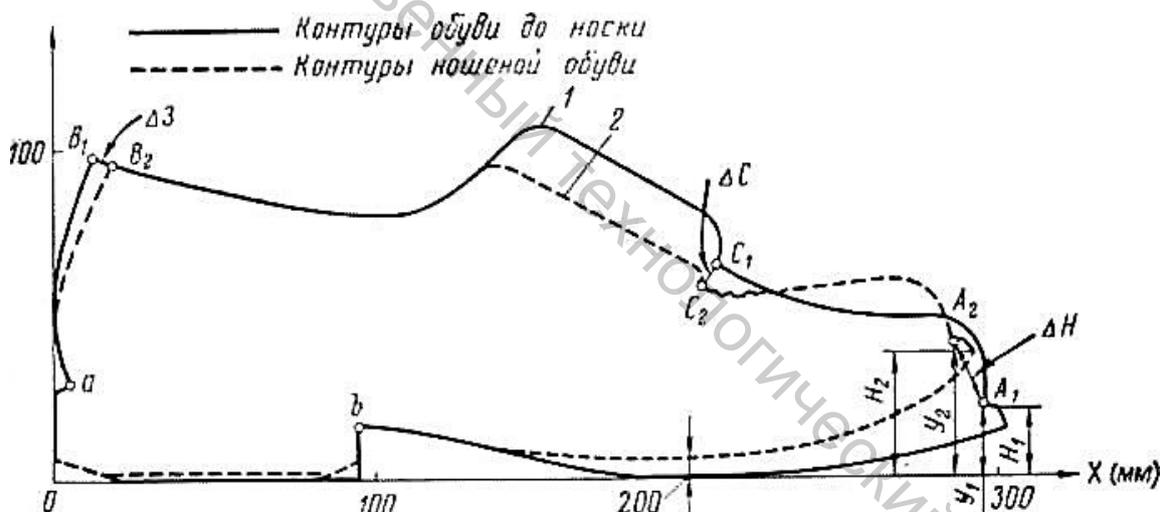


Рисунок 1.9 – Средние продольные контуры обуви до носки (1) и ношенной (2)

Изменение формы обуви в процессе ее носки характеризовалось положением точек A_1 , A_2 носка, B_1 , B_2 задинки и C_1 , C_2 союзки относительно системы координат XU . По положению этих точек до и после носки обуви определяли величины отклонений $\Delta H = A_1A_2$, $\Delta Z = B_1B_2$, $\Delta C = C_1C_2$ и величину перемещения подъема $Y_2 - Y_1$ точки A_1 . Для установления изменений размеров союзки в продольном направлении в обуви до и после носки измеряли периметр кривых A_1C_1 и A_2C_2 . В результате проведенных опытов было установлено, что в процессе носки происходит подъем носочной части обуви в среднем на 16,5 мм (от 5 до

28 мм) с соответствующим отклонением точек A_1 , B_1 и C_1 (по наклонной линии) в среднем на 18,7 и изменением периметров союзки по продольным линиям A_1C_1 и A_2C_2 .

Гипсовые слепки внутренней полости ношенной обуви сравнивали с затяжными колодками, на которых была изготовлена эта обувь, по поперечным сечениям, отстоящим от крайней точки пятки на 0,20; 0,69 и 0,80 длины стопы. Проведенные опыты показали, что контуры поперечных сечений колодки и внутренней полости обуви (на рисунке показаны пунктирными линиями) существенно отличаются (рисунок 1.10).

В последующих работах Любича М. Г. были применены следующие методы определения изменения формы обуви в процессе ее носки: нанесение сетки из кругов диаметром 20 мм на союзки и берцы до сборки заготовок и замеры диаметров этих кругов после формования заготовок на колодках в готовой обуви и в обуви после определенного периода носки; определение при помощи специального прибора контуров продольного и поперечных сечений передней части обуви, надетой на стопу, до и после носки в течение определенного периода; фотосъемка обуви, надетой на стопу, в двух плоскостях до и после определенного периода носки.

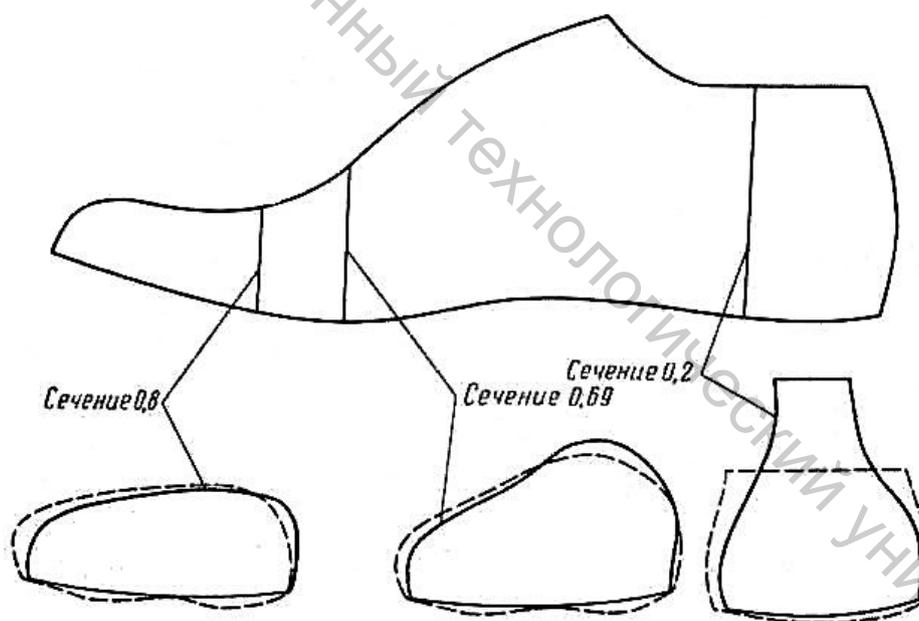


Рисунок 1.10 – Продольный контур колодки и средние контуры поперечных сечений колодки и слепков внутренней полости обуви после 90 дней носки

По сути дела, Любич М. Г. впервые обратил внимание на такие виды изменения формы, кроме уже указанного выше, как: складкообразование, смещение верха и изменение периметров внутренней формы обуви. Однако Любич М. Г. и последующие исследователи только кон-

статировали эти изменения формы как факт, не пытаясь при этом установить допустимые границы изменения. Впервые это сделал Калита А. Н. для такого вида потери формы обуви как складкообразование [1.91–1.93]. Складки, образовавшиеся при изгибе обуви, остаются по количеству без изменения при дальнейшей эксплуатации изделия. Предлагалось оценивать внешний вид обуви суммарной высотой складок в пучковой части союзки (ΣH). Он установил, что обувь с ΣH более 20 мм имеет неудовлетворительный внешний вид. Однако следует заметить, что это было определено для мужских полуботинок, предназначенных для повседневной носки. В дальнейшем также была установлена область наибольших изменений размеров стопы в плюснефаланговом сочленении, находящихся в пределах 0,62–0,78 длины стопы. А так как деформация обуви следует за деформацией стопы, то, следовательно, в этой же области будут происходить наибольшие деформации верха и низа обуви [1.62].

В более поздних работах была определена область допустимых изменений периметра пучковой части обуви в пределах одной полноты обуви и впервые предложен количественный критериальный подход к оценке формоустойчивости обуви [1.94, 1.95]. В работе [1.95] определены количественные показатели статической и динамической формоустойчивости по результатам испытаний материалов. Это был, по сути говоря, первый шаг к рассмотрению понятия «формоустойчивость» в течение всего «жизненного цикла» обуви.

Изменение внутреннего объема носочно-пучковой части обуви было запатентовано как способ оценки формоустойчивости обуви [1.96]. Этот способ позволил производить измерение объема внутреннего пространства обуви и характеризовать изменение ее формы даже при неизменности линейных размеров и толщины верха, и низа обуви. При этом определение объема внутреннего пространства за один прием измерений повышало точность и быстроту получаемых результатов. Кроме того, измерение объема внутреннего пространства носочно-пучковой части обуви при давлении 0,2–0,7 МПа, определяемого средней величиной давления стопы на верх обуви, позволяет имитировать связь «стопа – обувь», что приближает условия эксперимента к условиям носки изделия и уменьшает процент ошибки при оценке формоустойчивости.

Если изменения первоначального объема происходят в пределах изменения одной полноты обуви (колодки), то считаем ее формоустойчивость удовлетворительной, в противном случае – неудовлетворительной.

Следует отметить, что форма и объем носочной части обуви в сечении 0,9–1,0 $D_{ст}$ может существенно повлиять на сопоставимость результатов исследований различных видов и фасонов обуви. Кроме того, потеря формы происходит в основном в пучковой части. В связи с этим Буркиным А. Н. было предложено в случае, когда необходимо сравнить

внутренний объем обуви, конструктивно отличающейся между собой, проводить его измерения между сечениями $0,62D_{ст}-0,9D_{ст}$, и тем самым, будет исключаться влияние формы и объема носочной части.

С целью повышения достоверности получаемых результатов испытаний на формоустойчивость для дальнейших исследований предлагался способ, учитывающий реальное силовое взаимодействие стопы с обувью [1.97]. Такой подход связан с тем, что давление, оказываемое стопой на обувь в процессе носки на определенные участки носочно-пучковой части, неодинаково. Например, максимальной величины оно достигает в области внутреннего и наружного края сечения верха обуви. Описанный способ позволяет оценивать внутренний объем обуви, непосредственно находящейся на стопе, практически точно имитируя связь «стопа – обувь», а заложенный в способе принцип оценки при его техническом осуществлении может заменить экспериментальную носку обуви ее исследованиями в лабораторных условиях.

Что касается такого критерия, как «подъем носочной части», то его нужно рассматривать как угол отклонения носочной части обуви от исходного (в момент нахождения обуви на колодке). Впрочем, он может быть и отрицательным – при очень жесткой подошве или в целом низе обуви. И потеря формы в данном случае – скорее эстетическое и психологическое восприятие изделия.

Дефект формоустойчивости обуви – «смещение верха» – нужно рассматривать дифференцированно, то есть в зависимости от его нахождения в обуви. Величины потери формы будут разные в носочной, геленочной и пяточной частях обуви. Впервые область допустимых значений формоустойчивости носочной части обуви была определена в работах Буркина А. Н. и Шевцовой М. В., и величина ее предельных отклонений равнялась 5 мм [1.98, 1.99]. Для оценки формоустойчивости носочной части обуви был изготовлен и запатентован прибор [1.100]. В дальнейшем нами эта область была определена и обоснована для пяточной части обуви. Определение области допустимых изменений формы (смещение) верха обуви в геленочной и пучковой частях нужно рассматривать в контексте силового взаимодействия системы «стопа – обувь».

Таким образом, в работах, проведенных рядом исследователей, были рассмотрены различные аспекты формоустойчивости обуви, однако они в основном касались качественной оценки изделий. Что касается формоустойчивости материалов и систем, имитирующих заготовку верха обуви, то в достаточно большом количестве публикаций в этой области ученые пришли к единому мнению по критериям оценки и их размерностям [1.85, 1.101].

Однако поведение материалов — это далеко не те условия, которые существуют в элементах конструкции обуви в реальных условиях носки. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос силового

взаимодействия системы «стопа – обувь» в различных фазах ходьбы. Безусловно, все измерения целесообразно проводить в статических условиях, то есть в фазе опоры человека на две стопы или после снятия обуви.

В результате исследований влияния эксплуатационных факторов на формоустойчивость обуви было установлено, что основным являются механические воздействия стопы [1.89], то есть величина и характер распределения давления на нее деталей верха и низа в различных фазах передвижения человека.

Вопросы силового взаимодействия системы «стопа – обувь» в литературе мало освещены или носят разрозненный характер, и полученные результаты зачастую несопоставимы и противоречивы. Например, вопрос о допустимом сжатии стопы, который является основополагающим для создания рациональной обуви, достаточно противоречив, так как нужно, с одной стороны, обеспечить кровоток в больших и малых артериальных и венозных стволах, в капиллярах и предкапиллярах, а с другой стороны – надежное закрепление обуви на стопе. В этом случае получается, что физиологически допустимое давление обуви на стопу должно быть существенно ниже реального, то есть эксплуатационного. Эти и другие вопросы были частично рассмотрены при разработке рациональной формы обувной колодки на базе обобщенных антропометрических данных в работах В. А. Фукина, В. В. Костылевой и В. П. Лыбы [1.102, 1.103]. Ими было показано, что процессы получения анатомических и биометрических данных о стопе человека и проектирование колодки можно объединить. Из последней работы воспользуемся данными, которые приводятся для величины эксплуатационного давления деталей обуви на стопу и которое колеблется в пределах 0,18–0,69 МПа для основных сечений участков стопы. Эти данные нам понадобятся в дальнейшем для уточнения номинальных значений критериев оценки формоустойчивости обуви.

Таким образом, анализ работ, посвященных формоустойчивости обуви, показал, что для ее оценки свойств можно использовать показатели:

V – объем носочно-пучковой части в сечении 0,62–0,9 $D_{ст}$,

P – периметр сечения 0,62/0,73 $D_{ст}$, мм;

φ – подъем носочной части, град.;

S – смещение верха, мм;

H – складкообразование, мм.

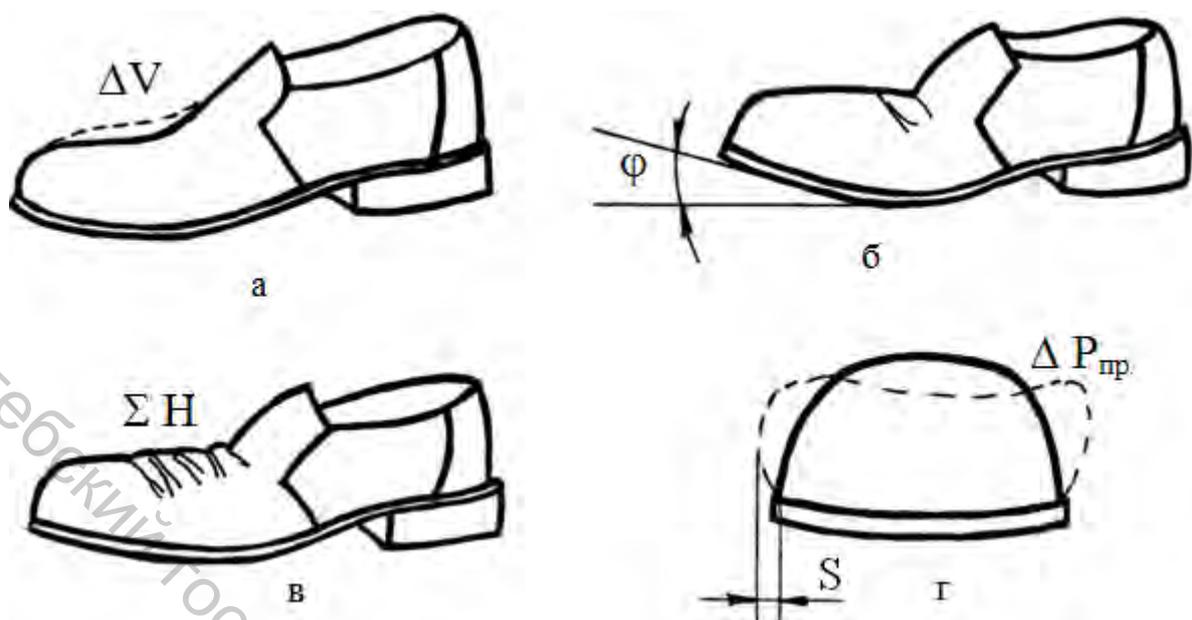


Рисунок 1.11 – Виды проявлений потери формы обуви:

а – изменение внутреннего объема носочно-пучковой части (ΔV); б – подъем носочной части (ϕ); в – складкообразование (ΣH); г – смещение (S), изменение периметра ($\Delta P_{пр}$) в сечении $0,68-0,72 D_{ст}$

Учитывая то, что обувь отличается по видам, размерам и полнотным признакам, а также по своей конструкции, проводить сравнение ее не представляется возможным, используя абсолютные величины показателей. Поэтому переведем их в безразмерные величины. Замена одной измерительной шкалы на другую позволит нам в дальнейшем упростить построение математической модели объекта – обуви.

Показатели: объем носочно-пучковой части в сечении $0,68-0,9 D_{ст}$ и периметр сечения $0,62/0,73 D_{ст}$ были определены выше, и поэтому останется только записать размерность их приращения по отношению к исходному:

$$4,5 \leq \Delta V \leq 7,5 (\%), \quad (1.1)$$

$$4,5 \leq \Delta P \leq 7,5 (\%). \quad (1.2)$$

Используя литературные источники [1.16, 1.102], определим, например, номинальные значения угла ϕ для двух групп обуви: женской и мужской, что будет соответственно равно $6-11^\circ$ (в зависимости от высоты приподнятости пяточной части), а в целом для обуви на низком каблуке эти значения будут примерно одинаковы и равны 11° . Используя границы зрительного восприятия образа изделия, а также анализ современных конструкций обуви, можно записать

$$8^{\circ} \leq \varphi \leq 14^{\circ} \quad (1.3)$$

или

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \pm 3^{\circ}, \\ \Delta\varphi &\leq 25 (\%). \end{aligned}$$

В работе [1.99] было установлено, что смещение верха в размере до 5 мм является вполне допустимой величиной, тогда

$$1 \leq \Delta S \leq 5 \text{ мм.} \quad (1.4)$$

Допустимая величина складкообразования на заготовке верха обуви была установлена в работах А. Н. Калиты

$$\Delta H \leq 20 \text{ мм.} \quad (1.5)$$

Установленные выше номинальные значения показателей для оценки формоустойчивости обуви позволят разработать критерий ее оценки и количественно охарактеризовать качество изделия.

1.5 Разработка критериев оценки формоустойчивости материалов и обуви

Понятием «формоустойчивость обуви» оперируют на протяжении всего жизненного цикла товара, начиная с момента снятия обуви с колдовки до ее физического износа. Ее можно оценивать различными показателями. Выбор показателей зависит, прежде всего, от того, на каком этапе жизненного цикла идет рассмотрение данного свойства. Существуют показатели, которыми можно оценивать, как статическую, так и динамическую формоустойчивость (например, объем носочно-пучковой части обуви, подъем носка и т. д.). Однако некоторые из них проявляются только в динамике (складкообразование, смещение верха).

С целью оценки формоустойчивости обуви в период эксплуатации и при лабораторных исследованиях систем необходима разработка критерия формоустойчивости, который являлся бы количественной мерой данного свойства. При этом следует исходить из следующих требований:

- возможности критерия в наибольшей мере отражать изменение верха обуви при многоцикловых нагружениях;
- доступности экспериментального и теоретического определения его значений;
- возможности обоснованного нормирования критерия.

Существующие методики количественной оценки динамической формоустойчивости материалов и систем верха обуви предполагают нанесение на поверхность образца геометрической фигуры, чаще всего, прямоугольной формы с площадью S_0 с последующим определением площади S фигуры после заданного цикла нагружений.

В качестве критерия оценки формоустойчивости систем материалов верха обуви следует ввести показатель K_f , представляющий собой отношение площади системы, подвергшейся нагружению в течение определенного времени S , к первоначальной площади системы S_0 [1.104]

$$K_f = S/S_0. \quad (1.6)$$

Как и при разработке критерия формоустойчивости готовой обуви следует рассматривать площадь системы после нагружения на фоне первоначальной площади, так как лишь в случае отклонения S от S_0 можно говорить об изменениях формы систем материалов верха обуви.

Связать данный показатель можно со следующей группой факторов:

t – время деформирования материалов;

E – модуль жесткости на растяжение;

η – динамическая вязкость полимерного материала;

$\Delta l_{\text{ост}}$ – абсолютное остаточное удлинение;

Δl – абсолютное общее удлинение образца.

Функцию, связывающую названный выше относительный показатель формоустойчивости с перечисленными факторами, в общем виде можно записать так:

$$K_f = f(E, \Delta l, \Delta l_{\text{ост}}, \eta, t). \quad (1.7)$$

Для ответа на вопрос о том, может ли такая функция существовать, используем анализ размерностей. Будем считать, что введенные величины образуют полный набор и уравнение, описывающее зависимость (1.7), существует. Представим выражение (1.7) в форме, содержащей лишь безразмерные комбинации исходных величин, используя релейский метод решения размерных систем.

Выразим размерности исходных величин, то есть величин, входящих в зависимость (1.7). Воспользуемся системой единиц, в которой основными единицами являются единицы массы (M), длины (L), времени (θ), применяя рекомендации по построению систем единиц, известные из источника [1.105].

Используя их, построим формулы размерностей для рассматриваемых величин E , η , t , Δl , $\Delta l_{\text{ост}}$, применяя метод теории подобия. Исходные величины и формулы их размерности представлены в таблице

1.2.

Таблица 1.2 – Формулы размерностей величин, вводимых в критерий формоустойчивости систем материалов

Наименование величины	Обозначение	Размерность в системе ML θ	Формула размерности
1 Модуль жесткости на растяжение	E	H/м ² =кг/м·с ²	ML ⁻¹ θ ⁻²
2 Динамическая вязкость полимерного материала	η	Кг/м·с	ML ⁻¹ θ ⁻¹
3 Время деформирования системы материалов	t	С	θ
4 Абсолютное остаточное удлинение образца	$\Delta l_{\text{ост}}$	М	L
5 Абсолютное общее удлинение образца	Δl	М	L

Выражение (1.7) является общей формой записи зависимости между введенными величинами. С учетом неодинакового влияния аргументов на функцию выражение записываем в следующем виде:

$$K_f = f(E^a, \Delta l^b, \Delta l_{\text{ост}}^c, \eta^d, t^e), \quad (1.8)$$

где a, b, c, d, e – некоторые безразмерные показатели степени, отражающие характер влияния факторов на величину K_f .

Форма (1.8) является отправной (исходной) точкой при проведении анализа размерностей. Используя метод Релея можно получить выражения для показателей степеней.

Подставим в (1.8) вместо обозначений величин формулы их размерностей (таблица 1.2). В результате получаем

$$0 = f[(ML^{-1}\theta^{-2})^a, L^b, L^c, (ML^{-1}\theta^{-1})^d, \theta^e]. \quad (1.9)$$

Для того чтобы соотношение было однородным относительно размерностей, должны выполняться равенства между показателями степеней:

$$\text{для } M: 0 = a + d;$$

$$\text{для } L: 0 = -a + b + c - d;$$

$$\text{для } \theta: 0 = -2a + e - d.$$

Имеем систему из трех уравнений с пятью неизвестными. Решив ее, получаем: $d = -a$, $c = -b$, $e = a$.

Подставим полученные значения степеней в формулу (1.8)

$$K_f = f [E^a, \eta^{-a}, t^a, \Delta l^{-b}, \Delta l_{\text{ост}}^b]. \quad (1.10)$$

Объединим величины, имеющие одинаковые показатели степеней, и перепишем уравнение (1.10) в виде

$$K_f = f [(Et/\eta)^a, (\Delta l_{\text{ост}}/\Delta l)^b]. \quad (1.11)$$

Так как $\eta/E = \tau$, а $\Delta l_{\text{ост}}/\Delta l = \varepsilon$, то

$$K_f = f [(t/\tau)^a, \varepsilon^b]. \quad (1.12)$$

Построенные комбинации оказываются безразмерными, а их физическое содержание заключается в следующем:

t/τ – является критерием Деборы;

ε – относительное остаточное удлинение как исходная физико-механическая характеристика систем материалов.

Модель, описывающая зависимость величины S/S_0 от перечисленных выше факторов, может быть представлена в соответствии с рекомендациями, известными из источника [1.105] в виде функции

$$S/S_0 = k \cdot (t/\tau)^a \cdot \varepsilon^b, \quad (1.13)$$

где k – безразмерный коэффициент.

Этот коэффициент является отражением предположения о том, что левая часть уравнения (1.13) прямо пропорциональна произведению двух степенных функций, стоящих в правой части.

Для расчета конкретных значений степеней a и b модели (1.13) были использованы результаты испытаний образцов с верхом из натуральной кожи, межподкладкой из нетканого клеевого полотна и подкладкой из тик-саржи, трикотажного полотна и нетканого полотна (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Исходные данные для расчета степеней a и e

Вид материала подкладки	Время нагружения образца, ч	Первоначальная площадь образцов S_0 , мм ²	Конечная площадь образцов S_i , мм ²	S_i/S_0	Время релаксации системы τ , ч	Относительное остаточное удлинение ε
Тик-саржа	7	11238,5	11249,3	1,001	3	0,570
	15		11261,3	1,002		
	30		11273,4	1,003		
	45		11286,3	1,004		
	60		11295,1	1,005		
	90		11299,9	1,006		
Трикотаж	7	11238,5	11284,3	1,004	4,5	0,594
	15		11360,5	1,011		
	30		11429,9	1,017		
	45		11452,1	1,019		
	60		11468,7	1,021		
	90		11471,9	1,021		
Нетканое полотно	7	11238,5	11266,4	1,003	5	0,601
	15		11300,0	1,006		
	30		11338,9	1,009		
	45		11361,5	1,011		
	60		11369,0	1,012		
	90		11373,4	1,012		

Традиционный подход определений степеней a и b связан с применением метода наименьших квадратов. Уравнение (1.13) легко сводится к линейному виду с помощью логарифмирования:

$$\ln S/S_0 = \ln k + a \cdot \ln t/\tau + b \cdot \ln \varepsilon. \quad (1.14)$$

Используя вместо самих величин их логарифмы, легко определить числовые значения a и b . Однако применение этого метода по отношению к имеющимся экспериментальным данным приводит к отрицательному значению степени e , что лишает уравнение (2.13) физического смысла. Значения $b < 0$ требуют обратную зависимость между введенным критерием формоустойчивости S/S_0 и остаточным удлинением ε , что противоречит физическому смыслу зависимости между ними. Очевидно, что возрастание S/S_0 невозможно при убывании ε . Вместе с тем оценка допустимых значений степеней a и b , проведенная методом перебора, показывает, что существуют вполне приемлемые значения степеней a и b , лежащие в положительной области. Поэтому в данной работе вместо метода наименьших квадратов использован метод сканирования или перебора [1.106]. Техника применения этого метода к решению данной задачи состоит в следующем: на показатели степени a и e и коэффициент k накладываются двухсторонние ограничения, то есть $a \in (a_{min}; a_{max})$, $b \in (b_{min}; b_{max})$, $k \in (k_{min}; k_{max})$. Для каждой из этих величин задается шаг варьирования, а именно, по величине $a - \Delta a$, величине $b - \Delta b$, по величине $k - \Delta k$. Для рассматриваемых систем материалов задаются конкретные значения деформации ε и времени релаксации τ .

Для каждого сочетания значений k , a , b по формуле (1.13) вычисляются значения K_f при заданных последовательных значениях времени нагружения t . Полученные шесть расчетных значений (определяемых шестью значениями времен нагружения) сравниваются с соответствующими экспериментальными значениями. По отношению к каждой паре одноименных значений K_f вычисляется относительная ошибка аппроксимации:

$$\delta'(K_f) = \frac{|K_f - K_{fe}|}{K_{fe}} \cdot 100\%, \quad (1.15)$$

где K_{fe} – экспериментальные значения коэффициента формоустойчивости.

На величину этой ошибки накладываются ограничения сверху. Это ограничение распространяется на все шесть точек полученной зави-

симости, каждая из которых соответствует конкретному времени нагружения систем. Поиск продолжается до тех пор, пока не будут найдены такие значения k , a и b , при которых ошибка аппроксимации δ' (K_f) не будет превышать заданной величины δ^{\max} (K_f). Конкретные значения величин, используемые в процессе решения поставленной задачи, сведены в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Значения коэффициента и показателей степеней для расчета критерия K_f

Материал подкладки	Интервал значения величин						Шаг варьирования			Максимальное значение ошибки, δ^{\max} (K_f)
	a		b		k		Δa	Δb	Δk	
	a_{min}	a_{max}	b_{min}	b_{max}	k_{min}	k_{max}				
Тик-саржа	0,001	0,003	1,9	2,1	1	5	0,0001	0,01	1	3,0
Нетканое полотно	0,002	0,005	1,9	2,1	1	4	0,0001	0,01	1	3,0
Трико-тажное полотно	0,004	0,008	1,9	2,1	1	4	0,0001	0,01	1	3,0

Соответствие расчетных и экспериментальных данных критерия формоустойчивости K_f по видам используемых материалов позволяет получить математические зависимости, которые отражены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Математические зависимости критерия формоустойчивости систем материалов верха обуви

Материал подкладки	Математическая зависимость
Тик-саржа	$K_f = 3,081 (t/\tau)^{0,0019} \cdot \varepsilon^2$
Нетканое полотно	$K_f = 2,774 (t/\tau)^{0,0038} \cdot \varepsilon^2$
Трико-тажное полотно	$K_f = 2,840 (t/\tau)^{0,0069} \cdot \varepsilon^2$

Выбор интервалов возможных значений a и b можно осуществлять из общих соображений. Известно, что в реальных производственных системах нелинейные зависимости описываются полиномами не выше третьей степени. Таким образом, a_{max} и b_{max} следует выбирать меньшими или равными 3. Левые границы интервалов возможных значений могут быть установлены достаточно произвольно, но, как уже указывалось, величины a и b должны быть сугубо положительными. Используя анализ размерности, можно показать, что теоретическое значение b равно 2, что подтверждает правильный выбор верхней границы рассматриваемой величины.

Проведем анализ размерностей в следующей зависимости:

$$\Delta S = f(t, \tau, \Delta l), \quad (1.16)$$

где ΔS – приращение площади; Δl – абсолютная деформация пробы при растяжении.

Запишем вместо обозначений величин формулы их размерности

$$L^2 = \varphi \{ \theta^a, \theta^b, \Delta L^c \}. \quad (1.17)$$

Определим значения степеней

$$L : 2 = c,$$

$$\theta : 0 = a + b.$$

Объединив величины, имеющие одинаковые показатели степеней, получаем

$$\Delta S = f(t/\tau)^a \cdot \Delta L^2. \quad (1.18)$$

Проведем преобразования зависимости (2.18)

$$\Delta S / \Delta L^2 = f(t/\tau)^a;$$

$$(\Delta S \cdot S_0) / (S_0 \cdot \Delta L^2) = f(t/\tau)^a;$$

$$\Delta S / S_0 = K_f$$

Получаем уравнение следующего вида:

$$K_f = S_0^{-1} \cdot f(t/\tau)^a \cdot \Delta L^2. \quad (1.19)$$

Преобразуем уравнение (2.19)

$$K_f = \Delta S / S_0 = (S - S_0) / S_0 = S_0^{-1} \cdot f(t/\tau)^a \cdot \Delta L^2;$$

$$S / S_0 - 1 = S_0^{-1} \cdot f(t/\tau)^a \cdot \Delta L^2;$$

Получаем следующее уравнение:

$$S / S_0 = 1 + S_0^{-1} \cdot f(t/\tau)^a \cdot \Delta L^2. \quad (1.20)$$

Осуществим дальнейшие преобразования

$$S / S_0 = 1 + S_0^{-1} \cdot f(t/\tau)^a \cdot \Delta L^2 \cdot L_0^2 / L_0^2.$$

Знаем, что $\varepsilon = \Delta L / L_0$. Тогда: $S / S_0 = 1 + S_0^{-1} \cdot f(t/\tau)^a \cdot L_0^2 \cdot \varepsilon^2$;

$$S / S_0 = 1 + L_0^2 / S_0 \cdot f(t/\tau)^a \cdot \varepsilon^2. \quad (1.21)$$

Считая $(1 + L_0^2 / S_0)$ безразмерным коэффициентом k , запишем уравнение в следующем виде:

$$S / S_0 = 1 + k \cdot f(t/\tau)^a \cdot \varepsilon^2. \quad (1.22)$$

Учитывая приемлемый уровень ошибки аппроксимации для всех систем, не превышающий установленной величины в 3 %, принимаем результаты поиска, представленные в таблице 1.5, как окончательные.

Анализ исследований в области оценки формоустойчивости обуви показал, что, в основном, ученые пользовались каким-либо одним показателем, реже несколькими. Поэтому для повышения точности определения формоустойчивости обуви необходимо производить определение следующих параметров: складкообразование, периметр пучковой части, сваливание верха, подъем носочной части и объем носочно-пучковой части (рисунок 1.11). Результаты измерений этих параметров в процессе хранения и носки обуви сравниваются с исходными, полученными после изготовления изделия.

Как указывалось выше, формоустойчивость верха обуви определялась изменением длин линий, площадей геометрических фигур, нанесенных на союзочную часть верха обуви, и оценивалась такими показателями, как смещение верха, изменение периметра в сечении 0,68/0,72 Дст, суммарная величина складок и внутренний объем носочно-пучковой части и др. В настоящий момент предельно допустимые значения установлены по показателям суммарной величины складкообразования, изменению внутреннего объема носочно-пучковой части, смещению [1.93, 1.107–1.109]. Из перечисленных показателей изменение внутреннего объема является достаточно информативным. Кроме того, он может быть определен экспериментально с применением опытной носки. Однако оценка формоустойчивости по изменению показателей абсолютного объема ΔV обладает недостатками: отсутствует возможность сравнения соответствующих показателей обуви различных размеров и видов; отсутствует нормативная база на проведение подобных испытаний в Республике Беларусь, проведение подобных испытаний очень трудоемко. Чтобы исключить влияние этих факторов, целесообразно использовать относительный показатель K , представляющий собой отношение объема носочно-пучковой части обуви V , подвергшейся

нагружению и деформации в течение определенного времени, к первоначальному значению этого объема V_0

$$K = V/V_0. \quad (1.23)$$

Вполне логичным представляется рассмотрение текущего объема обуви именно на фоне первоначального значения этого объема, так как лишь в случае отклонения V от V_0 можно говорить о каких-то трансформациях формы изделия. Следовательно, при введении этого показателя достигается выразительность оценки и ее эффективность. Вместе с тем зависимость K от V при $V_0 = \text{const}$ остается линейной, что позволяет сопоставить результаты исследований, проведенных при использовании абсолютного и относительного показателя формоустойчивости обуви.

Представляет интерес вопрос о том, с какими факторами связан данный показатель и какая форма этой связи. В такой постановке данный вопрос в обувном производстве и товароведении не ставился. Экспериментальное его решение является сложной задачей. Однако, используя некоторые математические методы, можно оценить пригодность группы факторов, выделяемой для количественного описания введенного показателя K формоустойчивости. К таким методам относится так называемый анализ размерностей, являющийся разделом теории подобия. Основная идея этого метода состоит в том, что, если заданную группу переменных удастся преобразовать в набор безразмерных комбинаций, то эту группу можно считать полной, а соответствующую ей функцию – существующей [1.110]. Безразмерные комбинации представляют собой произведения или отношения величин, составленные таким образом, что в каждой комбинации размерности величин сокращаются. Такие комбинации ценны тем, что в них отражается вид изучаемой зависимости. Иными словами, безразмерные комбинации – это «части» изучаемой зависимости. Анализ размерностей дает возможность установить некоторые черты (особенности) математической структуры уравнения, описывающего реальный процесс или состояние объекта.

Достоинство этого метода можно пояснить следующим образом. Пусть принято, что $K = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, где X_1, X_2, \dots, X_n – факторы, определяющие введенный показатель формоустойчивости. Тогда, используя анализ размерности, можно установить, существует ли функция, которая описывает эту зависимость. Более того, эту функцию можно отыскать целиком или, по крайней мере, найти отдельные ее части.

Содержание анализа размерностей определяется одной из теорем теории подобия, которая называется π -теоремой или теоремой Букингема [1.110–1.112]. Если какое-либо уравнение однородно относительно размерностей, входящих в него величин, то его можно преобразовать к

соотношению, содержащему набор безразмерных комбинаций этих величин. Однородным относительно размерностей будет то уравнение, вид которого не зависит от выбора основных единиц измерения.

Для проведения анализа размерностей необходимо, прежде всего, выявить величины, входящие в состав уравнения, отображающего изучаемую зависимость. При этом одну из величин, исходя из тех или иных соображений, выбирают в качестве выходной переменной, остальные рассматриваются как независимые входные переменные. Важно отметить, что можно не знать всех переменных, входящих в уравнение изучаемого процесса, но необходимо представлять себе, что эти переменные и связывающее их уравнение существуют независимо от того, известны они или нет.

При проведении анализа размерностей необходимо осуществить:

- выбор исходных величин, рассматривая в качестве их размерные коэффициенты и физические постоянные;
- выбор систем основных размерностей и составление формул размерностей;
- построение безразмерных комбинаций.

Решение задачи построения безразмерных комбинаций будет правильным, если удовлетворяются следующие условия:

- каждая полученная комбинация исходных величин будет безразмерна;
- число комбинаций не меньше k :

$$k \geq n - m, \quad (1.24)$$

где n – число величин, входящее в изучаемое уравнение; m – число основных единиц.

Анализ размерностей обладает важной особенностью: если систему безразмерных комбинаций получить не удастся, то есть, если хотя бы одна из комбинаций оказывается не безразмерной, то это указывает на то, что какие-то величины были упущены или выбраны неверно и от них следует отказаться.

Для решаемой в данном научном исследовании задачи в качестве исходных величин для проведения анализа размерностей были выбраны:

S – величина смещения верха как мера изменения геометрических параметров верха обуви в процессе эксплуатации;

t – время нагружения обуви;

τ – время релаксации материала верха, учитывающее полимерную структуру материала и характеризующее способность материала восстанавливать свои свойства после прекращения действия нагрузок;

P – давление, оказываемое стопой на внутреннюю поверхность

верха обуви, как параметр, характеризующий условия эксплуатации;

R – работа разрыва материала верха, являющаяся комплексной мерой прочности этого материала, характеризующая способность материала противостоять действию нагрузок и возникающих деформаций верха обуви в процессе эксплуатации;

ΣH – суммарная высота складок на поверхности носочно-пучковой части как мера деформации в процессе складкообразования;

H_{cp} – усредненная характеристика интенсивности складкообразования;

P_{np} – периметр в сечении $0,68/0,72 D_{ст}$ как геометрический параметр обуви в поперечном направлении;

N – размер обуви как стандартный геометрический параметр стопы в продольном направлении;

$tg \varphi$ – тангенс угла подъема носочной части как мера деформации верха в продольном сечении.

Таким образом, функцию, связывающую названный выше относительный показатель формоустойчивости с перечисленными факторами, в общем виде можно записать так:

$$K = f(S, t, \tau, P, R, \Sigma H, H_{cp}, P_{np}, N, tg\varphi). \quad (1.25)$$

Будем считать, что введенные величины образуют полный набор и уравнение, описывающее зависимость (1.25), существует.

Представим выражение (1.25) в форме, содержащей лишь безразмерные комбинации исходных величин. Для этого используем так называемый релеевский метод решения размерных систем [1.105, 1.113].

Выразим размерности исходных величин, то есть величин, входящих в функцию (1.25). Используем систему единиц, в которой основными единицами являются единицы массы (M), длины (L и L'), объема (L_k), времени (θ), применяя рекомендации по построению систем единиц, известные из источника [1.105].

Используя их, построим так называемые формулы размерностей для рассматриваемых величин: S , t , τ , P , R , ΣH , H_{cp} , P_{np} , N , $tg\varphi$. С этой целью в выражении, определяющем размерность каждой величины, принятые обозначения основных единиц заменяем введенными символами. Например, выражение для размерности величины t переписываем через основные единицы выбранной системы и получаем $[t]=c$ (в качестве указания на то, что операция выполняется не над самой величиной, а над ее размерностью, используем запись ее буквенного обозначения в квадратных скобках). В этом выражении обозначение заменяем символом θ . В результате получаем так называемую формулу размерности для величины t . Аналогично строим формулы размерностей для всех остальных величин, которые представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Формулы размерностей величин, вводимых в критерий формоустойчивости

Наименование величины	Обозначение	Размерность в системе $MLL'L_k\theta$	Формула размерности
1 Показатель формоустойчивости	K	–	0
2 Смещение верха	S	M	$L_k^{1/3}$
3 Время нагружения обуви	t	C	θ
4 Время релаксации материала	τ	C	θ
5 Давление стопы на внутреннюю поверхность обуви	P	$H/M^2 = \text{кг}/M \cdot c^2$	$ML_k^{-1/3} \theta^{-2}$
6 Работа разрыва материала верха	R	$\text{кг} \cdot M^2 / c^2$	$ML_k^{2/3} \theta^{-2}$
7 Суммарная высота складок	ΣH	M	L
8 Средняя высота складок	H_{cp}	M	L
9 Размер обуви	N	M	L'
10 Периметр в сечении 0,68/0,72 $D_{ст}$	$P_{пр}$	M	L'

Очевидно, что выражение (1.25) является лишь общей формой записи зависимости между введенными величинами. В действительности характер влияния аргументов на функцию неодинаков. Поэтому естественно с точки зрения приближения к истинной зависимости использовать такую формулу

$$K = f [S^a, t^b, \tau^c, P^d, R^e, \Sigma H^q, H_{cp}^h, P_{пр}^m, N^n, (tg\varphi)^s], \quad (1.26)$$

где a, b, c, d, e, q, h, m, n, s – некоторые безразмерные показатели степени, отражающие характер влияния факторов на величину K.

Форма (1.26) является отправной (исходной) точкой при проведении анализа размерностей. Используя метод Релея можно получить выражения для показателей степеней.

Подставим в уравнение (1.26) вместо обозначений величин формулы их размерностей (таблица 1.5). В результате получаем

$$0 = f [(L_k^{1/3})^a, \theta^b, \theta^c, (ML_k^{-1/3} \theta^{-2})^d, (ML_k^{2/3} \theta^{-2})^e, L^q, L^h, L'^m, L'^n]. \quad (1.27)$$

Для того чтобы последнее соотношение было однородным относительно размерностей, должны выполняться следующие отношения между показателями степеней:

- для M: $0 = d + e$,
- для L: $0 = q + h$,
- для L' : $0 = m + n$,
- для L_k : $0 = 1/3a - 1/3d + 2/3e$,

для $\theta:0 = b + c - 2d - 2e$.

Имеем систему из 5 уравнений с 9 неизвестными. Решив ее, получаем: $a = 3d$; $e = -d$; $b = -c$; $q = -h$, $m = -n$.

Подставим полученные значения степеней в формулу (1.26):

$$K = f [S^a, t^b, \tau^{-b}, P^{1/3a}, R^{-1/3a}, \Sigma H^q, H_{cp}^{-q}, P_{np}^m, N^{-m}, (tg\varphi)^s]. \quad (1.28)$$

Объединим величины, имеющие одинаковые показатели степеней, и перепишем выражение (1.28) в виде

$$K = f [(PS^3/R)^a, (t/\tau)^b, (\Sigma H/H_{cp})^q, (P_{np}/N)^m, (tg\varphi)^s]. \quad (1.29)$$

Построенные комбинации оказываются безразмерными. Следовательно, функция (1.25) существует.

Рассмотрим физическое содержание каждой безразмерной комбинации [1.79]:

– PS^3/R – представляет отношение двух энергий: энергии, прикладываемой к верху обуви в случае его смещения PS^3 , и энергии разрушения (разрыва) материала верха R . Для этого отношения существует предельное значение, определяемое неравенством $PS^3/R \leq 1$. Случай, когда отношение $PS^3/R = 1$, характеризует состояние разрыва материала. Указанная безразмерная комбинация PS^3/R выступает в роли критерия энергетического состояния верха обуви в процессе эксплуатации;

– t/τ – является ничем иным, как критерием Деборы, и характеризует физическое состояние любого полимерного материала, включая и кожу. Теоретически, $D \cap [0; \infty]$. Возрастание критерия Деборы указывает на приближение к упругому состоянию, приближение к нулю;

– к вязко-текучему состоянию полимерного материала;

– $\Sigma H/H_{cp}$ – этот критерий может интерпретироваться как количество складок.

Обратим внимание на то, что появление складок вызывается действием сил, направленных по касательной к поверхности верха обуви вдоль продольной оси. Это дает основание рассматривать поверхность верха со складками как поверхность оболочки, претерпевающей так называемый продольный изгиб. Из теории сопротивления материалов известно, что потеря устойчивости упругих стержней и оболочек при продольном изгибе связана с появлением на них волнообразных деформаций с различной длиной волны. Следовательно, величина $\Sigma H/H_{cp}$ оказывается критерием, отражающим геометрию поверхности верха, в которую исходная поверхность трансформируется в процессе эксплуатации. Следует отметить, что целым числом данная безразмерная комбинация выражается только тогда, когда высота и ширина складок одинаковы.

Образование каждой очередной складки идет, в основном, за счет перераспределения деформаций поверхности, то есть увеличение высоты каждой последующей складки происходит за счет уменьшения высот предыдущих

- P_{np}/N – характеризует геометрические пропорции обуви;
- $tg\varphi$ – мера угла подъема в носочной части обуви.

Модель, описывающая зависимость величины V/V_0 от перечисленных выше факторов, может быть представлена в соответствии с рекомендациями, известными из [1.105], в виде функции

$$V/V_0 = (PS^3/R)^a \cdot (t/\tau)^b \cdot (\Sigma H/H_{cp})^q \cdot (P_{np}/N)^n \cdot (tg\varphi)^s. \quad (1.30)$$

Однако целесообразней представить данную модель в несколько ином виде, обеспечивающем значение $V/V_0 = 1$ при отсутствии действия рассматриваемых факторов:

$$V/V_0 = (1+PS^3/R)^a \cdot (1+t/\tau)^b \cdot (1+\Sigma H/H_{cp})^q \cdot (1+P_{np}/N)^n \cdot (1+tg\varphi)^s. \quad (1.31)$$

Логарифмируя левую и правую части (1.31), получим линейную модель относительно логарифмов вышеуказанных величин

$$\ln V/V_0 = a \ln(1+PS^3/R) + b \ln(1+t/\tau) + q \ln(1+\Sigma H/H_{cp}) + n \ln(1+P_{np}/N) + s \ln(1+tg\varphi). \quad (1.32)$$

Используя методы множественного регрессионного анализа, позволяющие строить линейную модель при наличии корреляций между факторами, можно определить коэффициенты a, b, q, n, s . Расчет конкретных значений коэффициентов модели (1.32) представлен на примере данных эксплуатационных испытаний обуви осенне-весеннего ассортимента с верхом из натуральной кожи и подкладкой из тиксаржи.

Для вычисления безразмерной комбинации PS^3/R на основании работ [1.80, 1.114, 1.115] было принято значение давления стопы на обувь P , равное $2,15 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.

Работа разрыва вычислялась по формуле

$$R_p = \eta \cdot P_p \cdot l_p, \quad (1.33)$$

где η – коэффициент полноты диаграммы; P_p – нагрузка при разрыве; l_p – удлинение при разрыве.

Исходные данные для расчета работы разрыва были найдены экспериментальным путем.

В результате расчета получены следующие значения R_p :

- для верха обуви на подкладке из тик-саржи – 21,58 Н/м;
- для верха обуви на подкладке из трикотажа – 20,53 Н/м;
- для верха обуви на подкладке из нетканого полотна – 21,68 Н/м.

При расчете критерия Деборы t/τ за время эксплуатации обуви t принимали фактическое действие силы со стороны стопы на союзку. В главе 1 указывалось, что материал верха испытывает повторный изгиб до 6 000 циклов в день или 100 цик/мин. Это означает, что за один день носки союзка фактически нагружается только один час, а не 24 часа. Следовательно, за 7 суток фактическое время нагружения составит 7 часов, за 15 суток – 15 часов и т. д. Эти временные режимы и использовались для расчета критерия Деборы.

Время релаксации материала верха устанавливалось экспериментально и соответственно равнялось:

- для верха обуви на подкладке из тик-саржи – 3 часа;
- для верха обуви на подкладке из трикотажа – 4,5 часа;
- для верха обуви на подкладке из нетканого полотна – 5 часов.

Эти данные не противоречат результатам исследований, касающихся релаксационных процессов, происходящих в коже [1.116, 1.117]. Следует, однако, отметить, что не существует опубликованных данных по релаксационным явлениям в системах верха.

Численные значения коэффициентов a , b , q , n , s в формуле (1.32) являются показателями степеней. Значения коэффициентов: $a = 0,188$; $b = 0,255$; $s = 0,225$; $q = 0,214$; $n = 0,118$, можно рассматривать как коэффициенты влияния факторов на критерий формоустойчивости готовой обуви. Их можно использовать непосредственно для построения ранжированного ряда, составленного из этих факторов. Полученные коэффициенты значимы с вероятностью 0,9 [1.83, 1.118].

Таким образом, в результате проведенных исследований, анализа литературных источников, а также опыта работы предприятий и организаций получены и систематизированы факторы, влияющие на формоустойчивость обуви в процессе ее производства, хранения и носки.

Предложена структура видов проявления потери формы обуви в процессе ее носки и хранения, включающая: изменение внутреннего объема носочно-пучковой части, подъем носочной части, складкообразование в области союзки, смещение верха обуви по отношению к деталям низа и изменение периметра верха обуви в пучковой части.

Впервые обоснованы факторы, определяющие критерии формоустойчивости обуви. Ими являются: смещение верха S , время нагружения обуви t , время релаксации материала τ , давление P , оказываемое стопой на внутреннюю поверхность обуви, работа разрыва материала верха R , суммарная высота складок на поверхности носочно-пучковой части ΣH , усредненная характеристика интенсивности складкообразо-

вания N_{cp} , периметр обуви в сечении $0,68/0,72 D_{ст}$, размер обуви N , угол подъема носочной части обуви $tg\varphi$.

Определена модель, описывающая зависимость величины изменения объема обуви в процессе ее эксплуатации от перечисленных выше факторов, с применением анализа размерности. С помощью методов множественного регрессионного анализа определены коэффициенты влияния факторов на критерий формоустойчивости верха.

В качестве критерия оценки формоустойчивости систем материалов верха обуви введен показатель K_f , представляющий собой отношение площади системы, подвергшейся нагружению в течение определенного времени S , к первоначальной площади системы S_0 .

Определены показатели, определяющие критерий формоустойчивости систем. В их число входят: модуль жесткости при растяжении E , динамическая вязкость полимерного материала η , время деформирования системы материалов t , общее удлинение Δl и остаточное удлинение $\Delta l_{ост}$. Получены математические зависимости, связывающие величину S/S_0 с перечисленными факторами.

Список использованных источников

- 1.1. Михайлов, А. Н. Физико-химические основы технологии кожи / А. Н. Михайлов. – Москва : Гизлегпром, 1949. – 351 с.
- 1.2. Михайлов, А. Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки / А. Н. Михайлов. – Москва : Легкая индустрия, 1971. – 527 с.
- 1.3. Кириллов, В. И. Квалиметрия и системный анализ : учеб. пособие / В. И. Кириллов. – Минск : Новое знание; Минск : ИНФРА-М, 2011. – 440 с.
- 1.4. Чернов, Н. В. Технология кожи / Н. В. Чернов [и др.]. – Москва : Гизлегпром, 1952. – 679 с.
- 1.5. Страхов, И. П. Химия и технология кожи и меха / И. П. Страхов [и др.]. – Москва : Легкая индустрия, 1970. – 632 с.
- 1.6. Страхов, И. П. Отделка кож / И. П. Страхов [и др.]. – Москва : Легкая индустрия, 1976. – 375 с.
- 1.7. Кутянин, Г. И. Исследование физико-механических свойств кожи / Г. И. Кутянин. – Москва : Гизлегпром, 1956. – 196 с.
- 1.8. Кутянин, Г. И. Термостойкость и износостойкость кожи / Г. И. Кутянин, Р. С. Уруджев. – Москва : Легкая индустрия, 1973. – 168 с.
- 1.9. Страхов, И. П. Дубление и наполнение кож полимерами / И. П. Страхов [и др.]. – Москва : Легкая индустрия, 1967. – 224 с.
- 1.10. Павлов, С. А. Химия и физика высокомолекулярных соединений в производстве искусственной кожи, кожи и меха / С. А. Павлов, И. С. Шестакова, А. А. Касьянова. – Москва : Легкая индустрия, 1976. – 528 с.
- 1.11. Кавказов, Ю. Л. Тепло- и массообмен в технологии кожи и обуви / Ю. Л. Кавказов. – Москва : Легкая индустрия, 1973. – 272 с.
- 1.12. Зыбин, Ю. П. Технология изделий из кожи: учеб. для вузов / Ю. П. Зыбин, Д. И. Анохин, Ю. М. Гвоздев и др.; под общ. ред. Ю. П. Зыбина. – Москва : Легкая индустрия, 1975. – 464 с.
- 1.13. Чиркова, Н. А. Анализ свойств, определяющих качество хромовых кож для верха обуви / Н. А. Чиркова, И. П. Страхов, В. А. Есин // Обзорная информация. Кожевенная промышленность. – вып. 3. – 1976. – 24 с.
- 1.14. Анохин, Д. И. Разработка метода расчета деформации заготовки верха обуви при ее проектировании: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / Д. И. Анохин; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1966. – 15 с.
- 1.15. Любич, М. Г. Свойства обуви / М. Г. Любич. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 256 с.
- 1.16. Зыбин, Ю. П. Конструирование изделий из кожи: учебник для студентов вузов / Ю. П. Зыбин, В. М. Ключникова, Т. С. Кочеткова, В. А. Фукин. – Москва : Легкая индустрия, 1982. – 320 с.

1.17. Довнич, И. И. Определение деформации заготовки при формировании в условиях замкнутого контура / И. И. Довнич, С. И. Клобуков, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 3. – С. 38–40.

1.18. Клобуков, С. И. Разработка метода расчёта деформаций передней части заготовки верха обуви, формуемой в условиях замкнутого контура на машинах с постоянным перемещением исполнительных инструментов: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / С. И. Клобуков; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1970. – 35 с.

1.19. Тонковид, Л. А. Расчёт и проектирование обуви массового производства / Л. А. Тонковид. – Киев : Техніка, 1977. – 136 с.

1.20. Файбишенко, М. А. Влияние различных факторов на формуустойчивость обуви / М. А. Файбишенко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1965. – № 9. – С. 27–33.

1.21. Шестакова, Н. А. Исследование реологических свойств кожи на основе сетчатой модели: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.01 / Н. А. Шестакова; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1970. – 18 с.

1.22. Куприянов, М. П. Деформационные свойства кож для верха обуви / М. П. Куприянов. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 248 с.

1.23. Зыбин, А. Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А. Ю. Зыбин. – Москва : Лёгкая индустрия, 1974. – 120 с.

1.24. Акулова, Т. Е. Деформация заготовки при формировании / Т. Е. Акулова, Е. И. Буканков, З. А. Коптюбенко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1971. – № 5. – С. 29–34.

1.25. Жаров, А. Н. Исследование деформации деталей при формировании на сферу, как элемент обувной колодки: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.02.13 / А. Н. Жаров; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1968. – 25 с.

1.26. Смит, Р. Ф. Технология затяжки и тенденции на будущее / Р. Ф. Смит // Материалы фирмы BUSMC (англ.) на симпозиуме, посвященном затяжке обуви. – Москва, 1976. – 25 с.

1.27. Скатерной, В. А. Исследование формовочных свойств верха обуви: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / В. А. Скатерной; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1954. – 14 с.

1.28. Данилов, Е. Н. Формование двухслойной заготовки на обувной колодке / Е. Н. Данилов, В. Н. Гарбарук // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1975. – № 1. – С. 110–115.

1.29. Хрипин, А. Г. К вопросу термообработки обувных материалов / А. Г. Хрипин, Я. Ф. Чередниченко, Э. А. Бабаев, И. М. Шляпников

и др. // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1972. – № 6. – С. 95–99; 1973. – № 5 – С. 91–96; 1974. – № 5. – С. 71–75.

1.30. Кравченко, А. Д. Термофиксация кожи хромового дубления при двухмерном растяжении / А. Д. Кравченко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1974. – № 9. – С. 45–47.

1.31. Ратаутас, А. С. Гигротермическая фиксация формы изделий из кожи / А. С. Ратаутас // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1974. – № 2. – С. 65–70.

1.32. Дзевульский, В. А. Вакуумная сушка обуви / В. А. Дзевульский и др. // Обзорная информация. Обувная промышленность. – 1976. – вып. 9. – 37 с.

1.33. Таубин, М. Г. Гигротермическое оборудование обувного производства / М. Г. Таубин, З. А. Вапник. – Москва : Лёгкая индустрия, 1978. – 158 с.

1.34. Хрипин, А. Г. Термофиксация искусственных и синтетических материалов / А. Г. Хрипин, Я. Ф. Чередниченко, Э. А. Бабаев и др. // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1976. – № 2. – С. 59–64.

1.35. Forrest, R. Lawn aerating attachments for shoe and boots. – США, кл. 36/136 (A 43 B 23/00), № 403, 59, 35, 19.07.77.

1.36. Fihsiranje oblika gornjišta vlagom i toplinom / Koža i obuća. – 1977. – № 8 (26). – P. 210–211.

1.37. Dispositif de séchage et de chauffage. – Франция, кл. A 43 D 95/10, №2276012, 23.01.76.

1.38. Keech, B. Pre-testing of Materials Leaves Many Problems in lasting / B. Keech // American shoemaking. – 1976. – v.21. – P. 22–23.

1.39. Beeby, R. Manufacturing Problems – Present and Future / R. Beeby // J. of the British Boot and Shoe Inst. – 1976. – March-April. – P. 46–51.

1.40. А.с. № 555878 СССР, МКИ А 43 D 95/10. Устройство для сушки изделий / В. В. Балутенко, В. А. Дзевульский, В. А. Лазоренко, Г. С. Лобза, В. А. Мусиенко, Л. Н. Янкин. – №2130639/12; заявл. 25.04.75; опубл. 30.04.77, Бюллетень № 16. – С. 5.

1.41. Луцык, Р. В. Влияние температуры сушки на структуру пор кожи хромового метода дубления / Р. В. Луцык, А. Ф. Мельникова // Кожевенно-обувная промышленность. – 1974. – № 3. – С. 53–55.

1.42. Насерова, Ш. И. Влияние температуры сушки в сушилке «Поливак» на структуру и свойства кож / Ш. И. Насерова, А. А. Денисова, Г. Н. Типтева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 7. – С. 20–21.

1.43. Минтаханова, Т. М. Исследование влияния некоторых способов сушки на физические свойства кожевенных материалов / Т. М. Минтаханова, Н. Ю. Маяускене // Материаловедение и технология изделий из кожи: сборник. – Вильнюс. – 1978. – С. 31–34.

1.44. Alongi, V. Bepaling der microstructuur van poreuse materialen / V. Alongi // Tidschrift voor Chemie en Instrument. – 1969. – № 12. – P. 313–320.

1.45. Думнов, В. С. Исследование процесса грунтования кож водными дисперсиями полимера: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.05 / В. С. Думнов; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1968. – 16 с.

1.46. Тричис, В. А. Особенности структуры кож для верха обуви из тяжелого сырья и возможности решения некоторых проблем отделки: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.01 / В. А. Тричис; Каунасский политехнический институт. – Каунас, 1977. – 20 с.

1.47. Чибискова, В. И. Исследование удельной поверхности пленочных материалов методом газовой хроматографии / В. И. Чибискова, В. И. Голоулина, В. М. Чесунов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1969. – № 5. – С. 47–51.

1.48. Есина, Г. Ф. Исследование внутренней структуры дермы методом газовой хроматографии / Г. Ф. Есина, В. М. Чесунов, И. П. Страхов // Кожевенно-обувная промышленность. – 1971. – № 3. – С. 23–25.

1.49. Айвазов, Б. В. Основы газовой хроматографии / Б. В. Айвазов. – Москва : Высшая школа, 1977. – 183 с.

1.50. Вяхирев, Д. А. Руководство по газовой хроматографии / Д. А. Вяхирев, А. Ф. Шушунова. – Москва : Высшая школа, 1975. – 302 с.

1.51. Климчук, Г. С. Исследование влияния относительной влажности воздуха на изменение размеров кожаных изделий: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / Г. С. Климчук; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1971. – 31 с.

1.52. Кавказов, Ю. Л. Гигиенические свойства обуви / Ю. Л. Кавказов // Научные труды МТИЛП / Моск. технол. ин-т легк. пром-ти. – Москва, 1962. – № 22. – С. 193–216.

1.53. Кочеткова, Т. С. Исследование плантарной части стопы / Т. С. Кочеткова, Ю. П. Зыбин // Научные труды МТИЛП / Моск. технол. ин-т легк. пром-ти. – Москва, 1963. – № 28. – С. 200–213.

1.54. Кушнир, Н. К. Исследование деформаций стоп при сжатии / Н. К. Кушнир // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1963. – № 3. – С. 76–84, № 4. – С. 93–97; 1964. – № 4. – С. 71–81.

1.55. Зыбин, Ю. П. Картограмма давления стопы на опору / Ю. П. Зыбин, С. К. Мухитдинов // Кожевенно-обувная промышленность. – 1960. – № 2. – С. 10–13.

1.56. Макуха, В. И. Изменение размеров стоп в процессе движения / В. И. Макуха // Научные труды МТИЛП / Моск. технол. ин-т легк. пром-ти. – Москва, 1962. – № 22. – С. 153–161.

1.57. Акулова, Т. Е. Исследование деформации верха при носке / Т. Е. Акулова, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1958. – № 5. – С. 90–100.

1.58. Акулова, Т. Е. Исследование деформации верха обуви / Т. Е. Акулова, Ю. П. Зыбин // Научные труды МТИЛП / Моск. технол. ин-т легк. пром-ти. – Москва, 1962. – № 22. – С. 221–229.

1.59. Зайончковский, А. Д. Некоторые вопросы динамической стойкости и структуры искусственной кожи / А. Д. Зайончковский. – Москва : Легкая индустрия, 1967. – 146 с.

1.60. Meddems, D. Using Synthetic Upper Materials / D. Meddems // J. of the British Boot and Shoe Inst. – 1964. – v. 12, № 9. – P. 350–360.

1.61. Калита, А. Н. Исследование складкообразований и разрушения верха при изгибе / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1966. – № 1. – С. 83–86, № 2. – С. 108–112.

1.62. Калита, А. Н. О деформации стопы в плюсно-фаланговом сочленении / А. Н. Калита, Т. С. Кочеткова, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1963. – № 2. – С. 75–82.

1.63. Цветков, В. Н. Элементы теории механических креплений низа обуви / В. Н. Цветков. – Москва : Гизлегпром, 1958. – 338 с.

1.64. Нестеров, В. П. Метод исследования показателей физико-механических свойств кожаных деталей низа обуви: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / В. П. Нестеров; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1963. – 20 с.

1.65. Калита, А. Н. Исследование кожи для верха обуви при многократном изгибе / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Научные труды МТИЛП / Моск. технол. ин-т легк. пром-ти. – Москва, 1973. – № 39. – С. 89–93.

1.66. Levy, B. Lining Materials from the Viewpoint of Manufacture and of Wear and of Comfort Properties / B. Levy // J. of the British Boot and Shoe Inst. – 1971. – v.18. – P. 73–75.

1.67. Островский, В. С. Изменение свойств и состава хромовой кожи при носке обуви / В. С. Островский, Л. А. Ягода, А. Л. Опанасюк, С. П. Лесик // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 2. – С. 41–43.

1.68. Михеева, Е. Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Е. Я. Михеева, Л. С. Беляев. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.

1.69. Акимова, Е. В. Об устойчивости к повторным механическим воздействиям материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 12. – С. 45–48.

1.70. Акимова, Е. В. Об износостойкости систем материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1979. – № 11. – С. 56–59.

1.71. Кругляков, В. М. Ускоренный метод исследования устойчивости материалов для верха обуви к многократным механическим воздействиям / В. М. Кругляков, В. К. Смелков, А. Г. Воронин // Товароведение и легкая промышленность: сб. статей. – Минск, 1982. – № 9. – С. 156–160.

1.72. Цибизова, Е. М. Определение эксплуатационных факторов, влияющих на формоустойчивость верха обуви / Е. М. Цибизова, М. А. Клякотко, А. Н. Калита // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1985. – № 1. – С. 69–72.

1.73. Зурабян, К. М. Материаловедение изделий из кожи: учеб. для вузов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, М. М. Бернштейн. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 416 с.

1.74. Рохлин, В. П. О методе оценки формоустойчивости материалов и систем материалов для верха обуви / В. П. Рохлин, Е. Я. Михеева, Е. В. Акимова // Совершенствование технологии производства обуви: сб. трудов / ЦНИИлегпром. – Москва, 1982. – С. 11–18.

1.75. Горюшина, Л. А. Исследование свойств материалов и систем материалов для верха обуви при двухосном растяжении / Л. А. Горюшина, Л. С. Беляев, Е. Я. Михеева // Исследования, направленные на экономическое исследование ресурсов в обувной промышленности: сб. трудов / ЦНИИлегпром. – Москва, 1983. – С. 66–72.

1.76. Макарышева, Т. С. Методика определения формоустойчивости обувных дублированных текстильных материалов на приборе ПОИК / Т. С. Макарышева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1984. – № 1. – С. 29–30.

1.77. Горюшина, Л. А. О методе оценки формоустойчивости материалов и систем материалов в динамических условиях / Л. А. Горюшина, Л. С. Беляев, Т. С. Горнецкая, В. А. Булеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1985. – № 9. – С. 21–24.

1.78. Беляева, А. Л. Классификация свойств обуви / А. Л. Беляева, Т. Т. Фомина // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 4. – С. 20–23.

1.79. Науменко, А. А. Анализ влияния факторов, определяющих формоустойчивость / А. А. Науменко, Е. А. Шеремет // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: сб. статей науч.-техн. конф. / Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2000. – С. 273–275.

1.80. Грязева, И. В. Разработка методов эргономической оценки верха обуви по антропометрическим показателям: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / И. В. Грязева; Москов-

ский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1992. – 18 с.

1.81. Буркин, А. Н. Некоторые проблемы формования верха обуви и определение рациональных величин деформации материала / А. Н. Буркин // доклад Междун. симпозиума «Химобувь 82». – Готвальдов (ЧССР), 1982. – С. 197–201.

1.82. Клякотко, М. А. Применение методов теории планирования эксперимента для ранжирования факторов по их влиянию на производительность труда на потоках швейных предприятий / М. А. Клякотко [и др.] // Швейная промышленность. – 1974. – № 6. – С. 7–10.

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

1.84. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман [и др.]. – Москва : Мир, 1977. – 552 с.

1.85. Буркин, А. Н. Оптимизация технологического процесса формования обуви : монография / А. Н. Буркин. – Витебск : Изд-во ВГТУ, 2007. – 220 с.

1.86. Буркин, А. Н. Рациональные режимы формования верха обуви / А. Н. Буркин, А. Н. Калита, С. И. Клобуков // Экспресс-информация. Обувная промышленность в СССР. – Москва : ЦНИИ-ТЭИлегпром, 1978. – № 1. – 25 с.

1.87. Елисеева, И. И. Группировка, корреляция и распознавание образов / И. И. Елисеева, В. В. Рукавишников. – Москва : Статистика, 1977. – 143 с.

1.88. Павлов, А. Н. Автоматизация процесса распределения работы между вырубщиками обувного предприятия: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / А. Н. Павлов; МТИЛП. – Москва, 1975. – 22 с.

1.89. Буркин, А. Н. Иерархическая классификация факторов, влияющих на формоустойчивость обуви при производстве и носке / А. Н. Буркин, А. Н. Калита // Химия и технология кожевенного и мехового производства: сб. науч. тр. МТИЛПа / МТИЛП. – Москва, 1979. – С. 84–87.

1.90. Шеремет, Е. А. Оценка эксплуатационных свойств верха обуви по показателям формоустойчивости: автореф. – дис. канд. техн. наук : 05.19.08 / Е. А. Шеремет; БТЭУ – Гомель, 2001. – 24 с.

1.91. Калита, А. Н. Исследование деформации верха обуви при изгибе с целью повышения его износостойкости и формоустойчивости: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.19.06. // А. Н. Калита; МТИЛП. – Москва: 1966. – 24 с.

1.92. Калита, А. Н. Исследование складкообразования и разрушения верха при изгибе / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1966. – № 1. – С. 83–86.

1.93. Калита, А. Н. Исследование факторов, влияющих на складкообразование в обуви / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1966. – № 2. – С. 108–112.

1.94. Буркин, А. Н. Влияние режимов формования на остаточные удлинения кожи / А. Н. Буркин, А. Н. Калита // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1978. – № 4. – С. 57–59.

1.95. Буркин, А. Н. Обобщенная функция желательности для оценки формоустойчивости обуви / А. Н. Буркин, М. А. Васильев, А. Н. Калита // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1981. – № 2. – С. 84–86.

1.96. А.с. 791371 СССР, МКИ А 43 D 1/08, А 43 D 11/12, А 43 D 13/0011 G 01 B 13/00. Способ определения формоустойчивости изделий из деформируемого материала / В. В. Щербаков, А. Н. Калита, А. Н. Буркин, Г. В. Сипаров. – № 2750848-13; заявл. 11.04.79; опубл. 30.12.80, Бюллетень № 48. – 3 с.

1.97. Пат. 5984 Республики Беларусь, МПК7 А 43D 1/08. Способ определения формоустойчивости обуви / А. Н. Буркин, А. Л. Сидорков, М. В. Шевцова, Е. А. Шеремет; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № а 20000284; заявл. 27.03.2000; опубл. 30.03.2004, Афіцыйны Бюлетэнь Дзяржаўнага пат. ведамства Рэспублікі Беларусь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2003. – № 1(40). – С. 91–92.

1.98. Буркин, А. Н. О формоустойчивости систем материалов для подносков / А. Н. Буркин, М. В. Шевцова // Кожевенно-обувная промышленность. – 2001. – № 3. – С. 35–36.

1.99. Буркин, А. Н. Оценка свойств термопластических материалов для подносков обуви: монография / А. Н. Буркин, М. В. Шевцова. – Витебск : Изд-во ВГТУ, 2011. – 181 с.

1.100. Пат. 960 Республики Беларусь, МПК7 G 01N 3/00 А 43 D 1/00. Прибор для определения формоустойчивости носочной части обуви / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, М. В. Шевцова, О. А. Терентьева; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № и 20020266; заявл. 17.09.2002; опубл. 01.04.2003, Афіцыйны Бюлетэнь Дзяржаўнага пат. ведамства Рэспублікі Беларусь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2003. – № 3(38). – С. 307.

1.101. Адигезалов, Л. И. Интенсифицированные методы сушки обуви / Л. И. Адигезалов, А. С. Шварц. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 136 с.

1.102. Фукин, В. А. Проектирование внутренней формы обуви / В. А. Фукин. – Москва : Легпромбытиздат, 1985. – 168 с.

1.103. Фукин, В. А. Проектирование обувных колодок / В. А. Фукин, В. В. Костылева, В. П. Лыба. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 88 с.

1.104. Шеремет, Е. А. Критерий оценки формоустойчивости верха обуви при лабораторных испытаниях / Е. А. Шеремет // Тез. докл. 34-й науч.-техн. и науч.-метод. конф. преподавателей и студентов УО «ВГТУ» / ВГТУ. – Витебск, 2000. – С. 68.

1.105. Сена, Л. А. Единицы физических величин и их размерности / Л. А. Сена. – Москва : Наука, 1988. – 432 с.

1.106. Виноградов, И. М. Математическая энциклопедия / И. М. Виноградов // БСЭ: в 4 т. – Москва, 1984. – Т. 4. – С. 1198.

1.107. Щербаков, В. В. Исследование формоустойчивости обуви с верхом из синтетических кож: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.19.06. / В. В. Щербаков; МТИЛП. – Москва, 1981. – 24 с.

1.108. Калита, А. Н. Исследование деформации систем материалов верха обуви в процессе носки: дис. ... канд. тех. наук: 05.19.06. – Москва : 1966. – 215 с.

1.109. Калита, А. Н. Определение допустимых изменений формоустойчивости обуви / А. Н. Калита, В. В. Щербаков // Экспресс-информация. Обувная промышленность. – 1982. – Вып. 11. – С. 16.

1.110. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – Москва : Мир, 1971. – 237 с.

1.111. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – Москва : Наука, 1978. – 304 с.

1.112. Алабужев, П. М. Теория подобия и размерностей. Моделирование / П. М. Алабужев. – Москва : Высшая школа, 1968. – 206 с.

1.113. Нарисава, И. Прочность полимерных материалов / И. Нарисава. – Москва : Химия, 1987. – 400 с.

1.114. Давыдова, В. П. Оценка впорности обуви по показателям формоустойчивости при стоянии / В. П. Давыдова, А. Л. Рындич // Сб. науч. тр. ЦНИИКП / ЦНИИТЭИлегпром. – Москва, 1974. – Вып. 1. – С. 89–95.

1.115. Грязева, И. В. Величина давления верха обуви на стопу как критерий формоустойчивости / И. В. Грязева, В. Ф. Полетаев, К. М. Зурабян // Кожевенно-обувная промышленность. – 1990. – № 9. – С. 10–13.

1.116. Лубьянская, Л. А. Исследование релаксации кожи для верха обуви в процессе обувного производства и при хранении: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.19.06. / Л. А. Лубьянская; ЛИТЛП. – Ленинград, 1968. – 25 с.

1.117. Филиппов, Б. Г. Исследование эксплуатационных свойств кожи циркониевого дубления для верха обуви: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.19.06. / Б. Г. Филиппов; ЛИТЛП – Ленинград, 1969. – 23 с.

1.118. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е изд. переработанное и дополненное. – Москва : Наука, 1976. – 279 с.

ГЛАВА 2

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОБУВИ НА ЕЕ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ

Повышение качества обуви, расширение ассортимента требует применения высокопроизводительного и универсального технологического оборудования и новых материалов. Однако совершенствование производства, как правило, происходит с его усложнением. Эффективность реализации технологического процесса определяется множеством значений варьируемых факторов. Их взаимосвязь с показателем качества процесса формования становится все более сложно воспринимаемой. Оценка функционирования технологического процесса должна осуществляться с учетом экономических, технологических и психологических критериев, то есть показатель качества является векторной функцией. Указанные особенности не позволяют проводить успешный анализ одного из наиболее сложных технологических процессов – формования, на интуитивном уровне или с использованием простых моделей. Стало необходимым применение математических моделей, более полно отражающих технологические процессы и позволяющих выбрать наиболее эффективные режимы их реализации. В связи с этим должна быть комплексность решений этой проблемы, так как одновременно нужно учитывать различные требования и ограничения. В настоящей главе в основном показано решение практических задач оптимизации процесса формования различными методами [2.1–2.8].

Выпуск обуви высокого качества требует разработки рациональных режимов ее сборки. Производство формоустойчивой обуви зависит, прежде всего, от правильного проведения режимов формования верха. В связи с этим в настоящей главе определяются основные режимы сборки обуви, обеспечивающие высокую формоустойчивость.

Все исследования проводили на примере производства обуви клеевого метода крепления. Для математического моделирования был использован технологический процесс формования верха обуви обтяжно-затяжным методом. Увлажнение проводили сорбцией, обеспечивающей более равномерное распределение влаги по толщине материала и не ухудшающей внешний вид изделия. В качестве способов фиксации были выбраны радиационный, радиационно-конвективный способы сушки, а также ВТО [2.9–2.15]. Одна из оптимизационных задач была решена для строчечно-литьевого метода крепления. Учитывая исключительную важность каркасных деталей в формоустойчивости обуви, часть исследований была посвящена данной проблеме.

Обувь состоит из достаточного количества деталей, для изготовления которых используются разные по структуре и свойствам материа-

лы. Однако, если нужно добиться хорошей формоустойчивости обуви, все материалы, применяемые для деталей верха, должны обладать не только формовочными свойствами, но и хорошо сохранять форму в процессе хранения и носки изделий. В связи с указанным выше в настоящем разделе рассматриваются формовочные свойства и формоустойчивость материалов для наружных деталей верха, подносков и задников. Исследование свойств систем материалов рассматривается в следующей главе.

2.1 Технологические процессы производства обуви и их влияние на ее формоустойчивость

Известно, что процесс формования заготовок верха обуви является одним из сложнейших в производстве изделий легкой промышленности. Этим процессом интересовалось достаточное количество ученых, многие из которых будут упомянуты в настоящей монографии. Спектр проведенных исследований по данной проблеме достаточно широк и включает исследование деформационных свойств материалов, влияние различных видов обработок на эти свойства, исследование режимов формования, различное обтяжно-затяжное оборудование и т. д. В настоящей главе приводятся отдельные работы, связанные с непосредственным исследованием процессов формования верха обуви из натуральных и искусственных материалов. Изучение процесса формования будет постоянно актуальным в связи с появлением новых материалов, совершенствованием оборудования для формования и т. д. В кратком обзоре представлены отдельные работы, которые в определенной степени характеризуют те или иные научные направления.

Пожалуй, наибольшее количество исследований в этой области проводилось в Московском технологическом институте легкой промышленности (МТИЛП^{*}) под руководством Зыбина Ю. Н., Жарова А. Н., Калиты А. Н., Анохина Д. И., Клобукова С. И. [2.16–2.23]. Большой вклад в решение данной проблемы внесли ученые Ленинградского института текстильной и легкой промышленности (ЛИТЛП^{*}) и в первую очередь Шварц А. С., Иванов М. Н., Адигезалов Л. И. и Воронов Н. Ф. [2.24–2.35].

^{*} В настоящее время:

Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (РГУ им. А.Н. Косыгина);

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД).

Существенный вклад в исследование данной проблемы внесли ученые Киевского технологического института легкой промышленности (КТИЛП*) Куприянов М. П., Коновал В. П., Луцык Р. В., Хомяк Н. Е. [2.17, 2.36–2.44]. Довольно много интересных работ было выполнено в Каунасском политехническом институте (КПИ) под руководством Раяцкаса В. Л., Ратаутасом А. С., Батисене М. Ю., Кирейлене Д. А. [2.45–2.48]. Достаточно длительный период времени этой проблемой занимаются ученые Витебского технологического института легкой промышленности (ВТИЛП*) Горбачик В. Е., Буркин А. Н., Загайгора К. А., Максина З. Г., Смелков В. К., Линник А. И. [2.49–2.54].

В Центральном научно-исследовательском институте кожевенно-обувной промышленности эту проблему изучали Михеева Е. Я., Зыбин А. Ю., Файбишенко М. А., Акимова Е. В. [2.55–2.59].

Это далеко не полный перечень авторов работ в области формирования верха обуви, исследования которых были связаны с комплексным изучением данного процесса или отдельных его аспектов. Наибольший интерес к этой проблеме наблюдался в 70–80-е годы прошлого столетия. В последние годы количество публикаций заметно уменьшилось, однако это не говорит о том, что проблема исчерпана. Еще нужно будет ответить на многие вопросы, которые были поставлены авторами публикаций по данной проблеме.

В настоящей главе обозначения и терминология приведены в соответствии с наиболее часто употребляемыми авторами при изложении материала по данной проблеме. Например, термин «формоустойчивость» у ряда авторов звучит как «формостойкость», «стабилизация формы» и т. д. Это относится и к другим понятиям и положениям. Приведем все это к единообразию.

Пространственную форму плоскому материалу можно придать при одно- и многоосном растяжении. Известно, что уравнение зависимости деформации от напряжения имеет следующий вид:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma^m. \quad (2.1)$$

Способность материалов к растяжению обычно характеризуют показателем относительного удлинения при заданном (полученном) напряжении.

* В настоящее время:

Киевский национальный университет технологий и дизайна (КНУТД);
Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» (УО «ВГТУ»).

Теоретические основы формования были заложены Зыбиным Ю. П. [2.16], Куприяновым М. П. [2.17] и Анохиным Д. И. [2.18]. В исследованиях, проведенных ими, было установлено, что кривые растяжения кожи, тканей и их систем приближенно выражаются уравнением параболического вида

$$\varepsilon = A \cdot Q^n, \quad (2.2)$$

где ε – удлинение материала; Q – нагрузки при растяжении материала; A – коэффициент удлинения; n – показатель степени кривой растяжения.

Учитывая, что заготовка – это, как правило, система материалов, были выведены коэффициенты удлинения для параллельного и последовательного их соединения. В дальнейшем эти положения получили свое развитие в работах ряда авторов.

Процесс формования заготовки верха обуви на колодке характеризуется величинами деформаций и напряжений, которые материал испытывает при этом. В исследованиях Жарова А. Н., Козлова А. З. и Ковалева Ю. И. была разработана теория напряженно-деформированного состояния деталей обувной заготовки при ее формовании на модель колодки. В результате представляется возможным определять оптимальные параметры рабочих органов машин для формования с учетом различных физико-механических свойств материала или системы материалов верха, коэффициента трения заготовки о поверхность колодки, угла формования, формы колодки и условия закрепления края заготовки в клещах затяжных машин.

Систему уравнений, описывающую напряженно-деформированное состояние заготовки при моделировании процесса формования на торовой поверхности, элементами которой аппроксимируются участки носочно-пучковой части колодки, можно представить в виде дифференциальных.

В работах Козлова А. З. в целях упрощения расчета нелинейная система уравнений была заменена линейной. Анализ полученных данных показал, что результаты решения системы уравнений в линеаризованном виде, по разработанным алгоритмам, не отражают реальной картины напряженно-деформированного состояния материала верха при формовании.

В исследованиях, проведенных Сухарниковым В. Н. и Жаровым А. Н. [2.19], оценивали взаимное влияние коэффициента трения, геометрической характеристики модели поверхности и угла формования на значения параметров оптимизации деформации вдоль параллелей и меридианов, а также на удельную нагрузку вдоль параллелей и меридианов. При проведении эксперимента моделировался процесс формования

материала верха обуви с определенными физико-механическими показателями на торовую поверхность разной степени шероховатости и геометрии при изменении угла формования в заданном интервале.

В результате работы получены уравнения, адекватно описывающие процесс формования заготовки верха обуви на модели колодки при любом изменении независимых переменных в исследуемом интервале. Из анализа уравнений следует, что геометрическая характеристика модели и текущий угол формования, в большей степени, чем коэффициент трения, влияют на значения параметров оптимизации. При возрастании величины геометрических характеристик модели значения всех параметров оптимизации уменьшаются. С увеличением угла формования значения величин деформаций и удельных нагрузок вдоль параллелей снижаются, а значения тех же величин вдоль меридианов растут. Эти выводы согласуются с существующими представлениями о сущности процесса формования.

Для практических расчетов получена нормализованная математическая модель процесса формования, с помощью которой можно рассчитать значения величин деформаций и удельных нагрузок при изменении коэффициента трения, геометрической характеристики модели, текущего угла формования в пределах существующих значений в производстве обуви.

Таким образом, была разработана методика, позволяющая проводить качественный анализ процесса формования и получать численные значения величин, характеризующих этот процесс с достаточной для инженерных расчетов точностью.

В статье Щербакова В. В., Калиты А. Н., Рухадзе Г. К., Полищука В. А. [2.21] проведено исследование влияния подкладочных и межподкладочных материалов на формоустойчивость систем материалов с верхом из синтетической кожи (СК-8) при одноосном и двухосном симметричном растяжениях. Формоустойчивость оценивали величиной относительных остаточных удлинений после пролежки в течение 7 суток.

Исследование влияния подкладочных и межподкладочных материалов на относительные остаточные удлинения систем материалов позволило установить ряд закономерностей. Они могут быть использованы при проектировании и выпуске обуви с верхом из синтетических кож, разработке новых способов ее изготовления и лабораторного метода оценки формоустойчивости обуви.

В работе Калиты А. Н. и Щербакова В. В. [2.22] исследовалось влияние основных режимов формования на формоустойчивость ряда систем материалов, которую оценивали величинами относительных остаточных удлинений. При эксперименте один из факторов процесса формования верха обуви из СК – степень увлажнения подкладки острым паром – был застabilизирован; влажность ее во всех опытах была

равной 20 %.

В работе было установлено, что при двухосном симметричном растяжении выявлены те же закономерности влияния режимов термофиксации, дублирования межподкладкой, а также тягучести материалов, что и при одноосном растяжении. Поэтому в дальнейших работах при определении влияния методов и режимов формования на остаточные деформации можно обоснованно пользоваться более простым видом растяжения – одноосным. К тому же режимы формования, правильно выбранные при одноосном растяжении, будут обеспечивать формоустойчивость материалов при двухосном растяжении, так как значения относительных остаточных удлинений для одноосного растяжения несколько меньше, чем для двухосного. Напротив, выбор режимов формования при двухосном растяжении может не обеспечить формоустойчивости тем участкам заготовки, где преобладающим видом растяжения является одноосное.

В работе использовалось центральное композиционное ротативное планирование второго порядка. При анализе полученных уравнений авторы отмечают, что выбор режимов формования по результатам исследований только самой синтетической кожи оказался недостаточно правильным. Также было установлено, что необходимо ориентироваться не только на СК, но и на материал подкладки. Поэтому можно предположить, что величины температуры и продолжительности термофиксации, которые применялись на обувных предприятиях, выпускающих обувь с верхом из синтетических кож, не всегда обеспечивают необходимую ее формоустойчивость.

Таким образом, в данной статье были приведены некоторые закономерности и рекомендации, которые необходимо учитывать при изготовлении формоустойчивой обуви с верхом из синтетических кож, а также при проведении аналогичных лабораторных исследований.

В монографии Адигезалова Л. И. и Шварца А. С. [2.9] достаточно подробно изложен материал, связанный с интенсифицированными методами сушки обуви и их влиянием на ее формоустойчивость. При исследовании авторы применяли следующее оборудование и приборы: термодиффузионную установку лабораторного типа для увлажнения передней (носочно-пучковой) части заготовок верха обуви; сорбционную установку лабораторного типа для увлажнения заготовок верха обуви; конвективную сушильную установку лабораторного типа; установку для радиационной и радиационно-конвективной сушки обуви с комплектом приборов для измерения радиационных потоков.

Для исследования релаксационных процессов в материалах и системах были использованы прибор для измерения релаксации деформации (пластиметр) и прибор для измерения релаксации напряжения. При разработке методики учитывалась неразрывная связь отдельных опера-

ций технологического цикла производства обуви как предшествующих, так и осуществляемых после тепловой фиксации затянутых заготовок.

В ходе экспериментов проводились: сравнительное исследование влияния различных методов тепловой фиксации на последующую формоустойчивость системы материалов верха обуви; сравнительное исследование влияния на формоустойчивость обуви времени пребывания системы материалов верха обуви в затянутом состоянии после тепловой фиксации; изучение особенностей достижения обувью гигротермического равновесного состояния с окружающей средой после снятия обуви с колодки. Объектами исследования были системы материалов, имитирующие верх кожаной обуви.

Радиационную и радиационно-конвективную обработку обувных материалов проводили при равных интегральных плотностях лучистого потока. Изменение массы (веса) в процессе тепловой фиксации измеряли взвешиванием. Выбор продолжительности воздействия на затянутые заготовки интенсивной обработки (радиационным и радиационно-конвективным методами) был обусловлен предварительными экспериментами, целью которых являлось получение максимальной скорости влагоудаления при минимуме вредного воздействия на показатели физико-механических и других свойств материалов.

Сравнительно небольшой по времени выстой систем после тепловой фиксации способствует заметному повышению коэффициента формоустойчивости, что связано с интенсивностью процесса релаксации напряжений. Пересушивания отдельных частей заготовки при инфракрасном облучении можно избежать при соответствующей ее ориентации относительно излучателя. При этом зоны максимального облучения должны соответствовать частям заготовки, имеющим повышенное начальное влагосодержание (носочно-пучковая и пяточная части), зоны нагрева меньшей интенсивности – частям заготовки со сравнительно малым начальным влагосодержанием.

Комбинированный радиационно-конвективный метод позволяет достичь рационального распределения зон нагрева при непосредственном расположении заготовки относительно излучателя: носочно-пучковая и пяточная части заготовки подвергаются более интенсивному нагреву инфракрасными лучами и нагретым воздухом, а геленочная – менее интенсивному конвективному нагреву в результате движения нагретого воздуха на участке поверхности заготовки, на который инфракрасные лучи не попадают. В зонах наиболее интенсивного нагрева частей заготовки с повышенным начальным влагосодержанием как релаксационные процессы, так и влагоудаление протекает быстрее; в зонах менее интенсивного нагрева частей заготовки с пониженным начальным влагосодержанием происходящие процессы характеризуются, в основном, только релаксационными явлениями при незначительном сниже-

нии влагосодержания. При рационально выбранной величине облученности и соответствующем расположении зон нагрева поверхности заготовки можно достичь релаксации напряжений в заготовке и примерно равного конечного содержания влаги во всех деталях верха обуви.

В статье Воронова Н. Ф. и Иванова М. Н. [2.25] излагаются результаты построения математических моделей процесса формования заготовок обуви из корфама и их исследование. Для построения функций откликов выбран центральный композиционный ротатбельный план второго порядка, в результате реализации которого определялись коэффициенты полиномиальных уравнений. В качестве критериев оценки режимов формования авторами были выбраны: показатель относительной остаточной деформации корфама через одни сутки, %; то же, через семь суток; условный модуль упругости при 10 %-ном удлинении, МПа; относительное удлинение при разрыве, % и напряжение при разрыве, МПа. Через 5 мин после растяжения производилась термофиксация образцов. Общее время выдержки в растянутом состоянии – 60 мин.

Предварительный анализ полученных авторами математических моделей показал, что с увеличением температуры и продолжительности термофиксации, а также величины начальной деформации происходит увеличение показателей относительной остаточной деформации и модуля упругости корфама, но разрывное удлинение уменьшается. Наиболее сильное влияние на значения остаточной деформации и модуля упругости оказывает температура. В меньшей степени они зависят от продолжительности термообработки и величины деформации материала. Зависимость разрывного удлинения от изучаемых параметров в области эксперимента – линейная.

Полученные результаты авторы объясняют особенностями структуры материала. Корфам является характерным представителем многослойных синтетических материалов, основа которых содержит слой армирующей ткани. Ткань находится между нетканой волокнистой основой из полиэтилентерефталатных волокон, пропитанных полиэфируретаном, и лицевой полиэфируретановой пленкой. Механические свойства подобных материалов в значительной мере определяются свойствами нетканой основы и армирующей ткани.

Изменение температурно-временных условий вызывает перемещение структурных элементов во всех слоях материала в направлении действующей силы и их перестройку с образованием новых элементов измененной структуры. Возникновение и развитие новых элементов структуры полностью обуславливается изменением технологических режимов формования. С увеличением температуры и продолжительности термофиксации происходит повышение жесткости и уменьшение подвижности составляющих корфам структурных компонентов, что приводит к росту доли пластических деформаций и снижению разрыв-

ного удлинения.

Наблюдаемые в области эксперимента экстремальные значения деформации объясняются, главным образом, особенностями деформационных свойств ткани, хотя нельзя полностью исключать действие упругих сил растяжения волокнистой основы и лицевой пленки. При термофиксации скорость протекания и глубина завершения релаксационных процессов в различных слоях неодинаковы из-за различия термоупругих свойств составляющих корфам компонентов. При одних и тех же режимах термообработки можно ожидать большей степени релаксации остаточных напряжений в полимерной пленке и волокнистой основе, чем в ткани. Это может быть причиной возникновения значительных остаточных напряжений в пограничных слоях.

После охлаждения материала и снятия деформирующего усилия волокна в нетканой основе и тканевая прослойка удерживаются в растянутом состоянии полимером связующего. Поэтому все эти компоненты оказываются напряженными. Очевидно, что до определенного момента действие возникающих при формовании внутренних напряжений компенсируется силами взаимодействия пограничных слоев и возрастанием жесткости нетканой основы. Увеличение доли пластических деформаций с возрастанием общей деформации растяжения материала при формовании происходит до тех пор, пока уровень внутренних напряжений не превысит сил взаимодействия на границах «ткань – полимерное связующее – волокна».

Таким образом, авторами было установлено, что геометрическая интерпретация полученных моделей способствует не только решению компромиссных задач, но и позволяет получить наглядное представление о закономерностях изменения изучаемых показателей в области эксперимента.

В статье Иванова М. Н., Гронской Э. В., Синаюка Д. А. [2.26] приведено исследование изменения деформационно-прочностных свойств синтетической кожи СК-2, а также систем на ее основе при деформации и тепловой фиксации, а также при последующем утомлении (многоцикловом нагружении).

В процессе утомления как образцов СК-2, так и систем на ее основе, существенных изменений в деформационно-прочностных свойствах не наблюдается, они находятся в пределах изменений, которые произошли в процессе термофиксации. Следовательно, деформационно-прочностные свойства заготовки в готовой обуви определяются главным образом режимом формования. Величина и кратность деформации в исследованных режимах, а также увлажнение не оказывают существенного влияния на изменение прочности и растяжимости систем и, следовательно, на свойства готовой обуви.

Таким образом, авторами было установлено, что после формова-

ния пакетов из СК-2 и тик-саржи уменьшается прочность и растяжимость систем, особенно в поперечном направлении материалов. Величина и кратность одноосного растяжения, а также увлажнение материалов до термофиксации не влияют на деформационно-прочностные свойства систем. При термофиксации с помощью ТЭНов наблюдается значительно меньшее изменение прочности и растяжимости систем, чем при конвективной термофиксации.

Ивановым М. Н., Гронской Э. В., Синаюком Д. А. [2.27] методом латинских квадратов была исследована кинетика накопления и релаксации остаточной деформации при одноосном растяжении плоских образцов из СК-2, а также многослойных систем, состоящих из СК-2, тик-саржи и клеевого слоя.

При исследовании учитывали три фактора, определяющие кинетику накопления остаточной деформации: материал образцов, технологические параметры тепловой стабилизации (увлажнение, способ термофиксации), величину и кратность деформации одноосного растяжения. Каждый из факторов был взят на нескольких уровнях (от трех до пяти). Факторы были сгруппированы так, чтобы соблюдалось условие применения латинского квадрата, то есть отсутствовало взаимодействие между ними.

Как однослойные, так многослойные термостабилизированные образцы, увлажненные перед растяжением, сохраняют несколько большую заданную деформацию по сравнению с неувлажненными, а остаточная деформация увеличивается на 2–12 %. Положительный эффект от увлажнения проявляется также в значительном уменьшении усилия деформации как однослойных, так и многослойных образцов, что особенно существенно для последних, так как усилие деформации неувлажненных систем составляет от 50 до 75 % от разрывного.

Возникающие в процессе формования изменения исходной структуры и свойств обувных материалов играют важную роль в формировании комплекса эксплуатационных свойств деталей верха готовой обуви. В связи с этим ряд исследователей уделяли большое внимание изучению закономерностей изменения механических свойств синтетических материалов для верха обуви под влиянием режимов формования.

Ранее такое исследование было проведено Вороновым Н. Ф. и Ивановым М. Н. [2.28] с синтетической кожей корфам. Механические свойства корфам в значительной мере обуславливались наличием слоя армирующей ткани. В дальнейшем они изучали свойства синтетических кож, не содержащих армирующей ткани.

В данной работе авторами [2.29] в качестве объектов исследования выбраны синтетические кожи СК-8 и кларино марки 1000. Для прогнозирования изменений механических свойств синтетических кож при формовании верха обуви в зависимости от условий проведения процес-

са было необходимо построение математических моделей, в которых технологические параметры увязаны с изучаемыми свойствами. Поэтому были получены математические модели, характеризующие основные механические свойства СК-8 и кларино после выполнения операций формования.

В результате исследований было показано, что одна и та же величина формоустойчивости материалов может быть получена за счет увеличения температуры и сокращения продолжительности термофиксации и наоборот. Например, значение относительной остаточной деформации через неделю после обработки синтетической кожи СК-8, равное 65 %, можно получить при температуре 135 °С и продолжительности термофиксации 5 мин, а также при температуре порядка 115–120 °С и продолжительности 13–16 мин. Это обстоятельство позволяет варьировать параметры термообработки верха затянутой обуви с учетом такта работы потока. При этом, кроме того, следует учитывать степень изменения остальных механических свойств материалов верха. Очевидно, что в каждом конкретном случае могут назначаться различные сочетания технологических параметров процесса формования в зависимости от комплекса требований, предъявляемых заказчиком к эксплуатационным свойствам обуви. Поэтому поиск условий проведения процесса формования с целью получения требуемого качества связан с необходимостью решения компромиссных задач.

При производстве изделий из кожи наиболее важным технологическим процессом является формование. Поскольку формование изделий из синтетических кож связано с термическими и механическими воздействиями на материал, нужно знать влияние температуры и нагрузки на структурно-механические свойства синтетических кож [2.30].

Первая стадия термофиксации характеризуется «расслаблением» структуры синтетических кож, в результате этого структурные элементы в отдельных слоях материала перестраиваются и ориентируются в направлении приложенной извне деформации. Благодаря этому происходит основной спад напряжений, возникших в синтетических кожах при формовании.

Из-за различия в структурно-механических и термоупругих свойствах нетканой основы, пленочного покрытия и ткани релаксация напряжений в этих слоях происходит с различной скоростью. Различия в скорости релаксации определяются также условиями теплопередачи. В результате плохой теплопроводности полимеров по сечению синтетических кож возникает значительный градиент температур, усугубляющий разницу в напряженности отдельных слоев и общую напряженность материала.

Вторая стадия термофиксации является основной. Она характеризуется постепенным восстановлением межмолекулярных связей, фикси-

рующих деформированные цепи и более крупные структурные элементы в новом положении. Объясняется это тем, что при повышенной температуре активизируются условия взаимодействия групп полимеров. Поскольку вероятность «зацепления» активных групп зависит от температуры и продолжительности нагрева, а также степени деформации, влияние этих факторов на результаты термофиксации в определенных пределах компенсируется. Возможно, что на этой стадии термофиксации происходит и некоторое структурирование полимерных компонентов синтетических кож.

На третьей стадии термофиксации происходит закрепление новой структуры материала путём охлаждения его до температуры цеха. В результате охлаждения образующиеся адгезионно-когезионные связи фиксируют неравновесную структуру синтетических кож, в которой отдельные слои испытывают различные напряжения. Резкого разграничения между различными стадиями процесса термофиксации нет. В зависимости от свойств материала и режимов его обработки «расслабление» структуры может занимать по времени часть второй, основной, стадии. Поэтому присущие каждой из них структурные преобразования могут протекать одновременно. Повышение температуры, с одной стороны, ускоряет релаксацию напряжений, с другой стороны – приводит к усилению межмолекулярных взаимодействий структурных элементов материала, что замедляет релаксацию этих напряжений.

Таким образом, при термофиксации синтетических кож протекают два противоположных процесса: релаксация внутренних напряжений и усиление прочности связи структурных элементов. Оба процесса носят терморелаксационный характер, поэтому, варьируя режимы термофиксации, можно регулировать соотношение скоростей релаксации напряжений в фиксации структуры синтетических кож. Однако возможность такого регулирования затрудняется существенным отличием релаксации напряжений в отдельных слоях синтетических кож, а также на границах между ними. В итоге, после охлаждения материала в нем могут оставаться значительные по величине внутренние напряжения.

Для специалистов обувной промышленности, занятых изготовлением обуви из синтетических кож, полученные результаты представляют интерес главным образом с той точки зрения, что они позволяют более обоснованно подходить к выбору режимов температурных и механических воздействий на синтетические кожи в процессе формования.

Выбор рациональных технологических режимов должен основываться на результатах термомеханических испытаний не только исходных синтетических кож, хотя эти результаты и позволяют определять возможные интервалы температур формования и термофиксации материалов. Не менее важно при этом учитывать особенности термомеханических свойств, подвергнутых предварительному растяжению и

термообработке синтетических кож, уделяя повышенное внимание начальному участку термомеханических кривых, где условия испытаний образцов соответствуют условиям носки обуви.

Следует отметить практическое значение полученных автором результатов для оценки способности синтетических кож к формованию. В настоящее время способность материалов для верха обуви к формованию растяжением оценивается по кривым «удлинение – нагрузка», записанным на динамометре при нормальной температуре. Влияние повышенных температур на деформационные свойства материалов в этом случае совершенно не учитывается.

Суждение о формовочных свойствах синтетических кож, основанное только на анализе кривых «удлинение – нагрузка», является не совсем объективным, поскольку кривые растяжения различных синтетических кож могут совпадать между собой и даже с кривой растяжения натуральной кожи. В то же время результаты термомеханических испытаний синтетических кож показывают, что при нагревании характер механического поведения этих материалов значительно отличается от натуральных кож. Из этого следует вывод, что объективная оценка формовочных свойств синтетических кож может быть получена только с учетом влияния на указанные свойства повышенных температур. В зависимости от назначения эти испытания могут проводиться как при двухосном, так и при одноосном растяжении.

Таким образом, результаты проведенных автором исследований, позволяют рекомендовать термомеханический метод в качестве дополнительного метода оценки деформационных свойств синтетических кож.

Установленные выше закономерности изменения термдеформационных свойств синтетических кож могут быть использованы при прогнозировании эксплуатационных свойств (усадка) деталей верха обуви из изученных материалов, учтены при конструировании обуви и проектировании оборудования для ее термообработки.

В статье Гвоздевской В. А., Адигезалова Л. И., Шварца А. С. [2.31] приводятся результаты исследований по определению оптимальной величины начальной деформации с учетом релаксации напряжений. Исследования проводили с применением многоосного релаксометра на образцах из выростка хромового дубления.

По результатам эксперимента были построены зависимости изменения коэффициента формоустойчивости от остаточных напряжений во времени при различных величинах начального приращения площади образца (10–30 % от первоначальной площади).

Зависимости показывают, что максимальный коэффициент формоустойчивости наблюдается при начальной деформации по площади, равной 20 % при минимальных остаточных напряжениях. При дальней-

шем увеличении начальной деформации коэффициент формоустойчивости уменьшается, а остаточное напряжение увеличивается.

Можно предположить, что взаимное перемещение молекулярных цепей и более крупных элементов структуры кожевенного волокна заканчивается при вытяжке по площади на 20 %. Наряду с этим происходит молекулярная перегруппировка в направлении восстановления равновесной ненапряженной структуры кожи.

При вытяжке более 20 % происходит как повышение остаточного напряжения, так и возрастание формующего усилия. Это объясняется растяжением структурных элементов кожи, в которой преобладают упругие деформации как результат структурных преобразований.

Проведенные исследования авторов позволяют сделать следующие выводы: оптимальная величина начальной деформации по площади для выростка хромового дубления составляет 20 %, то есть 40 % от величины приращения площади при разрыве. При этом достигаются достаточно высокие значения остаточной деформации кожи. Подтверждается, что остаточное напряжение, как и показатель формоустойчивости, характеризует эффективность проведения фиксации формы обуви различными методами.

Прогрессивным направлением в технологии обуви является предварительное формование заготовок верха [2.60]. Особенно эффективно оно для заготовок из искусственных мягких кож. В процессе предварительного формования листовой (плоский) материал нагревается до высокой температуры, затем формуется на пуансоне, приблизительно соответствующем форме той колодки, на которой будет окончательно формироваться заготовка верха обуви. Преимущество такого метода в том, что, наряду с повышением формоустойчивости обуви, достигается значительная экономия материалов: от 10 до 20 %.

Способы и режимы испытания формовочных свойств искусственных и синтетических кож должны быть приближены к условиям формования верха обуви из этих материалов. Исследования Воронова Н. Ф. показали, что характер деформации искусственных материалов различен при нормальной и повышенной температурах. В связи с этим возникает необходимость в разработке приборов и методов оценки формовочных свойств ИК и СК в широком интервале температур. Автором были изготовлены приборы и разработаны методики испытания искусственных материалов на ползучесть при одно- и двухосном растяжении под действием постоянного напряжения (нагрузки) и различных значениях температур [2.32, 2.33].

Способ, предлагаемый в работе Воронова Н. Ф., Иванова М. Н. и Шварца А. С., заключается в изучении кинетики деформации СК во времени при двухосном постоянном нагружении образцов при различных фиксированных значениях температуры и нагрузки, а также в ана-

лизе производственных показателей, полученных из кривых ползучести. Методику испытания СК на двухосное растяжение отрабатывали на примере одной из разновидностей этого способа - продавливании шариком, однако она может быть использована и при растяжении полусферическим пуансоном.

В статье Воронова Н. Ф. [2.34] была показана пригодность разработанного им способа не только для оценки деформационной устойчивости СК под действием различных по величине нагрузок и температур, но и для более углубленной характеристики релаксационных процессов в деформируемых материалах. Выяснение механизма этих процессов имеет важное значение для разработки теоретических основ и рациональных технологических режимов формования обуви с верхом из ИК и СК.

Полученные результаты автор объясняет молекулярно-кинетическими представлениями о процессах деформирования и разрушения полимерных материалов. Известно, что общая закономерность развития этих процессов сводится к тому, что их скорость зависит от энергии связей, разрывающихся в элементарном акте, энергии теплового движения структурных элементов полимера и работы внешних сил. Доминирующую роль в процессе деформирования полимерных материалов играет тепловое движение структурных элементов, а влияние внешней силы сводится к тому, чтобы облегчить и расширить поле действия для тепловых флуктуаций.

Повышение температуры вызывает более интенсивное разрушение связей в результате флуктуаций тепловой энергии, вследствие чего растет деформация СК. Однако по мере развития деформации материала его структура и релаксационные свойства меняются, поэтому в определенном интервале температур осуществляется переход от одного механизма деформации к другому. Это сопровождается изменением значений кажущейся энергии активации процесса деформации с изменением температуры, что находит отражение в резком изломе прямых «логарифм деформации – обратная температура». Следует подчеркнуть, что значение кажущейся энергии активации процесса деформирования отражает изменение не только свойств материала, но и условий его деформирования.

Таким образом, предложенный Вороновым Н. Ф. способ определения температурных интервалов переходов ИК и СК из одного релаксационного состояния в другое позволяет получать на основе анализа кривых ползучести более всестороннюю характеристику формовочных свойств этих материалов в широком интервале температур и нагрузок и может быть рекомендован как дополнительный к уже существующим методам исследования формуемости ИК и СК.

В работе Кравченко А. Д. [2.61] были проведены исследования влияния релаксации напряжений хромовой кожи на формоустойчивость и эксплуатационные свойства обуви. Двухосное растяжение производили на гидростатическом динамометре давлением жидкости на образец через резиновую диафрагму. Автор отмечает, что остаточная деформация кожи закономерно повышается по мере увеличения деформации. При нагреве и отсутствии деформации она равна нулю, так как кожа при этом ведет себя как обычно увлажненная, а при деформации на 35 % она достигает 92–97 %. Было установлено, что повышение остаточной деформации кожи происходит при увеличении влажности лишь до 30 %, дальнейшее обводнение кожи не оказывает влияния на ее величину, а, следовательно, и приданную коже форму.

Влага и тепло в отформованной коже вызывают необратимые изменения, связанные с ослаблением или полным разрывом нестойких к действию влаги связей в белковых цепях. За этим разрывом следует образование новых связей с более высоким потенциальным барьером, приводящим к фиксации структуры кожи в новом, растянутом состоянии. Отсутствие новых связей, фиксирующих остаточную деформацию заготовки, то есть форму и размеры обуви при более высоком потенциальном барьере, привело бы к тому, что такая обувь под влиянием намокания и механических воздействий при ходьбе потеряла бы способность восстанавливать свою форму и размеры.

Внешним проявлением процесса фиксации остаточной деформации кожи, а, следовательно, формы и размеров обуви является степень релаксации напряжений. Иначе говоря, формоустойчивость обуви определяется остаточным напряжением, а, следовательно, и остаточной деформацией, зависимой от начального напряжения и влажности, то есть чем больше начальное напряжение и влажность, тем больше формоустойчивость обуви. Температура является ускорителем процесса фиксации.

Таким образом, при двухосном растяжении форсирование релаксации напряжений, увеличивающее площадь кожи, не ухудшает, а наоборот, улучшает ее эксплуатационные свойства. Учитывая, что формование и затяжка заготовки обуви сводятся к двухосной деформации, можно сделать вывод, что достигаемое остаточное увеличение площади заготовки в готовой обуви не снижает, а повышает ее формоустойчивость и эксплуатационные свойства.

Появляющиеся новые способы формования и основной сушки обуви с целью сокращения времени выдержки ее на колодке требуют тщательной проверки формоустойчивости обуви. Несмотря на важность этого показателя, он изучен еще недостаточно, особенно для обуви, изготовленной из искусственных и синтетических кож.

Известно, что вопросы формоустойчивости обуви из искусствен-

ных и синтетических кож решают обычно при помощи тепловой обработки. Однако, как установлено рядом исследований, важным фактором, влияющим на формоустойчивость изделий из искусственной и синтетической кожи, является не только тепловая обработка, но и предварительная влажно-тепловая обработка заготовок.

В работе Хомяка Н. Е., Луцыка Р. В., Толочко В. И., Гуменного Н. А., Слабоспицкого В. А. и Олейниковой В. В. [2.41] были приведены производственные исследования по влиянию увлажнения заготовок на изменение ширины затяжной кромки и на деформацию готовой обуви, которую можно оценить, в частности, приподнятостью носочной части.

Влажно-тепловую обработку заготовок проводили перед выполнением операции «обтяжка и клеевая затяжка носочно-пучковой части» перегретым паром при температуре 120–140 °С и продолжительности обработки 18–22 с. После выполнения операций формования заготовки на колодке измеряли ширину затяжной кромки в носочной части (по продольной оси следа колодки) и в сечении 0,8 длины следа колодки.

Величину приподнятости носочной части обуви измеряли после выполнения отделочных операций подошвы (когда обувь находилась на колодках), затем сразу после снятия обуви с колодки, после приемки обуви контролером ОТК (примерно через 30 мин после второго измерения) и через 24 ч после приемки обуви контролером ОТК.

Как показывали полученные данные исследования, ширина затяжной кромки увлажненных заготовок в затянутой обуви на 1,4 мм больше в носочной части и примерно на 2 мм больше в пучковой части по сравнению с неувлажненными заготовками. Среднее значение величины затяжной кромки в носочной части для неувлажненных заготовок на 5,4 мм больше нормативных (15 ± 1 мм), что, по всей видимости, было связано с нарушением условий правильного проведения обтяжно-затяжных операций. Однако при тех же условиях выполнения обтяжно-затяжных операций величина затяжной кромки увлажненных заготовок на 7 мм больше нормативных и примерно на 2 мм больше, чем у неувлажненных, что, вероятно, было связано с уменьшением величины усилий, требуемых для растяжения заготовки в продольном и поперечном направлениях.

Существенно влияет увлажнение заготовок и на приподнятость носочной части. Эта величина в некоторой степени может служить показателем формоустойчивости обуви. Для колодок с низкой приподнятостью пяточной части (высота каблука 20 мм) носочная часть следа колодки должна отстоять от опорной поверхности на 15 мм в точке минимального припуска по длине следа. После снятия обуви с колодок величина приподнятости носочной части претерпевает существенное изменение. Особенно резкое изменение этой величины наблюдается для неувлажненных заготовок в первые 30 мин после снятия обуви с коло-

док. Через 24 ч изменение величины приподнятости носочной части обуви в случае увлажненных заготовок составляет примерно 2,4 мм, а неувлажненных – 4,5 мм, то есть почти в 2 раза больше. Это свидетельствует о наличии в материале верха обуви этой группы больших по величине неотрелаксированных напряжений, которые стремятся привести систему в равновесное состояние путем подъема носочной части обуви. При увлажнении заготовок релаксационные напряжения, возникающие в процессе выполнения обтяжно-затяжных операций, меньше по величине и релаксируют значительно быстрее. В результате этого заготовки легче формуются на колодке, а последующая деформация носочной части меньше, чем у обуви, не подвергавшейся влажно-тепловой обработке.

При выполнении процесса затяжки заготовки на колодку было установлено, что синтетическая кожа СК-2 при увлажнении становится эластичнее, на затяжной кромке образуется меньше складок (особенно в носочной части), заготовка легче приформовывается к колодке, особенно на участке седловины и внутренней геленочной части колодки, то есть проведение влажно-тепловой обработки улучшает качество готовой обуви.

Коновал В. П. и Якубова Л. В. [2.42] использовали системный подход к исследованию операций термофиксации формы обуви. В соответствии с методологическим принципом исследования операций они предложили рассматривать производство обуви как большую сложную систему, обладающую многоступенчатой структурой, а отдельные технологические операции – как взаимосвязанные структурные составляющие этой системы.

Представляя технологический процесс как систему взаимосвязанных между собой операций, необходимо было описать свойства этой системы на двух уровнях: качественном и количественном. Качественный уровень образуется из параметров, описывающих функцию и структуру системы, а количественный – из параметров, численно определяющих свойства системы.

Структурную схему системы «технологический процесс» (СТП) авторы построили в общем виде, методом последовательного анализа выполнения технологического процесса, учитывая то, что основная задача построения СТП – это выделение взаимосвязи подсистем (технологических процессов), обеспечивающих формоустойчивость обуви.

Иерархическое строение структурной схемы СТП представлено в виде пяти уровней: I – процессы изготовления элементов обуви и оснастки; II – процессы обработки и подготовки элементов обуви к сборке; III – сборка узлов обуви; IV – сборка обуви; V – крепление низа и отделка обуви.

Для установления взаимосвязи элементов СТП, обеспечивающих

формообразование и формоустойчивость обуви, из нее авторы выделили группу соответствующих подсистем и образовали из них систему устойчивого формообразования обуви в виде трехуровневой иерархии: I – исходные элементы, образующие объект исследования и определяющие его свойства и состояние; II – элементы формообразования объекта исследования; III – элементы, фиксирующие форму объекта исследования.

Рассмотрение процессов формообразования и термофиксации в таком ракурсе дополняет полученные ранее авторами результаты и дает возможность выйти на управление процессами термофиксации формы обуви. Для математического описания процесса были составлены структурные матрицы параметров, характеризующих каждую подсистему и по ним составлена система уравнений, решение которой позволило произвести управление и оптимизацию процесса фиксации формы обуви.

Проведенные исследования ряда авторов показали целесообразность применения отрицательных температур для термофиксации формы обуви с верхом из синтетических кож. Охлаждение до низких температур нагретых после растяжения заготовок создает режим обработки, близкий к термоудару, что ускоряет релаксационные процессы и обеспечивает достаточно высокую остаточную деформацию.

Известно, что, нагрев СК выше оптимально допустимых температур приводит к деструкции материала и ухудшению физико-механических свойств. Выгодно от этого отличается влияние отрицательных температур на СК. Под воздействием отрицательных температур (вплоть до глубокого холода) в статическом состоянии материала не снижается прочность СК, а физико-механические свойства обратимы при возвращении к начальной (20–25 °С) температуре. Это объясняется упругопластическими свойствами полимеров, из которых изготовлены СК.

Целью работы Коновала В. П., Якубовой Л. В., Луцыка Р. В., Хомяка Н. Е. и Каштана В. С. [2.43] было исследование влияния термофиксации знакопеременными температурами на формоустойчивость образцов СК и дублированных заготовок обуви с верхом из СК. Задача заключалась в определении двух функций отклика по двум критериям оптимизации: коэффициент формоустойчивости дублированных СК, коэффициент формоустойчивости одиночных СК. В качестве постоянных влияющих факторов были приняты: температура нагрева, продолжительность нагрева, продолжительность охлаждения; в качестве переменных: температура охлаждения, удлинение материалов и систем. Объектами исследований были выбраны одиночные СК-8-Л, СК-8-К, дублированные термобязью, которые используются на обувных предприятиях для закрытых видов обуви.

Были получены математические модели, показывающие зависи-

мость коэффициентов формоустойчивости образцов СК и дублированных заготовок обуви с верхом из СК от величины деформации и температуры охлаждения. Анализ математических моделей показал, что формоустойчивость дублированных образцов выше недублированных. При этом средний коэффициент формоустойчивости для дублированных образцов по величине (0,964) близок к оптимальному, что свидетельствует об эффективности термофиксации заготовок с верхом из СК с помощью знакопеременных температур.

В результате исследования процесса термофиксации формы обуви с верхом из синтетических кож, проведенных под руководством Коновала В. П. [2.43, 2.44], были установлены факторы, влияющие на данный процесс. Наиболее весомые следующие: величина остаточного удлинения, зависящая от деформации при формовании и температурных режимов обработки, и величина отклонения от приданной при формовании формы, зависящая от величины деформации, температурных режимов и дублирования заготовки. Величина отклонения от формы при исследованиях выражалась коэффициентом формоустойчивости.

Для расчета оптимальных параметров процесса термофиксации формы обуви необходимо было обобщенное решение этих многофакторных зависимостей, выраженных тремя регрессионными математическими моделями, полученными по трем функциям отклика, где факторами были: температура нагрева; температура охлаждения при исследовании остаточного удлинения; продолжительность охлаждения при исследовании остаточного удлинения; температура охлаждения при исследовании величины отклонения от формы; величина деформации при исследовании отклонения от формы; а параметрами оптимизации: остаточное удлинение, коэффициент формоустойчивости соответственно для недублированных и дублированных заготовок.

Для проведения расчетов на ЭВМ был разработан алгоритм. Реализация алгоритма осуществляется с использованием математических моделей, выражающих влияние знакопеременных температур при термофиксации на остаточное удлинение материала заготовок.

Авторы предложили, что, если полученные значения коэффициента формоустойчивости не удовлетворяют допустимым, необходимо идти на изменение физико-механических показателей СК, то есть переходить к другим видам СК и системам материалов. Разработанный алгоритм можно использовать и для других марок СК.

Как показали проведенные исследования и расчет технологических режимов формования и термофиксации формы для заготовок, необходимо соблюдать следующие условия: при формовании растяжение заготовок не должно выходить за пределы пластической деформации СК, которые составляют не более 2–4 %; для получения наилучшего эффекта формоустойчивости обуви необходимо применять дублирова-

ние заготовок и знакопеременные температуры при термофиксации формы.

Существенную роль в исследовании процессов формования внесли ученые Каунасского политехнического института. Исследования, проведенные Батисене М. Ю. и Кирейлене Д. А. [2.45], посвящены влиянию влажности на формовочные свойства заготовок верха обуви. О формоустойчивости обуви судили по величине остаточных деформаций образцов и по показателю изменения формы обуви, определенным профилографическим методом. Степень отдушистости кожи определяли измерением толщины согнутых сосочковым слоем внутрь и распрямленных образцов, вырезанных из союзочной части обуви. Прочность связи между слоями кожи определяли расслаиванием образцов по переходной зоне между сосочковым и сетчатым слоями.

Измерение степени отдушистости кожи союзочной части заготовок после формования и снятия обуви с колодок показало, что эластичные кожи более подвержены отдушистости, чем обычные кожи. С увеличением влажности заготовок степень отдушистости кожи уменьшается по сравнению с кожей заготовок, формованных в воздушно-сухом состоянии. Для эластичных кож отдушистость практически не появляется при относительной влажности заготовок 24–26 %, для обычных кож – при влажности 20–22 %. При меньшей влажности во время формования на деталях верха возрастает возможность возникновения ярко выраженной отдушистости (отдушистость считается незначительной до 30 %, средней с 30 до 60 % и ярко выраженной – более 50 %).

Исследование прочности связи между сосочковым и сетчатым слоями кожи заготовок при формовании показало, что, в зависимости от вида кожи и влажности заготовок, этот показатель находится в пределах 17–33 Н (средняя прочность связи между слоями кожи контрольных образцов, не подвергнутых формованию, составляет для эластичных кож 22,1 Н, для обычных – 34,8 Н). Следует отметить, что эластичные кожи характеризуются меньшей прочностью связи между слоями кожи по сравнению с обычными.

С увеличением влажности заготовок прочность связи между слоями кожи обоих видов увеличивается и приближается к прочности связи между слоями образцов, не подвергнутых формованию. При этом степень отдушистости уменьшается.

Исследования формоустойчивости эластичных и обычных кож в зависимости от их влажности во время деформирования показали, что эластичным козам во всех случаях свойственны меньшие остаточные деформации и больший коэффициент изменения формы обуви. Эти данные свидетельствуют о меньшей формоустойчивости эластичных кож по сравнению с обычными. С увеличением влажности заготовок формоустойчивость кож обоих видов увеличивается. Остаточные де-

формации увеличиваются, и коэффициент изменения формы уменьшается. При этом разница между показателями формоустойчивости эластичных и обычных кож увеличивается (в пользу обычных кож).

Проведенные исследования показали, что заготовки, выкроенные из эластичных кож, нуждаются в увлажнении не менее, чем заготовки из обычных кож. Хотя заготовки из эластичных кож довольно легко деформируются в воздушно-сухом состоянии и вероятность появления трещин лицевого слоя эластичных кож при этом значительно меньше по сравнению с обычными, но формование в воздушно-сухом или в малоувлажненном (до 20 %) состоянии вызывает ослабление связи между слоями кожи и возникновение отдушистости, а также не обеспечивает необходимой формоустойчивости обуви. Поэтому для обеспечения выпуска качественной обуви из эластичных кож необходимо, чтобы влажность заготовок при формовании была не менее 24–26 %.

Свойства систем обуви из натуральной и искусственной кожи во многом определяются характеристиками составляющих ее элементов и влиянием на них внешних воздействий – тепла, влаги, нагрузки и др. Для прогнозирования направления изменения деформационных свойств системы при изменении свойств ее элементов Оржякаускасом П. Й., Пекарскасом В.-П.В. и Раяцкасом В. Л. была разработана методика и проведен эксперимент [2.46].

В статье рассматривались различные аспекты прогнозирования деформационных свойств системы материалов, соединенных последовательно, в зависимости от свойств материалов, взятых в отдельности, в предположении, что кривые растяжения материалов и их системы описываются степенным уравнением.

Объектом исследования служила система из натуральной и искусственной кожи, испытываемая в нормальных условиях. Были получены кривые растяжения и уравнения для ИК, НК и для системы. Далее объектом исследования служила система из ИК и НК, но перед растяжением обработанная паровоздушной смесью.

В результате получили, что относительная деформация системы последовательно соединенных элементов меньше относительной деформации наиболее податливого элемента: она возрастает пропорционально увеличению податливости одного из элементов. Интенсивность роста относительной деформации с увеличением нагрузки для системы меньше, чем для одного из элементов, и интенсивность роста относительной деформации системы увеличивается с увеличением разницы между значениями показателя степени уравнения. Для увеличения интенсивности роста относительной деформации системы должны выполняться следующие условия: во-первых, относительная деформация одного из элементов должна возрастать; во-вторых, интенсивность приращения этой деформации для упомянутого элемента должна быть

больше, чем для другого; интенсивность роста относительной деформации системы возрастает, если при возрастании податливости одного из элементов прирост относительной деформации для этого элемента идет быстрее, чем для другого, либо когда при уменьшении податливости одного из элементов прирост относительной деформации для этого элемента идет медленнее, чем для другого.

Разработанная авторами методика позволяет по функциональным зависимостям, которым подчиняются деформационные свойства элементов системы, прогнозировать поведение самой системы в зависимости от различных внешних факторов.

Целью работы Оржякауска П. Й., Пекарскаса В.-П. В., Раяцкаса В. Л. [2.47] было установление количественных зависимостей деформационных свойств натуральной и искусственной кож, а также системы, составленной из них при совместном влиянии нагрузки и влажности, а затем нагрузки и температуры. Это представляет интерес как для определения оптимальных размеров деталей верха на стадии их проектирования, так и для оптимизации процесса формования верха обуви.

Объектами исследования служили образцы из натуральной кожи (выростка хромового дубления) и из ИК (винилискожи-Т) размером 150×20 мм, рабочая длина образца 100 мм. Деформационные свойства определяли на разрывной машине, снабженной термокамерой (для исследования влияния температуры). Скорость растяжения образцов во всех случаях одинаковая – 100 мм/мин.

В процессе исследования установлены: уравнение зависимости коэффициента удлинения от влажности для натуральной кожи и уравнение зависимости интенсивности роста деформации. Зависимость коэффициента показателя степени, характеризующего интенсивность роста деформации от влажности, была аппроксимирована параболой. Было установлено, что при увеличении влажности примерно до 25 % интенсивность прироста деформации увеличивается до 0,88, затем снижается (хотя абсолютное значение деформации увеличивается). Полученный авторами результат согласуется с известным фактом, что влага существенно влияет на деформационные свойства натуральной кожи лишь в пределах до 25 %.

Аналогичным способом были найдены уравнения, описывающие экспериментальные кривые растяжения для искусственной кожи, и уравнения для семейств кривых, которые отображают зависимость деформации натуральной и искусственной кож от нагрузки и температуры.

Дальнейшие исследования были посвящены прогнозированию деформационных свойств системы из натуральной и искусственной кож, полученной путем последовательного соединения элементов, по результатам лишь испытания материалов без испытания самой системы.

В результате были выведены уравнения, которые связывают деформационные характеристики материалов с характеристиками системы. Установлено, что удлинения системы возрастают при увеличении влажности. Интенсивность прироста деформации для системы достигает максимума примерно при тех значениях влажности, при которых прирост деформации максимален для наиболее податливого элемента системы.

Сравнив результаты исследования зависимостей деформационных свойств от влажности и температуры, авторы пришли к выводу, что характер влияния влаги на эти свойства сложнее, чем влияния температуры.

Известно, что строение шкур и механические свойства кож зависят от возраста, пола, массы, особенностей кормления животных. При этом обычные и эластичные кожи, выработанные из шкур одинаковых развесов, также отличаются показателями механических свойств [2.48].

В связи с этим Арцишаускайте Р. В. и Раяцкасас В. Л. была исследована формуемость кож, выработанных из различного вида шкур крупного рогатого скота. В данной работе формуемость характеризовали величиной релаксации напряжений и остаточных деформаций при растяжении образцов кожи в воздушно-сухом и увлажненном состояниях.

В качестве объекта исследования авторами были выбраны кожи хромового дубления для верха обуви, выработанные из шкур крупного рогатого скота разного пола и возраста следующих развесов (масса шкур, кг): выросток – до 10; яловка – 13–17 и 25–30; бычина – 17–25 и 25–30; эластичная кожа из бычины – 25–30. Все кожи для исследований, кроме выростка и эластичной кожи, выработаны в одной производственной партии. Для испытаний отбирали по четыре кожи из каждого вида сырья. Образцы формы двусторонней лопатки были выкроены из чепрачной части кож. Средняя толщина для выростка – 0,9–1,1 мм, для остальных кож – 1,4–1,6 мм.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что кожи, выработанные из шкур крупного рогатого скота различных развесов, имеют разные формовочные свойства. В итоге авторы констатируют, что кожи, выработанные из тяжелого сырья, в воздушно-сухом состоянии формуются легче, чем кожи из легкого сырья; влияние влаги на релаксацию напряжений в образцах кожи из легкого сырья более значительно, чем из тяжелого; при одинаковой деформации напряжения в эластичной коже примерно в два раза меньше, чем в обычной (кожи, выработанные из шкур одинаковых развесов); для кож, изготовленных из сырья различных развесов, оптимальные технологические параметры формования обуви должны отличаться и уточняться.

Если анализировать публикации последних 10–20 лет, то можно с

уверенностью сказать, что одним из лидеров в исследовании процессов формования, а именно, увлажнения, собственно формования и затяжки обуви, а также фиксации ее формы является учреждение образования «Витебский государственный технологический университет». Это, прежде всего, работы, проводимые под руководством Горбачика В. Е. на кафедре «Технология и конструирование изделий из кожи» и Ольшанского В. И. в области фиксации формы обуви. Приведем некоторые из работ, опубликованных за последнее время [2.49–2.54].

Представляют значительный интерес работы в области исследования процесса формования вытяжных союзов, проведенные Загайгорой К. А. и Максиной З. Г. Актуальность данных исследований очевидна, так как после операции «предварительное формование союзов» приходится отбраковывать до 20 % деталей за счет появления дефектов: отдушистость, стяжка лица и замины на продольной оси детали.

В результате проведенных авторами исследований было установлено, что значительное количество натуральных кож не соответствует по своим показателям требованиям ГОСТ 939-94 «Кожа для верха обуви. Технические условия» [2.62]. Для более достоверной оценки свойств кож ими был предложен метод, основанный на использовании ГОСТ 29078-91 «Кожа. Метод испытания сферическим растяжением» [2.63].

По результатам работы было сделано заключение о том, что необходимо ужесточить входной контроль качества кож, используя для этого как одноосное, так и двухосное растяжение. Полученные данные можно в дальнейшем использовать для определения целесообразности применения конкретных видов кожтовара для производства обуви с вытяжными союсками.

Кроме того, авторы исследовали факторы, влияющие на качество предварительного формования союзов. Как показали предварительные исследования, это задача многофакторная, зависящая от свойств кожи и от режимов предварительного формования. Для решения задачи оптимизации предварительного формования союзов было использовано планирование эксперимента с построением регрессионной модели изучаемого процесса.

В качестве критерия оценки качества выполнения операции было выбрано соответствие профиля отформованной детали профилю контрольного шаблона. Была составлена матрица полного факторного эксперимента (ПФЭ 2^3) для трех факторов: температура ножей, время формования, плотность межподкладки.

Анализ полученного уравнения регрессии позволил авторам сделать вывод о том, что на качество формования в большей степени влияет время формования и в меньшей степени – температура. Были даны рекомендации по плотности межподкладки, используя которые можно снизить негативное влияние времени и температуры на качество фор-

мования.

На предприятиях Республики Беларусь при производстве обуви широко применяются свиные хромовые кожи. Практика применения свиных хромовых кож для верха обуви по существующей в настоящее время технологии и на типовых конструкциях показала недостаточную формоустойчивость обуви после снятия с колодки, при ее хранении и в процессе носки.

В работе Смелкова В. К., Загайгоры К. А. и Смелковой С. В. [2.49] проведено исследование статической формоустойчивости обуви из свиной хромовой кожи при различных вариантах физико-химической обработки и физико-механического армирования верха обуви. В качестве материала верха была использована свиная хромовая кожа повышенной толщины (1,7–1,8 мм), которая по деформационным и прочностным свойствам соответствует требованиям, предъявляемым к материалам для верха обуви, однако, ее отличает от кож из шкур крупного рогатого скота повышенная тягучесть и малая остаточная деформация.

Для реализации поставленной в работе задачи исследования проводились в два этапа. На первом этапе выполнено исследование статической формоустойчивости хромовой кожи в образцах в лабораторных условиях, на втором этапе – на готовой обуви.

Исследования формоустойчивости систем проводились по методике, приближенной к реальному технологическому процессу производства обуви. Образцы системы перед испытанием на формоустойчивость наклеивались на подложки из картона, что имитировало закрепление затяжной кромки заготовок верха обуви после ее затяжки и позволяло исследовать усадочные процессы в испытанной системе после загрузки.

Растяжение образцов осуществлялось на разрывной машине «Франк» с тензометрической системой измерения нагрузок и удлинений, на которой устанавливался прибор для двухосного растяжения, а в качестве формирующего пуансона использовалась полусфера, что наиболее близко моделирует носочную часть колодки при производстве обуви.

В качестве критерия формоустойчивости использовали отношение стрелы прогиба отформованного образца системы материалов к стреле прогиба сферического пуансона сразу после разгрузки, через 3 часа и 7 суток пролежки.

Анализ профилограмм показал, что все варианты исследуемых систем изменяют свою форму по сравнению с формой полусферы. Однако наибольшую и наиболее неравномерную усадку имели системы «кожа + кожа (перхлорвиниловый клей)» и «кожа + кожа (каучуковый клей)». В отдельных зонах полусферы из этих систем уменьшение деформации доходило до 10 % от первоначальной величины, что выража-

лось в сильном искажении полусферической формы образцов в виде выпуклостей и впадин. Это можно объяснить частичным клеевым соединением слоев кожи и неравномерностью проклеивания.

Система «кожа + кожа» также усаживается, но на меньший процент и более равномерно по всей поверхности, что визуально создает впечатление отсутствия усадки. По-видимому, такой эффект у непроклеенной системы можно объяснить различной структурой лицевого и бахтармяного слоев кожи. Лицевой слой свиной кожи более плотный и обладает большими остаточными деформациями. Усадка верхнего слоя уменьшается за счет трения слоев между собой и меньших упругих деформаций нижнего бахтармяного слоя.

Система «кожа + кожа (поливинилацетатная эмульсия)» имеет наименьшую усадку, не превышающую 3 % от приданной формы, и не имеет локальных усадочных зон (впадин, выпуклостей) на поверхности. Объясняется это общим повышением жесткости и стойкости системы за счет лучшего проникания поливинилацетатного клея в слои кожи и малой эластичности клеевой пленки.

На втором этапе работы была разработана конструкция мужской обуви с верхом из свиных хромовых кож для летнего периода носки, клеевого метода крепления, в которых, на основании выполненных исследований, было применено физико-механическое армирование в виде крыльев-накладок в пучковой части заготовок и физико-химическая обработка поливинилацетатной эмульсией раздвоенных частей союзки в пучковой части. По типовой технологии были изготовлены мужские туфли клеевого метода крепления и проведено исследование статической формоустойчивости после снятия обуви с колодок и при хранении. Следует отметить значительно более устойчивую форму верха обуви в области пучков, где при традиционных конструктивных решениях имеется наличие локальных усадочных зон.

В работе Горбачика В. Е., Дардыка В. Ф., Загайгоры К. А., Максимой З. Г. и Фурашовой С. Л. [2.50] рассматриваются вопросы влияния свойств кож верха на качество предварительного формования союзок. В работе исследовали кожтовар, который применялся на предприятиях для обуви с предварительно формуемыми союзками и проводили исследования физико-механических свойств кож при одноосном растяжении по ГОСТ 938.11–69 [2.64] и при сферическом растяжении на приборе ПОИК по ГОСТ 29078–91 [2.63]. Отбор и подготовку образцов проводили по ГОСТ 938.0–75 [2.65] и ГОСТ 938.14–70 [2.66]. Испытания на приборе ПОИК производились на кожах в зонах, прилегающих к местам выкраивания образцов на одноосное растяжение. Исследуемая выборка по каждой запускаемой партии состояла из 5–7 кож.

Анализ полученных авторами данных показывает, что толщина кож для обуви с предварительно формуемой союзкой в основном нахо-

дится в пределах 1,2–1,4 мм и гораздо реже они имеют толщину 1,1–1,2 мм. Все исследованные кожи при одноосном растяжении по деформационным и прочностным свойствам соответствуют стандартным требованиям. Вместе с тем кожи со значительной деформационной способностью имеют значения прочности близкие к нижнему стандартному значению, равному 15 МПа. Величины относительных деформаций при разрыве исследуемых партий кож находятся в пределах 41–60 %, а относительных деформаций при $\sigma = 9,81$ МПа – в пределах 26–42 %. Примерно половина используемых в производстве кож имеют относительное удлинение при $\sigma = 9,81$ МПа равное 35 % и выше. Но в производстве также используют кожи, имеющие значение этой величины от 26 % до 29 %. Прочность исследованных кож находится в пределах 17–27 МПа. Как показывают полученные результаты, при одноосном растяжении исследованные кожи по деформационным и прочностным свойствам отличаются примерно в 1,5 раза.

Было проведено априорное ранжирование мнений специалистов обувных предприятий, имеющих определенный опыт работы с натуральными кожами для верха обуви с предварительно формируемой союзкой. В результате анализа априорной информации установлено, что определяющее влияние на качество отформованных союзок оказывают свойства кожтовара. Для всех кож приходится отрабатывать технологию предварительного формования экспериментальным путем.

Исходя из указанного выше, авторы рекомендуют перед запуском материалов в производство производить их испытания по ГОСТ 29078–91 [2.63].

Горбачик В. Е. и Томашева Р. Н. в своих работах подчеркивают, что для характеристики упруго-пластических свойств материалов наиболее часто используется показатель пластичности, который определяется отношением остаточной деформации материала к его полной деформации, выраженной в процентах [2.51].

Пластичность различных материалов ими определялась как по стандартной методике, так и по нестандартной, исключая влияние масштабного фактора на результаты испытаний и позволяющей получить сопоставимые данные о пластичности различных по структуре материалов. По нестандартной методике пластичность всех материалов определялась при нагрузке равной 50 % от разрушающей. Время выдержки образцов под нагрузкой было принято равным 5 мин, время отдыха образцов после снятия нагрузки – 10 мин. Размеры образцов принимались равными 200×40 мм с рабочей длиной 150 мм для всех материалов. Были исследованы различные материалы верха, подкладки и межподкладки. Испытания проводились на разрывной машине «Франк». Образцы выкраивались в трех направлениях: продольном (0°), поперечном (90°) и под углом 45°.

Анализ полученных авторами результатов показал, что пластичность натуральных кож для верха обуви в 2–3 раза превышает пластичность искусственных и синтетических кож. Подкладочные кожи обладают лучшими пластическими свойствами, чем текстильные подкладочные материалы. Среди материалов межподкладки наибольшее значение показателя пластичности отмечается у нетканого материала, наименьшее – у термобязи. Значения пластичности для образцов натуральных кож, выкроенных в различных направлениях, отличаются между собой несущественно. Для искусственных и синтетических материалов характерна ярко выраженная анизотропия свойств. Коэффициент корреляции для материалов верха составил 0,94–0,99, для материалов подкладки и межподкладки – 0,7–0,97.

Способность материалов верха обуви формоваться, приформовываться и сохранять заданную форму определяется наличием комплекса упругопластических свойств, для характеристики которых используется целый ряд различных показателей. Наиболее распространённым и часто используемым на практике является показатель пластичности, который определяется отношением остаточной деформации образцов к общей деформации, выраженным в процентах.

Так как в заготовке материалы верха, подкладки и межподкладки работают как единая система и подвергаются одинаковым силовым воздействиям, то необходимо использовать единый подход к оценке пластичности как материалов, так и систем материалов.

Учитывая изложенное выше, целью работы Горбачика В. Е. и Томашевой Р. Н. являлось исследование пластичности различных материалов верха, подкладки и межподкладки как по известным методикам, так и по разработанной методике, предусматривающей единый подход к определению пластичности.

Для исследований были выбраны следующие материалы верха: полукожник, яловка легкая, искусственная кожа на тканевой основе, синтетическая кожа на нетканой волокнистой основе. В качестве подкладочных материалов испытывались свиная подкладочная кожа, тиксаржа, два вида трикотажных подкладочных полотен. Для межподкладки были выбраны термобязь, трикотажное полотно и нетканый материал.

Анализ полученных авторами данных показал, что наилучшими пластическими свойствами среди материалов верха обладает натуральная кожа. Её пластичность колеблется в пределах 30–45 % в зависимости от вида кожи и направления раскроя. Наихудшие пластические свойства отмечаются у искусственных и синтетических кож. Их пластичность в среднем в 2,5–4 раза ниже, чем у натуральных кож.

Среди материалов подкладки наилучшими пластическими свойствами обладает подкладочная кожа. Её пластичность составляет в

среднем 41–44 % и незначительно отличается для различных направлений раскроя. Пластичность трикотажных полотен для подкладки несколько ниже и колеблется в пределах 25–40 %.

Анализ результатов испытания межподкладочных материалов показал, что наилучшие пластические свойства характерны для нетканого материала, что в значительной степени определяется строением и структурой данного вида материала.

Исследование пластичности по единой для всех материалов методике проводилось на образцах 200×40 мм с рабочей длиной 150 мм. Величина нагрузки принималась равной 50 % от разрушающей, время выдержки образцов под нагрузкой – 5 мин, время отдыха образцов после снятия нагрузки – 30 мин.

Анализ полученных авторами данных показал, что для натуральных кож, как правило, наблюдается снижение величины пластичности по сравнению со стандартными условиями испытаний в среднем на 5–8 %. У искусственной и синтетической кож, наоборот, отмечается незначительный рост пластичности (на 2–3 %).

Для текстильных материалов данные, полученные по единой для всех материалов методике, не всегда согласуются с данными, полученными при стандартных методах испытания, что обуславливается различными условиями работы данных материалов при обоих методах. Так, пластичность нетканого полотна почти в два раза ниже, чем по стандартной методике. Если при стандартных условиях испытания у термобязи отмечались наихудшие пластические свойства, то по единой методике, наоборот, данный материал проявляет наилучшие пластические свойства среди исследованных авторами материалов для межподкладки.

Значения пластичности подкладочных материалов колеблются примерно в тех же пределах, что и при стандартных условиях испытания, и лишь в отдельных случаях отклоняются на 4–8 % в большую или меньшую сторону.

В целом же, общие тенденции, выявленные при стандартных методах испытаний, сохраняются и при нестандартных испытаниях. Коэффициент корреляции для материалов верха составил 0,94–0,99, уровень значимости коэффициентов не превышает 5 %, что свидетельствует о высокой достоверности полученных коэффициентов.

Для материалов подкладки и межподкладки коэффициент корреляции между показателями пластичности по двум методикам более низкий (0,67–0,97), чем для материалов верха, что связано с принципиально различными условиями испытаний материалов. Тем не менее, полученные авторами значения коэффициентов корреляции являются достаточно высокими, что также говорит о существенной связи между показателями пластичности, полученными по двум методикам.

Горбачик В. Е. и Фурашова С. Л. изучали влияние увлажнения на релаксацию усилий натуральной кожи при двухосном растяжении. При производстве обуви заготовка верха перед формованием подвергается влажно-тепловой обработке, с нанесением на лицевую поверхность кожи увлажнителя. При таком воздействии заготовка нагревается до температуры 65–90 °С и увлажняется, относительная влажность заготовки составляет 1–2 %.

С целью исследования влияния увлажнения данным способом на релаксацию усилий при двухосном растяжении с различной величиной начальной деформации (10 %, 15 %, 20 % и 25 %) были исследованы образцы эластичной натуральной кожи «Мираж» толщиной 1,2–1,4 мм. Растяжение образцов производилось на автоматизированном комплексе для измерения и обработки результатов испытаний. Влажно-тепловая обработка осуществлялась на лабораторной установке контактного типа.

Проведенные исследования показали, что в диапазоне деформаций от 10 % до 25 % увеличение величины растяжения на 5 % увеличивает начальное усилие, необходимое для деформирования образцов, в среднем в два раза. Увлажнение натуральной кожи данным способом способствует уменьшению начальных усилий при растяжении на 15 и 20 % примерно в два раза, а при растяжении на 10 % и 25 % не так значительно. Наибольшее снижение релаксируемых усилий достигается при деформировании образцов натуральной кожи на 20 %, общая доля релаксации для сухих образцов составляет 32 %, а для увлажненных термодиффузионно-контактным способом – 38 %. Увеличение деформации на 5 % в диапазоне от 10 до 20 % растяжения в среднем увеличивает общую долю релаксации на 4 % как для сухих образцов, так и для увлажненных. При растяжении кожи на 25 % общая доля релаксации начинает уменьшаться, следовательно, это говорит о том, что оптимальная величина деформации с точки зрения наибольшей величины падения усилий для натуральной кожи составляет 20 %.

В работе Загайгоры К. А., Максиной З. Г. и Фурашовой С. Л. [2.52] проведено исследование влияния метода увлажнения на формоустойчивость двухслойной системы материалов «кожа + межподкладка». В качестве материала верха использовали натуральные кожи, физико-механические свойства которых определяли при испытании на одноосное растяжение по ГОСТ 938.11–69 [2.64] и при сферическом растяжении на приборе ПОИК по ГОСТ 29078–91 [2.63]. В качестве материала межподкладки использовали кулирное трикотажное полотно с поверхностной плотностью 170 г/м², толщиной 0,5–0,6 мм с термоклеевым покрытием. Межподкладка наклеивалась на образцы кожи при следующих режимах: температура – 120–130 °С, давление – 0,3–0,4 МПа, время – 7–10 с. Формование систем материалов осуществля-

лось на полусфере, которая устанавливалась на прибор В 3030 с последующим растяжением на машине «Франк». Перед формованием образцы увлажнялись ранее перечисленными методами.

Методика проведения эксперимента моделировала реальный технологический процесс производства обуви с верхом из эластичных кож. Оценка формоустойчивости систем материалов осуществлялась по соответствию профилограмм отформованных образцов шаблону, снятому с полусферы с находящейся на ней системой материала, и по стреле прогиба отформованных образцов сразу после снятия образцов с полусферы и через сутки пролежки.

Результаты проведенного исследования показали, что при решении вопроса увлажнения деталей перед формованием и выборе метода необходимо учитывать свойства кожи. Для этого при запуске кож в производство на ассортимент обуви с предварительно формуемой союзкой необходимо проводить испытания при растяжении на приборе ПОИК и определять величину сопротивления растяжению при поднятии пуансона прибора на величину 8 мм. Если при этом величина сопротивления кожи больше 300 Н, то увлажнение союзки перед предварительным формованием нужно проводить пропариванием в сочетании с увлажнением в жидкой фазе.

При анализе результатов исследований релаксационных процессов, протекающих в материалах при формовании, часто используют модельные методы. Работа с моделью позволяет рассчитывать и прогнозировать значения напряжений в исследуемых материалах.

В работах ряда авторов для описания релаксации напряжений тканей, трикотажа, искусственной кожи предлагается использовать уравнение Кольрауша. В то же время в других работах для описания релаксационных свойств обувных материалов рекомендуется использовать трехкомпонентную модель Максвелла.

С целью выбора модели, наиболее точно описывающей релаксационные свойства синтетической кожи СК-8, Горбачиком В. Е., Скоковым П. И. и Фурашовой С. Л. [2.53] была проверена возможность применения для этих целей уравнения Кольрауша и трехкомпонентной модели Максвелла.

Расчет релаксационных характеристик выполнялся по методу Слонимского Г. Л. Для расчета постоянных уравнения на языке Visual Basic была разработана программа, позволяющая упростить трудоемкий процесс расчета. Экспериментальные данные по исследованию релаксации усилий во времени синтетической кожи были получены при одноосном растяжении по методике, разработанной авторами.

С использованием данного метода расчета была разработана программа на языке Visual Basic. Исходными данными для расчета параметров модели Максвелла являются экспериментальные значения

усилий образцов материалов и соответствующие им значения времени при постоянной деформации заторможенного, замедленного и быстропротекающего процессов релаксации. Программа позволяет выводить на печать расчетные и экспериментальные значения усилий, относительные отклонения, параметры модели для каждого этапа процесса релаксации, а также расчетную кривую релаксации и экспериментальные точки значений усилий.

По изложенной методике было проведено количественное описание процесса релаксации усилий синтетической кожи СК-8 при заданной деформации, равной 15 %, 20 %. Относительные отклонения расчетных значений усилий от экспериментальных не превышают 5 % для быстропротекающих процессов релаксации (в интервале времени до 15 секунд) и меньше 5 % для медленно протекающих процессов, в промежутке времени от 15 секунд до 60 минут.

Таким образом, анализируя изложенные в настоящей главе работы ряда авторов, можно отметить следующее:

- объектом основных исследований авторов публикаций являются свойства искусственных и синтетических кож, реже натуральных, а также систем материалов проявляющиеся в процессе увлажнения, формования и сушки обуви;

- незначительное количество комплексных исследований технологических процессов увлажнения, формования и фиксации заготовок верха обуви и их влияния на качество изделий;

- не совсем обоснованы и корректны некоторые попытки математического описания сложных релаксационных процессов, протекающих в обувных материалах при формовании;

- применяемые в работах методы и средства исследований имеют существенные, а иногда и принципиальные отличия, что не позволяет сопоставить результаты, полученные различными авторами;

- практически отсутствуют работы, связанные с оценкой влияния процессов формования на свойства изделия в течение всего его жизненного цикла «производство – хранение – носка»;

- общим недостатком большинства проведенных работ является то, что авторы не увязывают полученные экспериментальные результаты с реальными технологическими процессами и не показывают механизм их внедрения в производство.

2.2 Разработка методов оценки формоустойчивости материалов, узлов и обуви в процессе ее производства

Как отмечалось ранее, формоустойчивость обуви зависит, прежде всего, от того, насколько эффективно выполнен процесс увлажнения, формования и фиксации верха. В данной работе имитировались перечисленные технологические процессы и переходы. Для этого был проведен хронометраж выполнения перечисленных выше процессов при производстве мужских полуботинок клеевого метода крепления с верхом из натуральной кожи, в результате которого было установлено время прохождения обуви по обтяжно-затяжному участку (в среднем 10 мин) и время от операции «фиксация формы обуви» до «снятия обуви с колодки» (в среднем 30 мин).

Время сушки зависит от первоначальной влажности материалов, способа и условий сушки. В работе время фиксации определялось из предварительного эксперимента путем взвешивания на аналитических весах контрольных образцов до и после сушки. Материалы верха высушивали до конечной влажности, оговоренной ГОСТ 939–94 [2.62].

Для отработки методики применялся способ одноосного растяжения стандартных образцов, имеющих форму двухсторонней лопаточки с размерами рабочей части 50×10 мм. Для двухосного растяжения использовали образцы диаметром 70 мм с рабочей частью 35 мм. Образцы выкраивали из чепрачной части кож и по методу асимметричной бахромы подбирали в группы. Системы материалов испытывали только на двухосное растяжение. Выкроенные образцы увлажняли до заданной влажности методом сорбции влаги из воздуха в термогигростатированном эксикаторе. Время пролежки в эксикаторе составляло не менее двух недель. Затем увлажненные и размеченные образцы деформировали на определенную величину с помощью специальных приспособлений для одноосного (рисунок 2.1) и двухосного (рисунок 2.2) растяжений.

При испытании на одноосное растяжение образцы 3 закрепляли в зажимах 4 и затем с помощью винта 2 передвигали планку 1 на заданную величину.

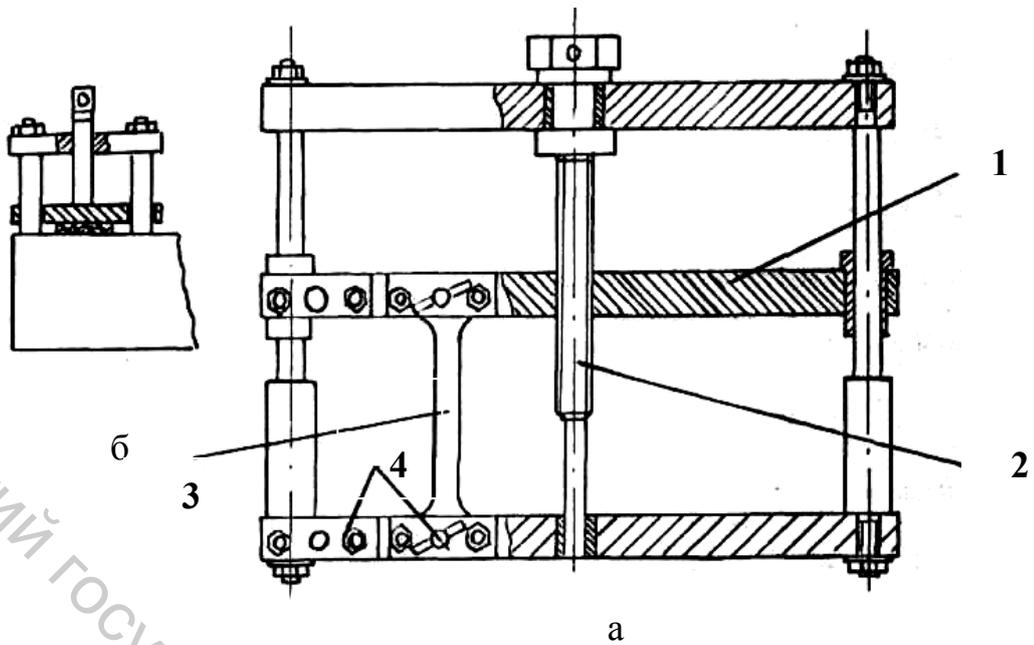


Рисунок 2.1 — Приспособление для одноосного растяжения:
а — общий вид; б — зажим

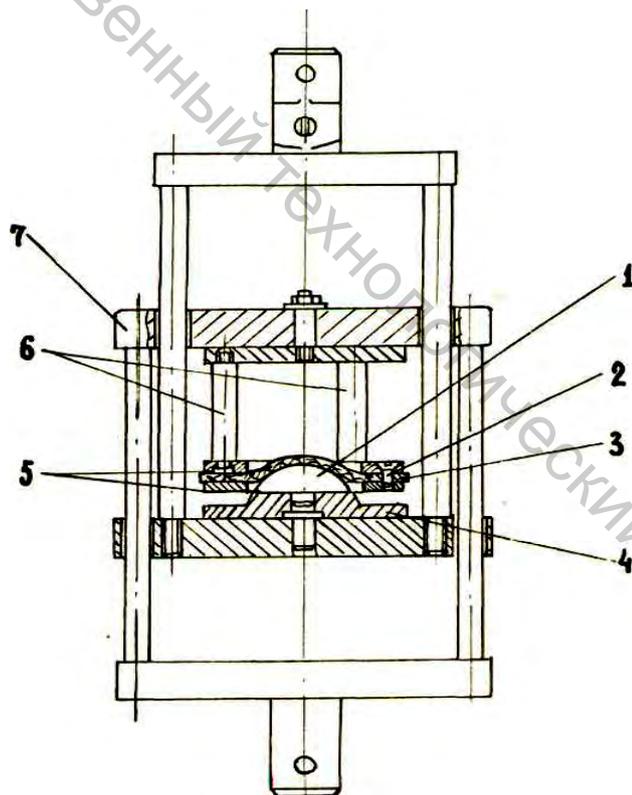


Рисунок 2.2 — Приспособление для двухосного растяжения образцов

Для двухосного растяжения разработано приспособление, которое устанавливали на реверсивном приборе 7 разрывной машины. Приспособление состоит из следующих основных частей: трех направляющих стоек 6, обоймы 5, основания 4. Образец 3 крепится в обойме тремя

винтами 2. Далее образец устанавливают на стойки, включается привод разрывной машины и осуществляется формирование образца на сферическом сегменте 1, установленном на основании. При этом можно производить запись диаграммы Р-ε. Для создания необходимого двухосного растяжения был изготовлен набор сферических сегментов, обеспечивающих деформацию в радиальном направлении от 5 до 35 %. Сферические сегменты обрабатывались до той чистоты поверхности, которая достигается при производстве затяжных колодок. После формирования обойма скрепляется с основанием при помощи струбцин и снимается с реверсивного прибора.

После десятиминутной выдержки образцов в деформированном состоянии приспособления с образцами помещали в сушилку. Применяли температурные режимы обработки материалов, не вызывающие снижения механических показателей. После сушки приспособления с образцами выдерживали в нормальных условиях до 30 мин, а затем их освобождали от зажимов. Замеры остаточных деформаций проводили после проведения формования через 3, 15, 30 мин, 1 час, 1 и 7 суток. В период между замерами образцы находились в термогигростатированном эксикаторе, обеспечивающем абсолютную влажность кожи 16–18 %.

За параметр оптимизации было взято относительное остаточное удлинение (E^C) образцов для одноосного растяжения (или относительная остаточная деформация для двухосного растяжения) через 7 суток после сушки, так как в течение этого времени в них полностью проходят релаксационные процессы. Известно, что увеличение относительных остаточных удлинений (деформаций) E^C способствует сохранению формы изделия. Нижней границей E^C , обеспечивающей достаточную формоустойчивость обуви, по мнению ряда авторов, принято считать 75 %.

Измерение образцов производилось штангенциркулем (одноосное растяжение) и индикатором часового типа (двухосное), имеющими величину отсчета по нониусу 0,05 мм. Причем для увеличения точности замера стрелы прогиба образцов для двухосного растяжения вместо измерительной ножки устанавливается индикатор часового типа с ценой деления шкалы 0,01 мм. Использование инструментов для измерения методом непосредственной оценки, а также разработка несложных приспособлений для испытания образцов проводилась для того, чтобы методика эксперимента была крайне проста и могла легко воспроизводиться в производственных условиях. Это позволит легко проводить на предприятиях необходимые испытания с целью уточнения режимов формования верха обуви.

Для фиксации образцов, систем и обуви использовали сушилку с ТЭНами мощностью 600 Вт, причем температура воздуха в сушилке автоматически поддерживалась на заданном уровне. Основные конструктивные элементы сушилки: габаритные размеры, расположение нагре-

вательных элементов, а также расстояние образца от источника излучения, его мощность, длина волны и другие выбирались из литературных источников и производственного опыта [2.9–2.11, 2.16, 2.67–2.76].

Исследования релаксационных характеристик обувных материалов и интенсивности теплообмена проводились на изготовленной для этих целей установке (рис. 2.3), которая содержит термокамеру, формирующий пуансон 11 и регистрирующую аппаратуру 19 (Н-327/1) и 18 (КСП-4) [2.77].

В термокамере находится нагревательный элемент 2, питание которого осуществляется через терморегулятор 1, экранная сетка 3, термомпары 7, 8, 9, 10 и двигатель M_1 вентилятора 5. Формирующий пуансон опирается на тензометрическую балку 17, установленную на держателе ходового винта 16. Вращение винта производится от двигателя M_2 через червячную пару 15. Величина хода формирующего пуансона регулируется перестановкой кулачка 12, который управляет работой двигателя M_2 через путевые выключатели 13 и блок управления 14.

Работа на установке происходит следующим образом: образец 6, зафиксированный двумя кольцами 20, устанавливается в рабочую зону формирующей головки и закрепляется. Включается блок управления двигателем M_2 и производится формование образца. При перемещении ходового винта с тензометрической балочки снимается сигнал, усиливается и регистрируется прибором Н-327/1.

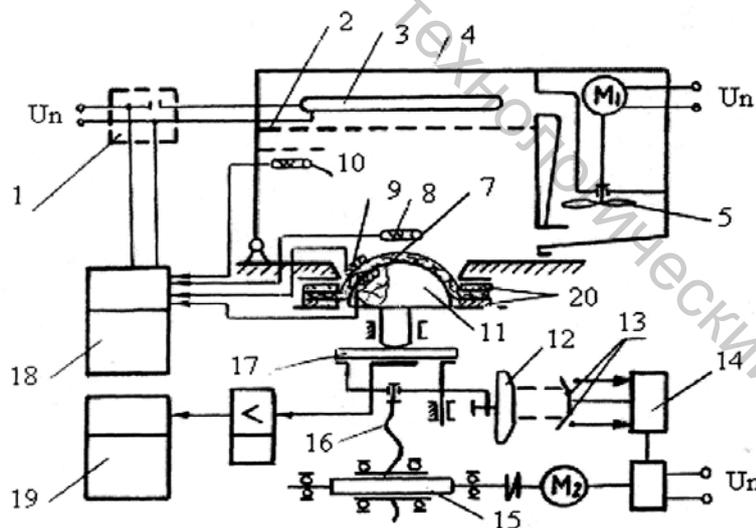


Рисунок 2.3 – Схема установки для изучения процессов формования обувных материалов и систем

После формования образца и останова двигателя происходит запись релаксации нагрузок. Одновременно с формованием образца прогревается камера, в нижней части которой имеется изолирующий поддон, исключаящий теплообмен с окружающей средой. В процессе про-

грева камера находится вне рабочей зоны формующей головки. Двигателем M_1 вентилятора обеспечивается необходимая скорость воздушного потока, а также его рециркуляция. После прогрева камеру перемещают в зону рабочей головки с отформованным образцом, поддон убирают, и происходит термофиксация образца. Термопарами 10, 8, 7, 9 и регистрирующим прибором КСП-4 фиксируется температура соответственно в камере, непосредственно в зоне обогрева образца, на поверхности формующего пуансона и на поверхности образца. Скорость перемещения пуансона при формовании, температура нагревательного элемента камеры, скорость и температура воздушного потока регулируются изменением напряжения питания U_n .

Нагревательное устройство позволяет создавать любую заданную степень облучения образцов и тем самым воспроизводить разные виды сушек: конвективную, радиационную, радиационно-конвективную и конвективно-радиационную. Регулируемый привод перемещения пуансона дает возможность проводить исследование процесса формования в статических и динамических условиях. Наличие съемных формующих головок в виде сферических сегментов, тора, эллипсоида вращения проводить формование на поверхности, имитирующей обувную колодку.

В более поздних работах для исследований было использовано устройство для контроля качества материалов и соединений верха обуви [2.78]. С помощью этого устройства определяли формовочные свойства и формоустойчивость материалов для заготовок верха, а также задников и подносков обуви.

Суть разработанной методики заключается в давлении пуансоном устройства на зажатый в специальном кольце образец и измерении деформации в процессе и после нагружения образца.

Пробы отбирают по ГОСТ 938.0–75 [2.65] из участка кожи, предназначенного для физико-механических испытаний, рядом с образцами для определения предела прочности при растяжении.

Из каждой пробы вырубают по два образца в форме круга диаметром 35 мм (диаметр рабочей части образца 25 мм).

Устройство состоит из скобы 1, в верхней части (на одном конце) которой имеется верхний зажим в виде кольца с шайбой 7. В нижней части скобы находится гайка, в которой перемещается винтовой упор 3 с поджимной губкой 6. В поджимной губке имеется отверстие для формующего упора 5 (пуансона). Упор 5 совершает поступательное движение под действием винта 2, перемещающегося в винтовом упоре 3 от вращения маховика 4. Для точности перемещения используется точечный контакт винта 2 с упором 5. На маховике 4 и винтовом упоре 3 нанесены круговая и продольная шкалы с ценой деления 0,1 и 1 мм соответственно. Наибольшая толщина контролируемого образца материала – 10 мм. Для предотвращения вращения поджимной губки 6 в приборе

имеется стопорная скоба 8.

Подготовку к испытанию производят по ГОСТ 938.12–70 [2.79] и ГОСТ 938.14–70 [2.66].

Толщину образцов кожи измеряют в середине образца с точностью до 0,01 мм по ГОСТ 938.15–75 [2.80].

Испытываемый материал прижимается к шайбе 7 верхнего зажима поджимной губкой, приводимой в движение вращением винтового упора 3. В случае необходимости, для большего сжатия материала можно воспользоваться ключом, вставляемым в отверстия на винтовом упоре 3. После зажатия материала в зажиме, поворачивая маховик 4, вдавливаем упор 5 в материал на определенную величину (установленную экспериментально). Нагружение прекращаем при достижении необходимой величины деформации или разрушении материала. По шкале устройства определяют ход пуансона.

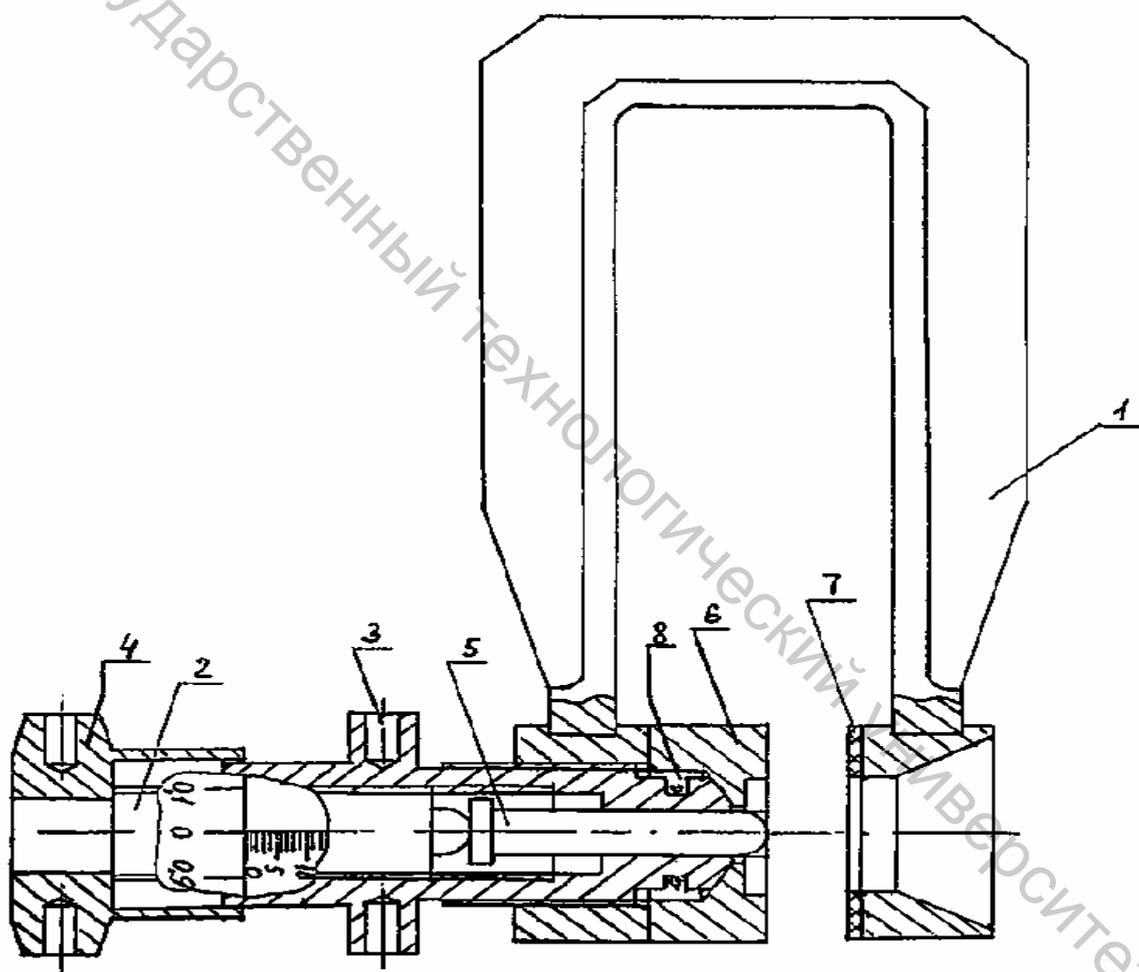


Рисунок 2.4 – Схема устройства для определения стойкости материалов и соединений верха обуви к продавливанию шариком:

1 – скоба; 2 – винт; 3 – винтовой упор; 4 – маховик; 5 – пуансон; 6 – поджимная губка; 7 – кольцо с шайбой; 8 – стопорная скоба

Определение остаточной деформации производят следующим образом. Образец устанавливают в устройстве таким образом, чтобы вершина его сферической части находилась под центром пуансона. В назначенную точку опускают пуансон до касания поверхности образца. Записывают значение по шкале устройства. Затем осуществляют вдавливание пуансона в поверхность образца на величину 5 мм и выдерживают под нагрузкой в течение 30 секунд. После этого отводят пуансон в исходное положение. По истечении 3 минут пуансон опускают в ту же точку до касания с поверхностью образца и вновь записывают значение по шкале устройства.

Показателем остаточной деформации носочной части обуви является разность между начальным показанием шкалы устройства и показанием через 3 минуты после снятия нагрузки (2.3):

$$D_{ост} = D_n - D_3, \quad (2.3)$$

где $D_{ост}$ – остаточная деформация образца, мм; D_n – начальное показание шкалы (до нагружения), мм; D_3 – показание шкалы через 3 минуты после снятия нагрузки, мм.

За результат испытания принимаем среднее арифметическое результатов испытаний двух образцов.

Существующая методика оценки общей и остаточной деформации задника и подноски обуви обладает рядом недостатков, которые были отмечены выше в ряде публикаций автора монографии [2.81] и потребовали разработки принципиально нового подхода к решению данной проблемы, о котором будет сказано ниже.

Для проведения испытаний формоустойчивости обуви необходима специально оборудованная лаборатория, что делает невозможным проведение входного и промежуточного контроля качества комплектующих, деталей и заготовок обуви. Кроме того, прибор ЖНЗО-2 в Республике Беларусь не производится. Поэтому далеко не у всех предприятий имеется такой прибор, и им приходится испытывать свою продукцию у сторонних организаций, что приводит к дополнительным расходам. Также на приборе ЖНЗО-2 нельзя определить величину силы, действующей на образец: если через 30 с испытываемая полупара все еще будет деформироваться, значит сила в данном случае получается меньшей, чем номинальный вес груза. Это не позволяет сопоставлять величину нагрузки и деформации обуви различных моделей и конструкций.

Предлагаемая методика экспресс-оценки формоустойчивости пяточной части обуви позволяет быстро и достоверно оценивать этот показатель как на производстве, так и в период эксплуатации, а также исследовать зависимость деформации пяточной части различных моделей

обуви от величины нагружения. Для испытаний применяют прибор для экспресс-оценки формоустойчивости носочной и пяточной части обуви (ПЭОФО), изображенный на рисунке 2.5, и штангенциркуль. Прибор ПЭОФО, по сравнению с прибором ЖНЗО-2, обладает относительно невысокой стоимостью, расширенной областью применения, улучшенными метрологическими показателями.

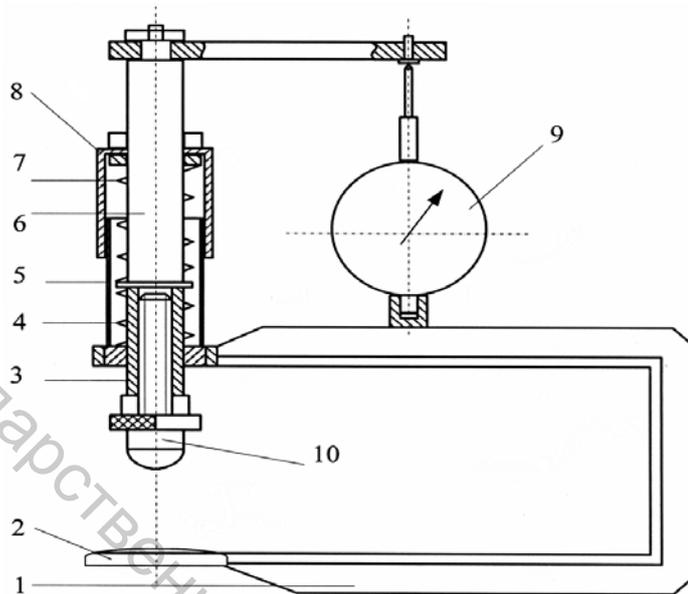


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема прибора ПЭОФО

На скобе 1 прибора закреплены кольцо 2 и корпус 5. В измерительном штоке 3 прибора закрепляют сферический наконечник 10 нужного диаметра, в зависимости от вида испытуемой обуви. В зазор между сферическим наконечником и кольцом 2 помещают испытуемый образец, на который с помощью нажимного винта 8, воздействующего на измерительный шток через тарированную пружину, находящуюся в корпусе, подают нагрузку. Величину нагрузки определяют по индикатору часового типа 9.

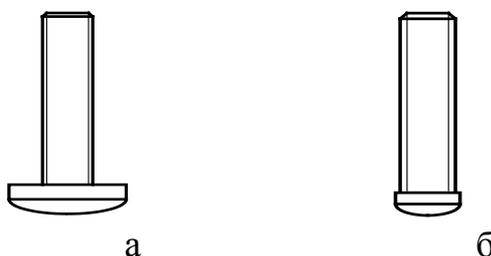


Рисунок 2.6 – Сферические наконечники для прибора ПЭОФО: а – сферический наконечник, диаметром 24,5 мм – для испытаний мужской, женской, мальчиковой, девичьей обуви, задников и систем материалов этой обуви; б – сферический наконечник, диаметром 14 мм – для испытаний малодетской, дошкольной обуви, обуви для школьников, задников и систем материалов этой обуви

Отбор проб производится в соответствии с ГОСТ 9289 [2.82]. Каждую полупару маркируют порядковым номером на ходовой поверхности подошвы. Перед испытаниями образцы выдерживают (кондиционируют) при температуре (20 ± 3) °С и влажности воздуха (65 ± 5) % не менее 24 ч. При испытании пяточной части обуви на ней с обеих сторон отмечают точку приложения нагрузки O согласно ГОСТ 9135–2004 [2.83]. Индикатор часового типа прибора и табло электронного штангенциркуля устанавливают в нулевое положение. Нагрузка на образец при определении общей и остаточной деформации пяточной части детской и дошкольной обуви должна составлять 5 кг, мужской, женской, мальчиковой, девичьей, обуви для школьников – 8 кг. При испытании пяточной части обуви непосредственно при ее производстве кондиционирование и маркировка испытуемого образца не производится.

Для испытаний задников образцы отбирают по ГОСТ 9186–76 [2.84] по три задника для каждого рода обуви. Размеры задников, отобранных для испытания, должны соответствовать исходным размерам мужской, женской и детской обуви по ГОСТ 11373–88 [2.85]. Образцы задников перед испытаниями кондиционируют при тех же условиях, что и образцы готовой обуви. Испытание задников должно проводиться не ранее, чем через 24 ч после формования, включая время на их кондиционирование. Перед испытаниями образцы нумеруют с изнаночной стороны, затем на них с обеих сторон отмечают точку приложения нагрузки Z , как показано на рисунке 2.7.

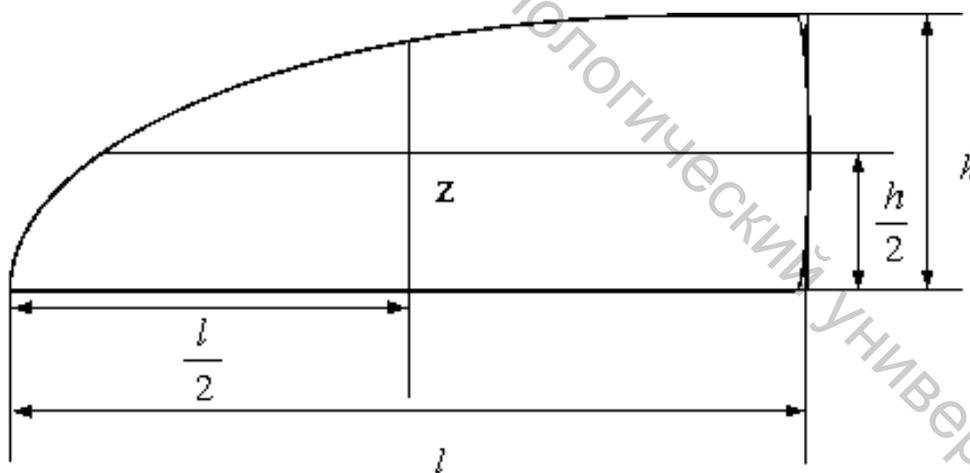


Рисунок 2.7 – Точка приложения нагрузки

Индикатор часового типа прибора и табло электронного штангенциркуля устанавливают в нулевое положение. Нагрузка на образец при определении общей и остаточной деформации задника для детской и дошкольной обуви должна составлять 5 кг; для мужской, женской,

мальчиковой, девичьей, обуви для школьников – 8 кг.

При определении общей и остаточной деформации пяточной части обуви либо задника образец помещают в зазор между сферическим наконечником и кольцом так, чтобы кольцо фиксировало его изнутри. Затем сферический наконечник плавно выдвигают до соприкосновения с испытуемым образцом в точке приложения нагрузки. С помощью штангенциркуля измеряют расстояние h_n – положение винта 8 относительно нижнего края корпуса 5. Завинчивают нажимной винт до тех пор, пока стрелка индикатора часового типа не покажет соответствующую нагрузку. Нажимной винт при этом воздействует посредством пружины на измерительный шток со сферическим наконечником, который вдавливается в испытуемый образец. Образец выдерживают под нагрузкой в течение (30 ± 1) с. При этом с помощью штангенциркуля фиксируют расстояние $h_{об}$ перемещения винта 8 относительно нижнего края корпуса 5. После воздействия нагрузки винт возвращают в исходное положение, образец извлекают и аккуратно кладут на ровную поверхность так, чтобы он ни с чем не соприкасался в точке приложения нагрузки. Через $3 \text{ мин} \pm 3 \text{ с}$ испытуемый образец вновь помещают в зазор между сферическим наконечником и кольцом также, как он располагался во время нагружения. Сферический наконечник при помощи нажимного винта подвигают до соприкосновения с образцом в точке приложения нагрузки и штангенциркулем фиксируют расстояние $h_{ос}$ перемещения винта 8 относительно нижнего края корпуса 5. Испытания проводятся как с наружной, так и с внутренней стороны.

Общая деформация $D_{об}$ вычисляется как разность между $h_{об}$ и h_n (2.4)

$$D_{об} = h_{об} - h_n. \quad (2.4)$$

Остаточная деформация $D_{ос}$ вычисляется как разность между $h_{ос}$ и h_n (2.5)

$$D_{ос} = h_{ос} - h_n. \quad (2.5)$$

Общую и остаточную деформацию задника и пяточной части обуви определяют как среднее арифметическое результатов их испытаний с внешней и внутренней стороны. При испытаниях готовой обуви за результат принимают значение показателей, полученных при испытании каждой полупары.

2.3 Исследование влияния режимов формования на формоустойчивость материалов для верха обуви

Верх обуви представляет собой многослойную конструкцию, внешний вид которой в значительной мере определяют наружные материалы. Наиболее распространенным материалом для верха является натуральная кожа. Поэтому для исследования был выбран полубогинок хромового метода дубления (ГОСТ 939–94 [2.62]), с удлинением 24–26 % при $\sigma = 9,8$ МПа, наиболее широко используемый в промышленности.

Известно, что на формоустойчивость обуви влияет большое количество факторов. На основании литературного обзора и ранжирования факторов выбирались только основные управляемые факторы, а остальные были стабилизированы. Для процесса сборки обуви с фиксацией формы в радиационной рециркуляционной сушилке наиболее важны следующие факторы:

W – влажность кожи; ε – удлинение кожи; T – температура воздуха в сушилке.

Таким образом, для выбранного критерия формоустойчивости E^C имеем зависимость (2.6):

$$E^C = f(W, \varepsilon, T), \quad (2.6)$$

где E^C – критерий формоустойчивости.

Для построения полиномиальной зависимости использовали планирование эксперимента.

Уровни варьирования факторов выбирались на основании обзора литературы. Согласно [2.27, 2.28, 2.37] оптимальная величина влажности кожи 25–30 %. Известно также, что увеличение влажности кожи до 50–60 % способствует уменьшению напряжений при формовании. Поэтому и были выбраны уровни варьирования влажности: от 15 до 52 %. Влажность материала, равная 18 %, была взята для исследования возможности фиксации малоувлажненной кожи.

В процессе обтяжно-затяжного способа формования заготовка подвергается довольно значительным деформациям – до 20–30 % в носочной части и 7–15 % в других частях [2.34, 2.35, 2.38]. Поэтому верхний предел был взят из области, близкой к максимальным величинам деформации при формовании, а также деформационных возможностей кожи. Нижний предел 7 % – минимальная деформация, обеспечивающая удовлетворительную формоустойчивость [2.28].

Процесс сушки материала зависит от многих параметров. Нами были выбраны основные, независимые управляемые параметры, а ос-

тальные были застабилизированы. На первом этапе исследования был выбран диапазон варьирования температуры воздуха в радиационной сушилке согласно [2.28, 2.44], то есть 50–90 °С.

В таблице 2.1. представлены факторы и уровни их варьирования при фиксации образцов в радиационной сушилке.

Таблица 2.1 – Факторы и уровни их варьирования в радиационной сушилке

Факторы	Символ	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		–	0	+	
Влажность кожи W, %	X ₁	18	35	52	17
Удлинение кожи ε, %	X ₂	7	17	27	10
Температура воздуха в сушилке T, °С	X ₃	50	70	90	20

Для нахождения необходимого количества образцов для испытания был проведен предварительный эксперимент, по которому определили точность измерения, среднеквадратичное отклонение равно $\sigma = 5,91$, ошибку опыта $\alpha = 4$ %. При этих значениях и доверительной вероятности $p = 0,95$ необходимо 11 образцов. В каждом опыте проводили испытания 12 образцов. Результаты испытаний приведены в матрицах планирования эксперимента (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Рабочая матрица и результаты эксперимента

№ опыта	Рабочая матрица			Значения параметра оптимизации			
	W, %	ε, %	T, °С	E ₁ ^C	E ₂ ^C	E ₃ ^C	E _{ср.} ^C
1	18	7	50	23	26	26	25
2	52	7	50	55	51	55	54
3	18	27	50	46	49	50	48
4	52	27	50	78	81	79	79
5	18	7	90	54	54	51	53
6	52	7	90	65	69	66	67
7	18	27	90	60	60	61	60
8	52	27	90	81	82	80	81

В таблицах не приводятся расчетные ПФЭ 2³ матрицы и не даются промежуточные значения параметров оптимизации.

Экспериментальные данные по планированию эксперимента обрабатывали по методикам, изложенным в работах [2.1, 2.2], а также с

использованием литературных источников, приведенных в первой главе.

Для проверки значимости коэффициентов регрессии был рассчитан доверительный интервал $\Delta b_j = \pm t S_{\{b_j\}}$, который оказался равным: $\Delta b_j = \pm 0,73$.

После отбрасывания незначимых коэффициентов было получено уравнение следующего вида (2.7):

$$Y_C = 58,41 + 11,85X_1 + 8,87X_2 + 6,69X_3 + 1,28X_1X_2 - 3,15X_1X_3 - 3,41X_2X_3. \quad (2.7)$$

Уравнение приводится в кодированных переменных. Проверку адекватности проводили с помощью критерия Фишера: $F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$.

Для 5 % уровня значимости: $F_{\text{расч.}} = 0,31$, $F_{\text{табл.}} = 4,49$.

Следовательно, приведенные выше уравнения адекватно описывают исследуемые процессы.

Полученная математическая модель (4.5) связывает E^C (Y_C) с влажностью кожи (X_1), с удлинением (X_2) и с температурой воздуха в сушилке (X_3). Модели позволяют оценить вклад каждого из факторов и их эффектов взаимодействия; в исследуемых диапазонах варьирования наиболее значимыми оказались влажность материала (X_1) и величина его удлинения (X_2); менее значимыми – температура сушки (X_3). Анализируя значение остаточных удлинений образцов полукожника через 7 суток со дня испытания, можно заметить следующее: относительные остаточные удлинения кожи значительно возрастают с увеличением влажности при неизменных значениях других факторов; относительные остаточные удлинения практически не зависят от температуры сушки при влажности образца 52 % и незначительно уменьшаются при 30 %. Исходя из анализа опытных данных, следует, что влажность материала порядка 18 % не оказывает существенного влияния на относительные остаточные удлинения при малом начальном удлинении кожи и температуре воздуха в сушилке (80–85 °С). Таким образом, целесообразно в производственных условиях применять интенсивное локальное увлажнение лишь тех участков заготовки, которые подвергаются большим деформациям. Это подтверждает выводы, сделанные ранее рядом исследователей [2.27, 2.44]. В исследуемом диапазоне варьирования факторов примерно одинаковые E^C могут быть достигнуты при изменении влажности материала или его удлинении ($\varepsilon = 17$ %, $W = 20$ % или $\varepsilon = 7$ %, $W = 30$ %).

Анализ модели показал, что выбранные ранее на основе литературного обзора и априорной информации интервалы варьирования факторов необходимо изменить. Это связано с тем, что целевая функция в рассматриваемой области принимает максимальное значение на границе интервалов варьирования факторов. Поэтому можно предположить, что

оптимальное значение целевой функции расположено вне области проведенного исследования.

После уточнения диапазона варьирования удлинений для кож разной тягучести все факторы сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Символ	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		–	0	+	
Влажность кожи W , %	X_1	20	25	30	5
Удлинение кожи ϵ , %	X_2	7	17	27	10
Температура воздуха в сушилке T , °C	X_3	80	100	120	20

Рабочая матрица и результаты эксперимента не приводятся.

В результате решения нескольких оптимизационных задач пришли к обобщенному уравнению регрессии вида (2.8)

$$Y_C = 72,3 + 1,9X_1 + 2,9X_2 + 0,3X_3 - 0,4X_1X_2. \quad (2.8)$$

Проведем проверку адекватности для уравнения регрессии, где соответственно: $F_{\text{расч.}} = 0,61$, $F_{\text{табл.}} = 3,23$.

Полученная математическая модель связывает E^C с влажностью кожи X_1 , удлинением X_2 и X_3 . Таким образом, относительные остаточные удлинения возрастают с увеличением деформации кожи при неизменных значениях других факторов; относительные остаточные удлинения практически не зависят от температуры сушки при влажности образца 30 %. Исходя из анализа опытных данных следует, что влажность материала 20 % не оказывает существенного влияния на относительные остаточные удлинения при большой вытяжке материала и высокой температуре сушки.

Получены зависимости, связывающие параметры основных технологических факторов: влажности кожи, ее удлинения и температуры воздуха в сушилке с величиной относительного остаточного удлинения полужошника разной тягучести при фиксации в радиационной сушилке. Анализируя данные рабочих матриц и уравнений можно отметить, что при большой вытяжке материала верха и температуре фиксации 80–120 °C можно добиться высоких значений относительных остаточных удлинений кожи даже при незначительных величинах влажности материала 20–25 %.

По изложенной выше методике был проведен эксперимент при двухосном растяжении образцов. В дальнейшем при изложении методики эксперимента будут даваться только ее отличительные особенно-

сти. Факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Символ	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		–	0	+	
Влажность кожи W , %	X_1	20	25	30	5
Деформация материала ϵ , %	X_2	5	15	25	10
Температура воздуха в сушилке T , °C	X_3	80	100	120	20

Рабочая матрица и результаты эксперимента не приводятся.

После уточнения диапазона варьирования факторов пришли к уравнению, связывающего E^C (Y_C) с влажностью кожи X_1 , ее деформацией X_2 и температурой воздуха в сушилке X_3 :

$$Y = 77,1 + 2,8X_1 - 1,6X_2 + 0,2X_3 - 0,6X_1X_2 - 0,4X_1X_3 - 0,1X_2X_3 + 0,2X_1X_2X_3. \quad (2.9)$$

Проверку адекватности проводим по критерию Фишера для 5 % уровня значимости: $F_{\text{расч.}} = 1,41$, $F_{\text{табл.}} = 3,01$.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что высоких значений E^C можно добиться при определенной (характерной для каждой тягучести) деформации кожи, величине ее увлажнения и температуре воздуха в сушилке. Результаты эксперимента показали, что в производственных условиях целесообразно применять интенсивное локальное увлажнение лишь тех участков заготовки, которые подвергаются большим двухосным деформациям.

Из результатов эксперимента по одноосному удлинению и двухосной деформации полукожника получены зависимости, связывающие параметры основных технологических факторов: влажности кожи, ее удлинения (деформации) и температуры воздуха в сушилке с величиной относительного остаточного удлинения полукожника разной тягучести при фиксации в радиационной сушилке. При малой тягучести кожи – 15–20 % можно добиться высоких значений E^C , при значительном увлажнении материала (25–30 %), небольшой его деформации (10–15 %) и температуре воздуха в сушилке 100–120 °C. Увлажнять перед формованием можно незначительно – на 20–25 %.

Высоких значений относительных остаточных деформаций кожи можно достичь при деформировании ее на 10–20 %. При этом температура воздуха в сушилке должна быть в пределах 100–120 °C, а влажность – 20–25 %. Указанные режимы характерны для кож тягучестью 30–40 %.

Результаты эксперимента показывают, что для каждой тягучести кожи есть определенный оптимум режимов формования, при котором относительные остаточные удлинения (деформации) максимальны, учитывая которые можно добиться высокой формоустойчивости изделия. Полученное уравнение может быть использовано при расчете режимов формования бесподкладочной обуви.

Как отмечалось ранее, на предприятиях Республики Беларусь и стран СНГ широкое применение нашли термопластические материалы итальянской фирмы TECNO-GI и при использовании их в качестве материалов для подносков обуви пользуются предложениями фирмы, которые носят лишь рекомендательный характер: время активации подноска, температура клеивания и время его контакта с деталями верха.

Методики проведения исследований физико-механических свойств термопластичных материалов для подносков и применяемые для этой цели приборы и приспособления подробно описаны в монографии авторов [2.81].

Для обеспечения каркасности носочной части обуви материал для подносков должен обладать необходимой жесткостью. Определение жесткости производилось на продольных и поперечных образцах. Результаты испытания подсчитывали следующим образом. Находили среднее значение из определения стрелы прогиба лица и изнанки, по этому значению определяли жесткость. Далее находили среднее значение из замеров поперечных и продольных образцов.

Определение деформации и прочности термопластичных материалов при растяжении производилось на образцах, выкроенных в продольном и поперечном направлениях. Первым этапом проведения эксперимента было испытание двух образцов каждого материала в холодном состоянии. Вторым – испытание в разогретом состоянии, то есть образцы выдерживались в термостате в течение 1 мин при температуре 100 °С, после чего сразу же испытывали на разрывной машине.

Результаты измерений и расчета физико-механических свойств термопластичных материалов для подносков обуви представлены в таблице 2.5.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что все материалы для подносков обуви имеют примерно одинаковую твердость при разных толщинах. Следует отметить, что толщина у итальянских материалов существенно не влияет на их плотность. Плотность итальянских материалов в среднем составляет 0,66 г/см³, у отечественных несколько выше – 0,99 г/см³.

Таблица 2.5 – Физико-механические показатели свойств термопластичных материалов для подносков

Наименование материала	Толщина, мм	Твердость, усл. ед.	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, Н/м ²	Жесткость, Н·м ²
Sintex 308	1,0	87,6	0,61	2860	0,71
Sintex 310	1,1	87,5	0,64	5390	1,80
Sintex 311	1,1	90,1	0,70	5516	1,84
Biterm 327	1,1	89,4	0,66	2376	1,03
Biterm 330	1,2	85,5	0,69	4047	1,01
Biterm 331	1,2	93,1	0,77	3834	1,66
Транс1,4-полиизопрен (двухстороннее покрытие)	1,3	93,4	0,80	1792	1,12
Транс1,4-полиизопрен (одностороннее покрытие)	1,0	94,4	0,99	2144	1,13
Термопласт	0,9	93,6	0,91	3973	1,10

Показатель жесткости материала при изгибе по консоли в определенной степени характеризует его упруго-пластические свойства термопластичных материалов для подносков.

Анализ экспериментальных данных по определению жесткости при изгибе по консоли позволяет сделать вывод о том, что жесткость повышается с увеличением толщины материала, а также жесткость материалов, выкроенных в продольном направлении чуть ниже, чем в поперечном. Это можно объяснить тем, что с повышением толщины увеличивается количество полимерных волокон, связанных между собой проклеивающей массой.

Результаты исследования основных деформационных и прочностных показателей представлены в таблице 2.6.

Анализируя экспериментальные данные таблицы 2.6, можно отметить, что исследуемые термопластичные материалы Sintex имеют относительное удлинение разрыва в пределах 10–28 %, что значительно ниже, чем у отечественных термопластических материалов, а предварительный разогрев материала несколько увеличивает этот показатель, так как с повышением температуры увеличивается пластичность материала, гибкость его полимерных молекул, а следовательно увеличивается и способность к высоким обратимым деформациям.

Разрывная нагрузка колеблется у зарубежных материалов 150–500 Н, а у отечественных – 30–180 Н. Высокая нагрузка при разрыве у зарубежных материалов объясняется наличием большого количества волокон, тесно связанных между собой проклеивающей массой.

Таблица 2.6 – Показатели деформационных и прочностных свойств термопластических материалов для подносков обуви

Наименование материала	Условия испытания	Расположение образца, вдоль / поперек (в/п)	Показатели				Примечания
			Разрывная нагрузка R_p , Н	Удлинение разрыва, ϵ_p , %	Предел прочности, МПа	Остающийся угол после изгиба на 90^0	
1	2	3	4	5	6	7	8
Sintex 308	горячий/ холодный	в/п в/п	153,9 / 71,0	20 / 22	15,30 / 17,10	87 / 88	без видимых трещин
			205,2 / 163,4	20 / 18	20,52 / 16,34	42 / 44	
Sintex 310	горячий/ холодный	в/п в/п	210,9 / 229,9	28 / 24	18,18/18,90	88/85	без видимых трещин
			265,9 / 245,2	14 / 16	24,17/20,65	37/45	
Sintex 311	горячий/ холодный	в/п в/п	237,5 / 233,7	24/28	21,59/21,25	89/88	без видимых трещин
			260,3 / 222,3	20/28	23,66/20,21	40/49	
Biterm 327	горячий/ холодный	в/п в/п	209,7 / 203,3	12/16	17,48/16,94	87/87	без видимых трещин
			233,0 / 222,3	10/16	19,42/18,53	39/41	
Biterm 330	горячий/ холодный	в/п в/п	203,3 / 220,0	12/14	18,03/20,73	82/82	без видимых трещин
			209,0 / 228,4	10/10	19,48/20,84	35/36	
Biterm 331	горячий/ холодный	в/п в/п	241,6 / 260,3	28/34	20,11/21,69	88/89	без видимых трещин
			275,5 / 264,1	28/26	22,96/22,01	38/40	
Транс1,4-полиизопрен $t = 1.0$ мм	горячий/ холодный	в/п в/п	114,0 / 184,3	52 / 54	16,28 / 26,33	–	угол не фиксируется; покрытие ломается, угол не фиксируется
			176,7 / 188,1	40 / 44	25,20 / 26,90	–	
Транс1,4-полиизопрен $t = 1.3$ мм	горячий/ холодный	в/п в/п	138,2 / 153,2	36/40	17,24 / 10,66	–	угол не фиксируется; угол не фиксируется, видимые трещины
			91,0 / 108,2	32/30	18,60 / 21,64	20 / 31	
Термопласт	горячий/ холодный	в/п в/п	124,0 / 178,4	46 / 48	14,40 / 17,80	82 / 88	видимые трещины; без видимых трещин
			162,3 / 186,4	40/44	16,20 / 18,20	31 / 36	

Следует отметить также, что с разогревом материала разрывная нагрузка падает. Это можно сказать и о пределе прочности, которое для итальянских материалов колеблется в пределах от 15 до 22 МПа, для отечественных – от 7 до 26 МПа. Направление раскроя существенно не влияет на физико-механические свойства термопластических материалов, однако у образцов, выкроенных в продольном направлении показатели немного лучше, что говорит о продольной направленности волокон в структуре материала, несмотря на их, как кажется, хаотичность расположения.

Сравнение полученных показателей свойств исследуемых термопластических материалов с известными требованиями к каркасным деталям, которые были установлены в 70-х гг. ЦНИИКПом, не производится. Это объясняется тем, что в настоящее время они не вполне соответствуют требованиям к современным материалам для подносков обуви, а, следовательно, сравнение в таком случае будет носить относительный характер.

В процессе изготовления обуви деталям придается форма за счет деформаций изгиба, сжатия и линейного или двухмерного растяжения при воздействии тепла и влаги. При определении потребительских и эксплуатационных характеристик следует учитывать те изменения, которые они претерпевают в процессе изготовления обуви и, главным образом, при обтяжно-затяжных операциях.

Формуемость как показатель способности материала формироваться оценивали по величине остающегося угла, по которому можно судить и о формоустойчивости материалов. Чем больше остающийся угол после изгиба, тем лучше формовочные свойства материалов. Изменение остающегося угла должно стремиться к нулю.

Для исследования формуемости и формообразования термопластических материалов пользовались рекомендациями фирмы TECNO-GI. Образцы каждого материала, выкроенные вдоль и поперек, испытывали вначале в холодном состоянии при комнатной температуре, а затем следующие образцы каждого материала, предварительно разогрев их при температуре 150 °С в течение одной минуты, формовали на специальном приборе для двухосного растяжения в течение 30 с. Методика проведения исследования и используемые приспособления описаны в п. 2.2.

Анализ экспериментальных данных показывает, что термопластические материалы для подносков Sintex имеют очень хорошие формовочные свойства, так как даже в холодном состоянии формование осуществляется на 50 %, тогда как после разогрева материала остающийся угол в среднем равен 88°, а $\Delta = 2$ (т. е. практически приравнивается к нулю).

Отечественный материал транс1,4-полиизопрен существенно уступает в этом плане: в холодном состоянии угол не фиксируется, а термоклеевое покрытие имеет видимые трещины или просто ломается; после разогрева образцы угол принимают, но полностью теряют форму

после удаления из матрицы.

Однако материал Кобринской фирмы «Омега» термопласт практически не уступает зарубежным аналогам. В холодном состоянии формование осуществляется на 40 %, в разогретом почти на 100 %, остающийся угол равен 82–88°. Следует отметить, что направление раскроя образцов существенно не влияет на остающийся угол.

Одним из важнейших показателей при исследовании материалов для каркасных деталей обуви, является их формоустойчивость. Можно иметь прочный и достаточно деформируемый материал, но не формоустойчивый и наоборот. В связи с этим целесообразно, помимо определения формоустойчивости провести исследования термопластичных материалов для обуви на показатели статической и динамической формоустойчивости.

Статическую формоустойчивость оценивали показателем коэффициента статической формоустойчивости при двухосном растяжении. Коэффициент K_f является характеристикой остаточного удлинения, но при более сложном радиальном растяжении. Исследования проводились по методике и на приспособлении, описанных в п. 2.2.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что материалы зарубежного производства и термопласт обладают высокой статической формоустойчивостью (94–98 %) по сравнению с отечественными образцами > 85 %. Однако все исследуемые материалы для подносков по статической формоустойчивости превышают установленную нижнюю границу данного показателя – 75 %.

Однако в реальных условиях эксплуатации термопластичные материалы для подносков обуви ведут себя по-разному. Поэтому были проведены исследования формоустойчивости термопластичных материалов для подносков обуви, отражающие реальные условия носки обуви (см. 4 главу монографии).

Использование ТПМ при производстве задников обуви объясняется рядом преимуществ термопластичных материалов по сравнению с кожкартоном, а также искусственными кожами (нитроискожей-Т, мофорином). Они обладают способностью легко формоваться при нагревании и фиксировать приданную форму после охлаждения, способностью приклеиваться к верху и подкладке без применения клеев и растворителей, высокой стойкостью в процессе эксплуатации, возможностью применения в один слой при сравнительно небольшой толщине. К недостаткам ТПМ можно отнести следующее: расход тепловой и электрической энергии на разогрев материала, отсутствие гигиенических свойств, дефицитность покрытия. Увеличение объема выпуска обуви строчечно-литьевого метода крепления низа определило необходимость изучения свойств термопластичных материалов, применяемых для изготовления задников данного вида обуви. Несмотря на сравнительно дорогостоящую

литьевую оснастку, этот метод за счет высокой производительности и низкой трудоемкости широко применяется для производства обуви стабильного ассортимента.

В рамках данной работы проводились физико-механические исследования термопластичных материалов для задников обуви строчечно-литьевого метода крепления. Значения исследуемых показателей представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Физико-механические показатели термопластичных материалов для задников обуви

Наименование материала	Толщина, мм	Твердость, усл.ед.	Плотность, г/см ³	Нагрузка при разрыве, Н	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %
TADAS 558/46	1,6	68,3	0,61	112	7	29
TADAS 560/46	1,8	63,7	0,65	182	10,14	32
TADAS 589/36	1,6	70,1	0,55	142	8,88	57
MAXIM 613/771	1,5	66,8	0,51	106	7,06	17
MAXIM 614/503	1,7	66,1	0,37	123	7,24	14
MAXIM 614/771	1,7	65,9	0,32	126	7,41	17
MAXIM 615	1,6	79,8	0,54	165	10,34	22
MAXIM 624	1,6	66,6	0,60	171	10,69	34
MAXIM 873/771	1,6	67,3	0,51	132	8,28	19
TALYN 412	1,6	45,9	0,74	178	11,13	26
Sintex 316	2,1	90,7	0,64	451	21,49	17
Biterm 336	2,2	93,9	0,64	490	20,11	12

Анализ экспериментальных данных таблицы 2.7 свидетельствует о том, что все термопластичные материалы для задников обуви имеют примерно одинаковую твердость при толщинах 1,5–1,8 мм, которая в среднем составляет 68,2 условные единицы. Наименьшее значение твердости – 45,9 условных единиц – у артикула TALYN 412. Значения твердости термопластичных материалов Sintex 316 и Biterm 336, имеющих толщину 2,2 мм, существенно выше остальных. Следует отметить, что толщина у итальянских материалов существенно не влияет на их плотность. Наименьшая плотность у материалов артикулов MAXIM 614/503 (0,37 г/см³) и MAXIM 614/771 (0,32 г/см³), в среднем же плотность ТПМ составляет 0,62 г/см³, что ниже величины этого показателя у обувных картонов. Наибольшей плотностью обладает термопластичный материал артикула TALYN 412 – 0,74 г/см³.

Анализируя данные таблицы 2.7, можно отметить, что термопла-

стичные материалы Sintex 316 и Biterm 336 имеют наибольшее значение нагрузки при разрыве (451,25 и 490,5) Н, это объясняется наличием большого количества волокон, тесно связанных между собой проклеивающей массой. У остальных материалов значение разрушающего усилия колеблется от 97 Н до 192 Н. В целом значения предела прочности при растяжении и относительного удлинения ТПМ выше, чем у обувных картонов, что говорит о лучших пластических и прочностных свойствах. Наибольший предел прочности у материалов Sintex 316 и Biterm 336: 20,11–21,49 МПа, однако, значения относительного удлинения у них самые низкие. Наименьший показатель прочности у термопластичного материала TADAS 558/46: 7 МПа. Почти все исследуемые термопластичные материалы имеют относительное удлинение разрыва в пределах 12–57 %, что намного ниже, чем у материала TALYN 412. Относительное удлинение данного термопластичного материала почти в 4,5 раза превышает значения других материалов. Это объясняется тем, что материал TALYN 412 примерно на 80 % состоит из клеевого покрытия, а только 20 % составляет нетканая основа.

Анализ экспериментальных данных показывает, что у всех итальянских ТПМ для задников величина формоустойчивости лежит в пределах 38–44 мм, что указывает на хорошие формовочные свойства. Также после изгиба на поверхности материалов не осталось видимых трещин, они не сломались и не потеряли форму после удаления из матрицы, что делает их формовочные свойства еще лучше.

Анализ экспериментальных данных таблицы 2.8 показал, что высокими показателями жесткости 2-опорной обладают термопластические материалы Sintex 316 и Biterm 336, а наименьшее значение имеют термопластические материалы MAXIM 613/771 и MAXIM 873/771. Такой результат можно объяснить тем, что Sintex 316 и Biterm 336 обладают большей толщиной и двухсторонним клеевым покрытием, что придает данным материалам высокую стойкость к подаваемой нагрузке. Можно отметить, что для ТПМ, также как и для обувных картонов, при увеличении жесткости 2-опорной значение относительного удлинения при растяжении уменьшается. Анализ данных таблицы показал, что материалы Sintex 316 и Biterm 336 имеют самые высокие показатели жесткости по консоли. Это объясняется их наибольшей толщиной и плотным слоем клеевого покрытия. Показатель жесткости по консоли термопластического материала MAXIM 873/771 оказался самым низким, так как данный материал состоит примерно на 98 % из трикотажной основы.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что самый низкий показатель прочности склеивания имеет материал TADAS 589/36, а наилучшим показателем обладает материал TADAS 558/46. Прочность склеивания остальных термопластических материалов лежит в пределах 4,8–10 Н. Можно сказать, что для второстепенного склеивания все исследуемые ТПМ имеют достаточную клеящую способность.

Таблица 2.8 – Эксплуатационные показатели термопластичных материалов для задников обуви

Наименование материала	Изменения остающегося угла, мм	Примечания	Жесткость 2-опорная, Н	Жесткость, кг·см ²	Нагрузка при расслаивании, Н	Прочность склеивания, Н/см	Примечание
TADAS 558/46	40	без видимых трещин	7,7	2,63	31	12,4	расслаивание по межподкладке
TADAS 560/46	38	без видимых трещин	12,5	3,41	12	4,8	
TADAS 589/36	41	без видимых трещин	6,7	2,84	7	2,8	
MAXIM 613/771	43	без видимых трещин	2,0	1,64	25	10	порыв по термопластичному материалу
MAXIM 614/503	42	без видимых трещин	6,5	1,25	22	8,8	расслаивание по межподкладке
MAXIM 614/771	40	без видимых трещин	6,5	1,01	13	5,2	
MAXIM 615	40	без видимых трещин	9,2	1,04	23	9,2	
MAXIM 624	44	без видимых трещин	5,3	2,42	18	7,2	
MAXIM 873/771	39	без видимых трещин	3,1	0,38	17	6,8	расслаивание по межподкладке
TALYN 412	42	без видимых трещин	14,5	1,58	12	4,8	
Sintex 316	42	без видимых трещин	16,3	4,46	13	5,2	
Biterm 336	42	без видимых трещин	22,2	3,24	14	5,6	

Из таблиц 2.7–2.8 можно сделать вывод, что материал МАХІМ 624 обладает небольшой толщиной и жесткостью, высокой прочностью, эластичностью, достаточными прочностью склеивания и нагрузкой при расслаивании, а также наибольшим (44 мм) значением формоустойчивости. Все это говорит о его хороших эксплуатационных свойствах.

Также хорошей формоустойчивостью (43 мм) обладает ТПМ артикула МАХІМ 613/771. Данный материал обладает наименьшим среди исследуемых ТПМ значением предела прочности – 7,06 Мпа, что, тем не менее, соответствует требованиям ГОСТ 9542–89 [2.86]. Малая толщина, жесткость, достаточная эластичность (относительное удлинение равно 17 %, что выше, чем относительное удлинение картонов для задников), высокая прочность склеивания и нагрузка при расслаивании определяют хорошие эксплуатационные свойства указанного ТПМ.

Таким образом, ТПМ артикулов МАХІМ 624 и МАХІМ 613/771 могут быть рекомендованы для более широкого применения в производстве обуви строчечно-литьевого метода крепления низа. В целом можно сказать, что термопластические материалы для задников обуви обладают хорошей формоустойчивостью, пластичностью, а также высокой прочностью.

Как уже упоминалось, задник – это каркасная деталь, отвечающая, прежде всего, за формоустойчивость пяточной части обуви. На сегодняшний день практически все обувные предприятия в нашей стране применяют задники из обувных картонов, которые при хороших упруго-пластических свойствах обладают также хорошей способностью к формованию.

Материалы для задников должны иметь такие физико-механические свойства, чтобы задник не деформировался у основания. Сверху по краю он обязательно должен иметь малую жесткость, чтобы не натирать стопу, но в то же время хорошо сохранять форму в течение всего периода носки обуви. Недостаточные упруго-пластические свойства задника могут явиться причиной травмы стопы или деформации обуви, ухудшения ее внешнего вида и резкого снижения эксплуатационных свойств.

В рамках данной работы проводились исследования кожевенных картонов для задников обуви. В обозначении их артикулов, последнее число обозначает толщину материала, мм. Результаты испытаний физико-механических свойств картонов представлены в таблице 2.9.

На плотность картонов влияют степень размола волокнистой массы, вид и количество проклеивающего вещества, степень уплотнения слоев при прессовании и каландровании. Из таблицы 2.9 видно, что все артикулы картонов имеют примерно одинаковую плотность не зависимо от их толщины и соответствуют требованиям ГОСТ 9542–89 [2.86].

Плотность картонов влияет на их относительное удлинение, жест-

кость, прочность, а также намокаемость, так как, чем плотнее материал, тем труднее в него проникает влага. Из рассматриваемых артикулов наибольшей плотностью обладает картон CFP 1,5, в то же время его удлинение при растяжении наименьшее.

Таблица 2.9 – Физико-механические свойства картонов

Показатели	Наименование материала					
	Lederret 22/1,5	Lederret 28/1,5	CFP 1,5	CFP 2,2	CFD 1,6	CFD 1,5
Плотность, г/см ³	0,85	0,82	0,91	0,90	0,90	0,92
Намокаемость, %	60	60	54	54	57	52
Влажность, %	13	15	13	11	12	13
Относительное удлинение при растяжении, %	14	13	10	12	12	12
Жесткость 2-опорная, Н	5	5	7	14	5	6
Формоустойчивость, мм	37	39	39	33	35	38
Предел прочности при растяжении картонов после замачивания в воде, МПа	4	4	3	3	3	3

На отношение картонов к влаге влияют вид, соотношение волокнистой массы и проклеивающего вещества, некоторые технологические факторы (степень уплотнения, способ сушки). С точки зрения сохранения формы и прочности картон должен иметь малую намокаемость, но все же достаточную для поглощения потовыделений стопы.

Из приведенных в таблице 2.9 данных видно, что величина намокаемости исследуемых картонов варьируется от 50 % до 60 %. Эти значения на 10–15 % больше значений, регламентируемых ГОСТ 9542–89 [2.86], согласно которому картоны для задников обуви должны обладать намокаемостью не более 45 %. Наименьшей намокаемостью обладают картоны CFD 1,5 и CFD 2,2.

Влажность картонов, вследствие их гигроскопичности, а также в зависимости от влажности окружающей среды, может колебаться в значительных пределах. Влажность у всех исследуемых образцов не менее 8 %, что соответствует требованиям стандарта.

Удлинение при растяжении картонов характеризует их эластичность. Наибольшая величина данного показателя у картона Lederret 22. Чем меньше удлинение картонов, тем больше их жесткость. По ГОСТ 9542–89 [2.86] жесткость картонов для задников должна быть в пределах 10–56 Н. Из таблицы 4.9 видно, что лишь картон артикула CFP 2,2 соответствует требованиям данного стандарта.

Показатели «жесткость» и «формоустойчивость» взаимосвязаны

между собой: чем больше жесткость, тем больше формоустойчивость картонов, о чем свидетельствуют результаты испытаний.

В связи с тем, что обувные картонные детали эксплуатируются при постоянном увлажнении потовыделениями стопы, в стандартах нормируется минимальный предел прочности при растяжении картонов после замачивания в воде. Предел прочности при растяжении картонов, также как и плотность, намокаемость и влажность, зависит от вида и соотношения проклеивающего вещества и волокнистой массы, от степени ее уплотнения. У всех исследуемых материалов величина данного показателя не менее 3 Мпа, что соответствует требованиям стандарта. Наибольший же предел прочности – 4 Мпа – у картонов Lederret 22 и Lederret 28.

По результатам исследования и анализу экспериментальных данных установлено, что картоны CFP 2,2 и CFP 1,5 обладают наибольшей жесткостью, высокой плотностью, низким относительным удлинением и пределом прочности при растяжении. При этом картон CFP 2,2 имеет наибольшую толщину – 2,2 мм. Высокая жесткость, плотность, малая пластичность и большая толщина этих картонов означает, что они плохо формуются и имеют низкие эргономические свойства. Учитывая вышеуказанные недостатки, даже несмотря на хорошую формоустойчивость, картоны данных артикулов редко используются в производстве. С точки зрения технологичности производства и эксплуатации деталей и изделий картон Lederret 22 имеет лучшие физико-механические свойства. Он обладает малой жесткостью и толщиной, большой прочностью и эластичностью, что определяет его хорошую способность к обработке и формованию, высокие эксплуатационные свойства, а также способствует увеличению срока службы деталей, изготовленных из него. Данный артикул может быть рекомендован для более широкого применения в производстве картонных задников.

Свойства картона зависят главным образом от свойств исходного сырья и технологии изготовления. Они оцениваются рядом общих и специальных технических показателей. К числу общих технических показателей картона относятся: вес 1 м^2 , толщина, объемный вес, влажность, показатели механической прочности. Специальными техническими показателями являются: впитывающая способность по отношению к воде или другим жидкостям, деформация при увлажнении или подсушке, сжимаемость и обратная упругость, электроизоляционные свойства и др. [2.87]. В зависимости от характера использования картону стремятся придать те или иные технические свойства.

Технические показатели картона связаны с объемным весом, зависящим от исходного сырья, и технологией изготовления картона. С повышением объемного веса возрастают показатели механической прочности картона, увеличиваются упругие свойства, снижается впитыва-

вающая способность. Чтобы увеличить сжимаемость или повысить впитывающую способность, необходимо уменьшить объемный вес картона.

В производстве обувных картонов используют кожевенные и растительные волокна. Исходным сырьем для получения кожевенных волокон служат стружка и вырубка кож хромового и комбинированного дубления, растительных волокон – древесная целлюлоза различных способов обработки, отходы и утильное сырье текстильных материалов из хлопка и льна [2.88].

Волокнистые материалы измельчают и подвергают размолу до появления у них способности к свойлачиванию. Затем следует их проклейка гидрофобными веществами. Вид проклейки зависит от волокнистого состава и назначения картона. Картоны на основе кожевенных волокон проклеивают обычно латексами (преимущественно ДВХБ-70), а в отдельных случаях поливинилацетатной эмульсией; кожевенно-целлюлозные картоны – битумно-канифольной дисперсией и латексами; твердые картоны для геленков вырабатывают с применением канифольной проклейки.

Проклеивание повышает прочностные показатели и водостойкость картона, однако при этом снижается гигроскопичность, что ухудшает гигиенические свойства материала. Поэтому количество проклеивающих веществ, вводимых в картон, строго регламентируется [2.87].

Картоны для задников должны обладать хорошей формоустойчивостью и стабильностью размеров при увлажнении и высушивании. Они состоят в основном из кожевенных волокон (70–85 %) и латексов (30–12 %), выступающих в роли связующего. Также в их состав может входить незначительное количество других компонентов (смола, красителей, стабилизаторов и пр.), улучшающих внешний вид, адгезионные свойства картонов.

Задники для обуви должны соответствовать требованиям «ТУ ВУ 300504191.001–2006 Задники для обуви. Технические условия», техническим описаниям и изготавливаться по образцам-эталонам и технологии производства, утвержденным в установленном порядке [2.89]. Толщина материала для изготовления задников согласовывается непосредственно с заказчиком. Задники могут изготавливаться с клеевым покрытием или без него. В нашей стране на сегодняшний день выпускаются задники без клеевого покрытия.

По степени заформованности картонные задники подразделяются на неформованные, полуформованные и формованные. В настоящее время обувные предприятия Республики Беларусь используют, как правило, формованные задники.

Задники одного размера выпускаются для обуви одного или нескольких смежных размеров. При переходе от одного размера задника к другому приращение по высоте составляет 2 мм, по длине в каждом

крыле – 5 мм. По согласованию с заказчиком величины приращений могут быть изменены.

Технологический процесс изготовления формованных кожкартонных задников состоит из следующих операций: увлажнение картона, разруб картона на прессе (на предприятии «Новый век» используется пресс марки ПВГ-18-0), профилирование заготовок задников по толщине, спуск внешнего края заготовок. Спуск по верхнему краю позволяет уменьшить жесткость задника, улучшить его формуемость, а также избежать в дальнейшем натирания верхней части стопы при эксплуатации готовой обуви. Конструктивные параметры, толщина, ширина спущенного края устанавливаются по согласованию с заказчиком. Заключительный этап производства формованных задников без клеевого покрытия – формование. Режимы формования могут корректироваться в зависимости от артикула, толщины кожкартона, а также особых требований заказчика к исполнению конкретного фасона.

Формование задников, проведенное при неподходящих режимах, приводит к разнообразным дефектам изделий. Поэтому нужно исследовать, как влияют режимы формования на структуру и свойства картонов для задников, с тем, чтобы определить такие режимы, которые бы позволили уменьшить выпуск бракованной продукции и при этом увеличить срок службы готового изделия.

Исследования влияния режимов формования на структуру и свойства картонов для задников проводились на картоне артикула Lederget 22, который был принят оптимальным для применения в производстве. В его состав входит 80–83 % кожевенных волокон, 12 % латекса, остальное – красители и стабилизаторы.

При формовании на заготовку картона для задников воздействуют такие факторы, как влажность, давление, температура, время формования. Для проведения испытаний были выбраны следующие граничные значения данных факторов: влажность $W = 0\%$ – неувлажненная заготовка, $W = 10\%$ – увлажненная заготовка. Минимальное давление $P = 20$ атм. и максимальное давление $P = 80$ атм. Время $t = 2$ с – минимально возможное время формования и $t = 10$ с – максимальное время формования заготовки. Эти режимы были использованы для построения матрицы планирования эксперимента, согласно которой были отформованы образцы картона. Выбор диапазонов осуществлялся с учетом режимной технологии, применяемой на предприятии «Новый век» и технических характеристик оборудования для формования задников. В процессе исследования оценивалось влияние указанных факторов на показатели физико-механических свойств формованных картонов для задников.

В результате анализа экспериментальных данных можно отметить, что режимы формования задников оказывают существенное влияние на следующие показатели, характеризующие свойства картонов:

- относительное удлинение при растяжении – от 19,04 % до 25,23 %;
- предел прочности при растяжении – от 3,03 до 5,07 МПа;
- толщина – от 1,11 до 1,5;
- жесткость по консоли – от 1,21 до 1,78 кг/см²;
- формоустойчивость – от 26 до 42 мм.

Установлено, что режимы формования несущественно влияют жесткость 2-опорную (меняется в пределах 0,1 кг) и практически не оказывают влияние на твердость (92–96 у.е.). Это позволяет предположить, что в структуре картона при формовании могут происходить различные изменения. Рентгенофазовый анализ показал отсутствие каких-либо химических изменений в структуре образцов картона, отформованных при различных режимах. Однако микрофотосъемка поверхности образцов показывает изменения в их физической структуре. Можно отметить, что картон, отформованный при больших температуре и давлениях, в целом имеет более однородную и гладкую поверхность, так как волокна в нем плотнее соприкасаются друг с другом, что предполагает достаточные прочностные свойства. Цвет образцов, которые формовались при высокой температуре либо в течение более длительного времени, темнее, чем у остальных. Особенно это относится к неувлажненным образцам. В этих образцах произошло обугливание поверхностных слоев материала, то есть частичная деструкция химического строения полимера, что снизило их прочностные характеристики, и они незначительно отличаются от характеристик образцов, подвергнутых менее интенсивному формованию. Жесткость же у таких образцов несколько выше, чем у прочих за счет частичного спекания волокон друг с другом.

Что касается увлажненных образцов, то их цвет светлее, чем у неувлажненных и более однороден, то есть обугливание поверхности картона незначительно либо вовсе не происходит. Так же видно, что увлажненные образцы после формования обладают в целом лучшими значениями испытываемых показателей. Указанные факты можно объяснить тем, что при тепловой фиксации формы влага препятствует деструкции полимерных волокон за счет улучшения процесса теплопереноса. Она перемещается по капиллярно-пористой структуре волокон картона в жидком или парообразном виде, ускоряет передачу тепла в толщину материала, выравнивая и углубляя тем самым термомеханические воздействия на заготовку. Таким образом, материал получается более плотным и однородным. Поскольку материал уплотняется, его толщина становится меньше, что, в свою очередь, положительно влияет на эргономические свойства задника. Кроме того, увлажнение материала облегчает условия деформации в результате понижения свободной энергии тела на границе с адсорбционно-активной средой, в качестве которой используются водяные пары, введенные в капиллярно-пористую структуру полимера, то есть способствует улучшению формовочных свойств

картона.

Исходя из сказанного, можно заключить, что увлажнение играет важную роль в процессе формования задника. Увлажненные картоны после формования в большей степени стремятся сохранять первоначально приданную им форму, труднее разрываются и потому лучше растягиваются, то есть становятся более пластичными. Но все же чрезмерное увлажнение материала может привести к ухудшению его прочностных свойств, что обуславливается раздвижением элементов полимера молекулами воды. Кроме того, избыточное содержание влаги требует в дальнейшем дополнительных расходов на сушку изделия.

2.4 Исследование влияния режимов формования на формоустойчивость систем материалов, узлов заготовки верха в процессе производства обуви

Верх обуви представляет собой систему материалов «верх + межподкладка + подкладка». Эта система деформируется сначала в процессе производства, а затем при носке. Знание прочностных и реологических характеристик наиболее напряженных в системе материалов позволяет правильно выбирать условия формования и прогнозировать время носки верха обуви. Известно, что разработка режимов формования на основании только прочностных характеристик материалов не дает достоверных результатов. Для создания формоустойчивой обуви необходимо знание рациональных величин деформации кожи при формовании в совокупности с ее влажностью и режимами фиксации. С этой целью был проведен эксперимент, в котором исследовали системы материалов: верх + межподкладка + подкладка. Методика эксперимента не имеет принципиальных отличий от изложенных выше для испытаний на двухосное растяжение. В качестве материалов верха использовали полужоник разной тягучести, а для межподкладки и подкладки – традиционные обувные материалы: бязь и тик-саржу. В системе материалов бязь дублировали с верхом клеем НК 7–8 %-ной концентрации. В более поздних исследованиях применяли другие материалы с термоклеевым слоем.

Несмотря на то, что нельзя охватить весь диапазон свойств кож разной тягучести, представляется интересным с помощью планирования эксперимента найти рациональный режим формования систем материалов. После уточнения диапазона варьирования деформации систем материалов, уровни и интервалы варьирования сведены в таблицу 2.10. Из таблицы 2.10 следует, что величина двухосной деформации соответствует обычным значениям ее в носочной части обуви при формовании

заготовки на колодке обтяжно-затяжным способом.

Таблица 2.10 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Символ	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		–	0	+	
Абсолютная влажность кожи (в системе материалов) W , %	X_1	20	25	30	5
Деформация системы материалов ε_1 , %	X_2	5	12,5	20	7,5
Температура воздуха в сушилке T , °C	X_3	80	100	120	20

Результаты экспериментов представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Рабочая матрица и результаты эксперимента (двухосное растяжение систем материалов)

№ опыта	Рабочая матрица			Значения параметра оптимизации			
	W , %	ε , %	T , °C	E_1^C	E_2^C	E_3^C	E_{cp}^C
1	20	5	80	80	80	79	80
2	30	5	80	83	82	83	83
3	20	20	80	77	79	77	78
4	30	20	80	84	84	85	84
5	20	5	120	79	81	80	80
6	30	5	120	89	88	89	89
7	20	20	120	81	82	80	81
8	30	20	120	85	86	86	86

После проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ 2^3) пришли к уравнению (2.10), связывающего E^C (Y_C) с абсолютной влажностью кожи (X_1), деформацией систем материалов (X_2), температурой воздуха в сушилке (X_3)

$$Y_C = 82,27 + 2,89X_1 - 1,01X_2 + 1,4X_3 - 0,26X_1X_2 + 0,47X_1X_3 - 0,42X_2X_3 - 0,63X_1X_2X_3. \quad (2.10)$$

В уравнении (2.10) наиболее значимым фактором является X_1 , а X_2 и X_3 – менее значимыми. Относительные остаточные деформации значительно возрастают с увеличением влажности кожи. Причем, при деформации системы 5 % и температуре воздуха в сушилке 120 °C это

явление более существенно. Величина деформации системы материалов не оказывает влияния на изменение E^C при температуре воздуха в сушилке 80 °С. Однако при температуре воздуха 120 °С увеличение деформации системы вызывает уменьшение относительных остаточных деформаций, что особенно заметно при абсолютной влажности кожи 30 %. Практически E^C не изменяется с увеличением температуры воздуха в сушилке с 80 до 120 °С при абсолютной влажности кожи 20 %, он увеличивается при абсолютной влажности кожи 30 % и деформации системы 5 %.

Подводя итоги анализа системы материалов, можно сделать следующие выводы:

- получены математические зависимости, связывающие параметры основных технологических процессов – абсолютной влажности кожи, ее деформации и температуры воздуха в сушилке с величиной относительной остаточной деформации систем материалов при фиксации их в радиационной сушилке;

- установлено, что относительные деформации бязи и тик-саржи невелики и в связи с этим не обеспечивают высокой формоустойчивости систем материалов; чем лучше способность кожи к растяжению, тем выше формоустойчивость систем материалов в исследуемых диапазонах варьирования факторов;

- в исследованном диапазоне варьирования факторов можно добиться формоустойчивости систем материалов даже при влажности кожи 20 %;

- формоустойчивость систем материалов несколько выше E^C кож соответствующей тягучести;

- несоответствие оптимумов тягучести кож и наиболее распространенных межподкладочных материалов (бязи) и тик-саржи не позволяет эффективно и качественно использовать кожевенные материалы.

При прогнозировании выбора рациональных режимов формования верха обуви представляет интерес – как при минимальных исследовательских затратах получить достаточный экономический эффект. Другими словами, как используя простые испытания, можно прогнозировать выпуск качественной продукции.

Была изготовлена опытная партия обуви (мужские полуботинки с настрочными берцами). Заготовки с верхом из кож разной тягучести собирали на швейном потоке по одной технологической схеме, затем увлажняли. При формовании обуви соблюдались режимы, описанные выше. В готовой обуви замеряли формоустойчивость.

Формование заготовки проводилось по следующей схеме:

- предварительное формование пяточной части заготовки;
- обтяжка и клеевая затяжка носочно-пучковой части;
- затяжка пяточной части;

– затяжка геленочной части заготовки.

При обтяжке и затяжке носочно-пучковой части заготовки на машинах типа ЗНК стремились достичь величин деформаций в пучковой части союзки, близких к расчетным, уменьшением площади заготовки. После затяжки и замера деформации заготовки фиксация проводилась в сушильной камере установки. Для замера деформации заготовки использовали метод «кругов» с диаметром 10 мм, по которым оценивалась общая величина деформации и остаточная. Замеры остаточных деформаций кругов проводили после снятия обуви с колодки и недельной выдержки в нормальных условиях. Результаты исследования и сравнения с контрольными образцами показали, что экспериментальная обувь обладает хорошей формоустойчивостью.

В результате проведенных исследований были получены рациональные режимы формования верха обуви, представленные в таблице 2.12.

Температура лицевого слоя кожи при сушке не превышала 105 °С.

Таблица 2.12 – Рациональные режимы формования

Материал верха	Вид Обуви	Режимы формования				
		W, %	ε , %	T, °С	T _к , °С	τ , мин
Полукожник, яловка $\varepsilon_1 = 13-15 \%$	бесподкладочная	26–30	10–13	80–120	60–105	10–14
	с подкладкой	26–30	9,5–12	100–120	80–105	12–18
Полукожник, яловка $\varepsilon_1 = 24-26 \%$	бесподкладочная	20–25	15–17	100–120	80–105	7–10
	с подкладкой	25–30	12–14	100–120	80–105	10–15
Полукожник, яловка $\varepsilon_1 = 34-36 \%$	бесподкладочная	20–25	17–23	100–120	80–105	7–10
	с подкладкой	26–30	12–14	100–120	80–105	10–15

T_к – температура кожи при сушке

Анализируя опытные данные, можно заметить одну характерную особенность: величины рациональных деформаций кож выше значений деформации пучковой части заготовки при формовании даже в случае использования кож малой тягучести. Применение подкладочных и межподкладочных материалов нивелирует свойства кож, и поэтому деформации оказались в пределах обычных значений деформации этой части заготовки – 10–13 %.

Отсюда можно сделать вывод, что для экономного использования кожевенного сырья и выпуска высококачественной обуви необходимо подбирать для межподкладки и подкладки материалы, близкие по тягу-

чести к коже верха. Это позволит сократить расход кожи на 2–7 %. Кроме того, применение таких материалов даст возможность интенсифицировать процесс фиксации за счет незначительного увлажнения заготовки. Необходимо совершенствовать технологию в плане разработки оборудования, обеспечивающего большую и равномерную вытяжку заготовок при формовании, наладить выпуск подкладочных и межподкладочных материалов, близких по тягучести к верху, а также проводить исследования по оптимизации режимов формования.

Таким образом, выполненная работа позволила предложить совокупность технологических режимов формования, обеспечивающих достаточно высокую формоустойчивость обуви при ее производстве. В зависимости от действующих технологических процессов, применяемых материалов и оборудования предложенные диапазоны варьирования параметров можно конкретизировать, используя полученные зависимости.

При современных интенсифицированных способах производства обуви необходимо прежде всего нахождение рациональных режимов фиксации, при которых в короткие сроки обеспечивалось бы максимальное снижение напряжений в материалах верха после сушки.

Таким образом:

- установлены зависимости, связывающие режимы основных технологических факторов: влажности, удлинения, температуры сушки и вакуумметрического давления с величиной относительного остаточного удлинения полужошника разной тягучести при фиксации в радиационно-вакуумной и радиационной сушилке;

- анализируя экспериментальные данные можно отметить, что при значительной вытяжке материала верха и температуры воздуха в сушилке 80–120 °С можно добиться высоких значений относительных остаточных удлинений даже при незначительных величинах абсолютной влажности кожи 20–25 %;

- получены зависимости, связывающие режимы основных технологических факторов: влажности, деформации кожи и температуры сушки с величиной относительной остаточной деформации при использовании радиационного способа сушки. Следует отметить, что высоких значений остаточных деформаций можно добиться при определенной деформации кожи, величины ее увлажнения и температуры воздуха в сушилке;

- установлено, что относительные остаточные деформации бязи и тик-саржи невелики и в связи с этим не обеспечивают высокой формоустойчивости систем материалов. Чем лучше способность кожи к растяжению, тем выше формоустойчивость систем материалов;

- несоответствие оптимумов тягучести кож и наиболее распространенных видов межподкладочных и подкладочных материалов – бязи и тик-саржи не позволяет эффективно и качественно использовать

кожевенное сырье;

– необходимо совершенствовать технологию в плане разработки оборудования, обеспечивающего большую и равномерную вытяжку заготовок при формовании; подбирать подкладочные и межподкладочные материалы, близкие по тягучести к верху обуви.

Внешний вид обуви существенно зависит от ее носочной части, а сохранение его в процессе носки – от материалов, применяемых для верха обуви, и прежде всего от стойкости к различного рода воздействиям подносок, создающих форму носочной части изделия.

Объектами исследований являлись системы материалов верха, имитирующих носочную часть обуви. Эти системы различались видом материала верха и подноска.

В качестве материала верха были использованы следующие виды кож:

– натуральная эластичная кожа хромового дубления, выпущенная по ТУ РБ 17-03-55-89 [2.90];

– искусственная кожа арт. NEVARA/B5 производства совместного российско- итальянского предприятия «Креспи-Тверь»;

– искусственная кожа арт. EP производства «Креспи-Тверь»;

– искусственная кожа арт. 3P-3N производства «Креспи-Тверь».

Используемые в системах материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, искусственные кожи представляют собой тканевую основу с пенополиуретановым покрытием.

В качестве материала подноска применялись исследуемые термопластические материалы Sintex 308, 310, 311, 312 в системах с натуральной кожей, кроме этого, Sintex 308 использовался и в системах с верхом из искусственных кож. Vitern 327, транс 1,4-полиизопрен и термопласт были использованы и в системах с верхом из натуральной и искусственных кож.

Для подкладки в исследуемых системах с верхом из натуральной кожи по существующим технологическим процессам применялось трикотажное полотно арт. 846, вырабатываемое переплетением трико-сукно на однофонтурной основовязальной машине. В обуви с верхом из искусственных кож для улучшения ее гигиенических свойств в качестве материала подкладки рекомендуется применять натуральную кожу. Поэтому в системах с верхом из искусственных кож для подкладки использовалась кожа подкладочная свиная по ГОСТ 940–84 [2.91].

Материалы верха собирались в системы, моделирующие носочную часть обуви, следующим образом. Вначале кожи верха по реально существующим технологическим режимам дублировали межподкладкой при температуре 120 °С в течение 8 секунд. Затем в тех системах, где в качестве материала подноска использовались термопластические материалы Sintex, материалы верха, продублированные межподкладкой,

с бахтармянной стороны промазывались латексным клеем. Последним этапом соединения систем было их дублирование при следующих режимах:

– для систем с термопластическим материалом Sintex и Biterm – температура активации 180 °С, время активации 3 с, температура прессования 150–170 °С, время прессования 16–18 с, давление – 4МПа;

– для систем с термопластическим материалом транс 1,4-полиизопрен – температура активации 180 °С, время активации 5 с, температура прессования 120–150 °С, время прессования 14–16 с, давление – 4МПа;

– для систем с термопластическим материалом термопласт – температура активации 180 °С, время активации 5 с, температура прессования 120–130 °С, время прессования 16–18 с, давление – 4 МПа.

Результаты исследования клеящей способности систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, занесены в таблицу 2.13. Анализируя полученные данные, можно сказать, что для второстепенного склеивания исследуемые термопластические материалы имеют достаточную клеящую способность.

Таблица 2.13 – Определение прочности склеивания систем материалов верха

Наименование термопластического материала, входящего в систему верха	Направление раскроя	Нагрузка при расслаивании, $Q_{ср}$, Н	Прочность склеивания, Н/см
Sintex 308	вдоль	10,3	6,9
	поперек	10,4	6,9
Sintex 310	вдоль	6,8	4,5
	поперек	6,2	4,1
Sintex 311	вдоль	12,9	8,6
	поперек	12,2	8,1
Biterm 327	вдоль	9,8	6,5
	поперек	8,1	5,4
Biterm 330	вдоль	12,6	8,4
	поперек	11,8	7,9
Biterm 331	вдоль	12,8	8,5
	поперек	11,3	7,5
Транс1,4-полиизопрен t = 1,0 мм	вдоль	5,7	3,8
	поперек	6,0	4,0
Транс1,4-полиизопрен t = 1,3 мм	вдоль	17,0	11,3
	поперек	16,1	10,7
Термопласт	вдоль	15,6	10,4
	поперек	14,4	9,6

Так, нагрузка при расслаивании у термопластических материалов в среднем равна: Sintex – от 6 до 13 Н; Biterm – 7–15 Н; транс1,4-полиизопрен (t = 1,0 мм) – 4–6 Н; транс1,4-полиизопрен (t = 1,3 мм) – 16

– 17 Н; термопласт – от 14 до 16 Н. Прочность склеивания лежит в пределах: Sintex – 4–9 Н/см; Biterm – 6–10 Н/см; транс1,4-полиизопрен ($t = 1,0$ мм) – 3–4 Н/см; транс1,4-полиизопрен ($t = 1,3$ мм) – 10–12 Н/см; термопласт – 9–10 Н.

Можно сделать вывод о том, что отечественные материалы не уступают итальянским по прочности склеивания. Также следует отметить, что направление раскроя влияет на прочностные характеристики при склеивании. Образцы, выкроенные в поперечном направлении, имеют прочность склеивания несколько ниже, чем в продольном.

Для определения формуемости системы материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, деформировали на величину 15 % с помощью специального приспособления для двухосного растяжения, описанного ранее в п. 4.2. Метод испытания заключался в давлении шаровым сегментом на системы материалов при режимах формования, соответствующих технологической последовательности:

- обойму с образцом помещали в термостат на 2–5 мин для прогрева материала, температура воздуха в термостате – 150 °С;

- обойму надевали на основание, зажимали болтами и выдерживали в течение 10 мин на открытом воздухе в формованном состоянии, что примерно соответствует прохождению заготовки по обтяжно-затяжному участку;

- приспособление с образцом помещали в сушилку (термостат) на 20 мин;

- после сушки деформированные образцы выдерживали при нормальных условиях 30 мин (что примерно соответствует времени от операции «фиксация формы обуви» до «снятия обуви с колодки»);

- измеряли высоту отформованных образцов с помощью индикатора часового типа;

- освобождали от зажимов и выдерживали в нормальных условиях (влажность 65 ± 6 %, температура 20 ± 3 °С) не менее 24 часов;

- еще раз измеряли высоту образцов после выдержки.

Результаты испытаний и расчета статического коэффициента формоустойчивости представлены в таблице 2.14.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что формоустойчивость систем материалов, в которых в качестве наружного материала верха использовалась натуральная кожа, а в качестве подноски – итальянские материалы Sintex, примерно одинакова, но существенно превосходит формоустойчивость подобных систем материалов, где применялись материалы отечественного производства – транс 1,4-полиизопрен и термопласт. Материалы итальянского производства Sintex 308, 310, 311 предпочтительны для использования в качестве материала подноски в обуви с объемной носочной частью.

При использовании в качестве материала верха искусственных

кож лучшим статическим коэффициентом формоустойчивости обладают те системы материалов верха, в которых в качестве подноски использовался Biterm 327, а меньшим – Sintex 308, который из всех марок термопластических материалов Sintex и в системах с натуральной кожей имел меньшее значение статического коэффициента формоустойчивости.

Таблица 2.14 – Влияние вида каркасного материала на статический коэффициент формоустойчивости систем материалов, имитирующих носочную часть обуви

Вид системы	Средняя толщина образца системы, мм	Среднее значение статического коэффициента формоустойчивости, K_f , %
НК + термобязь + Sintex308 + подкладка	2,4	93
НК + термобязь + Sintex310 + подкладка	2,5	94
НК + термобязь + Sintex311 + подкладка	2,5	95
НК + термобязь + Biterm 327 + подкладка	2,9	94
НК + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2,6	85
НК + термобязь + Biterm 327 + подкладка	2,5	98
НК + термобязь + термопласт + подкладка	2,2	87
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Sintex 308 + подкладка	2,6	88
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + транс 1,4 – полиизопрен + подкладка	2,9	98
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Biterm 327 + подкладка	2,7	99
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + термопласт + подкладка	2,5	93
ИК арт. EP + термобязь + Sintex 308 + подкладка	2,6	87
ИК арт. EP + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2,9	91
ИК арт. EP + термобязь + Biterm 327 + подкладка	2,7	97
ИК арт. EP + термобязь+термопласт + подкладка	2,5	90
ИК арт. SP-3N + термобязь + Sintex 308 + подкладка	2,5	82
ИК арт. SP-3N + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2,8	93
ИК арт. SP-3N + термобязь + Biterm 327 + подкладка	2,7	99
ИК арт. SP-3N + термобязь + термопласт + подкладка	2,4	93

Тем не менее, все исследованные системы материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, независимо от вида используемого материала для верха и подноски, обеспечивают необходимый уровень

формоустойчивости носочной части обуви, так как, по литературным данным, статический коэффициент формоустойчивости, превышающий 75 %, обеспечивает высокое качество формования обуви [2.92].

Пяточная часть обуви подвержена существенным физико-механическим воздействиям стопы, что довольно часто приводит к потере ее формы. Основным вклад в формоустойчивость этой части обуви вносят материалы для задников. Исследования проводили на готовой обуви.

Различают производственный и эксплуатационный этапы оценки формоустойчивости обуви. В производственных условиях необходимо стремиться к снятию пластической деформации и максимальному снижению остаточных напряжений в обуви после процесса ее сборки. Это первый этап оценки формоустойчивости обуви – производственный. На его основе можно предположить, что провести процесс формования удалось качественно и конструкция заготовки была правильно спроектирована с учетом упруго-пластических свойств материалов, то формоустойчивость обуви будет хорошая. [2.93]. На данном этапе важную роль играет статическая формоустойчивость.

Для анализа точности оценки статической формоустойчивости пяточной части обуви на приборе ЖНЗО-2 в производственных условиях в испытательной лаборатории ОАО «Красный Октябрь» проводились испытания выборки состоящей из 25 полупар полуботинок мужских 43 размера. Образец обуви представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Образец мужской обуви, отобранный для испытания формоустойчивости пяточной части на приборе ЖНЗО-2, материал задника Lederret 22

Результаты проведенных исследований показали большой разброс остаточной деформации пяточной части обуви от 0,15 до 0,98 мм.

При проведении испытаний были выявлены следующие факторы, отрицательно влияющие на результаты:

- несоответствие вкладышей к прибору ЖНЗО-2 современным колодкам;

- прибор не позволяет точно установить пяточную часть обуви и надежно ее зафиксировать;

- проведение испытаний требует постоянного внимания экспериментатора, так как он должен выполнять множество различных функций.

Исключим из выборки резко выделяющиеся экспериментальные данные, полученные из-за присутствия несистематических ошибок измерения по указанным ранее причинам, для чего воспользуемся критерием Смирнова-Грабса [2.94]. Расчеты показывают, что значения остаточной деформации равные 0,15, 0,23, 0,36 и 0,98 (№№ образцов 7, 11, 20, 25) из полученной выборки необходимо исключить, то есть практически шестая часть экспериментальных данных оказалась неверной. Это обуславливается как условиями проведения эксперимента, так и указанными недостатками самой методики.

Проведем статистическую обработку [2.94, 2.95] оставшихся в выборке данных. После статистических расчетов получены следующие характеристики точности результатов экспериментов. Дисперсия (характеристика разброса вокруг среднего) – 0,004405. Квадратическая неравномерность (характеристика точности) – 8,974475 %. Абсолютная доверительная ошибка, допущенная при оценке математического ожидания (среднего значения) – 0,028966. Относительная доверительная ошибка, допущенная при оценке математического ожидания (среднего значения) – 2,896554. Доверительный интервал для среднего, построенный с доверительной вероятностью, равной 0,95, – 0,72–0,76, то есть 95 % полученных результатов остаточной деформации принимают значения от 0,72 до 0,76.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что 21 из 25 подвергшихся испытаниям однотипных образцов обладают приблизительно одинаковой формоустойчивостью пяточной части, что говорит о достаточной объективности результатов, полученных на приборе ЖНЗО-2. Однако результаты испытаний 16 % образцов пришлось исключить из выборки вследствие недостатков методики, описанных выше.

На приборе ЖНЗО-2 в лабораторных условиях с целью выявления недостатков методики проводились исследования мужской, женской и детской обуви различных моделей ассортимента.

При испытании формоустойчивости пяточной части мужской обуви экспериментальные данные у части выборки получились неверными из-за того, что в стандартный набор вкладышей не входили вкладыши нужных форм и размеров. Компенсация данного недостатка спе-

циальными прижимами в данном случае не была результативной.

В результате определения формоустойчивости пяточной части полуботинок мужских строчечно-литьевого метода крепления низа на приборе ЖНЗО-2, искаженные экспериментальные данные получились у 20 % от выборки. Причины искажения результатов испытаний оказались теми же, что и у мужской обуви с картонным задником.

Образцы женской обуви имеют более широкий модельный ряд, чем образцы мужской обуви, поэтому наличие каблуков различной формы и высоты, наличие высоких голенищ и прочих элементов в ряде случаев не позволяет провести должным образом испытания формоустойчивости пяточной части по ГОСТ 9135–2004 [2.83]. К основным недостаткам методики в данном случае можно отнести то, что вкладыши плохо вставляются во многие виды модельной женской обуви из-за несоответствия их современным фасонам колодки, а наличие высоких каблуков и высоких голенищ (у сапог) затрудняет надежное закрепление образцов и их расположение на плите прибора. Наибольший процент искаженных экспериментальных данных (50 %) приходится на группу женских сапог; 12,5 % – на туфли с высокими каблуками; 6,3 % – на туфли с низкими каблуками.

Выявленные недостатки указанной методики при испытании формоустойчивости пяточной части детской обуви на приборе ЖНЗО-2 оказались те же, что и при испытаниях мужской и женской обуви. Кроме того, вследствие малых размеров детской обуви, в особенности дошкольной, устройство для закрепления обуви зачастую располагается на плите прибора слишком низко, так, что приходится искусственно ее приподнимать, что отрицательно влияет на результаты испытаний. Установлено, что более половины (56 %) экспериментальных данных у образцов детской обуви оказались искаженными. Наибольшее количество искаженных результатов (67 %) наблюдается в группе дошкольной детской обуви. В группе школьной обуви для девочек 57 % неверных результатов. Наименьший процент – 44 % – получился в группе школьной обуви для мальчиков.

Из проведенного исследования видно, что методика, регламентированная стандартом, мало применима для испытаний формоустойчивости пяточной части женских сапог, модельной обуви, а также школьной обуви и практически не применима для испытаний детской обуви.

В дальнейшем был проведен сравнительный анализ результатов испытания формоустойчивости пяточной части обуви согласно методике, регламентированной стандартом, на приборе ЖНЗО-2, и по разработанной экспресс-оценке формоустойчивости пяточной части обуви на приборе ПЭОФО. Данные статистического анализа не приводятся.

Дисперсия экспериментальных данных, полученных на приборе

ПЭОФО больше, чем полученных на приборе ЖНЗО-2. Однако, проверка гипотезы о равенстве выборочных дисперсий оказалась утвердительной, так как $Z_{discn} = 1,682 < F_{0,95}(16,16) = 2,333$. Что же касается равенства средних, то оно очевидно.

Дисперсия на приборе ПЭОФО и в данном случае несколько выше, чем на приборе ЖНЗО-2. Однако, рассчитав критерий значимости Z_{discn} , мы можем принять гипотезу о равенстве выборочных дисперсий, так как $Z_{discn} = 1,118 < F_{0,95}(32,32) = 1,804$. Равенство же средних в данном случае также очевидно.

У результатов испытаний образцов детской обуви, полученных на приборе ПЭОФО, также наблюдается более высокая дисперсия, чем у результатов, полученных на приборе ЖНЗО-2. Проверка гипотезы о равенстве выборочных дисперсий показывает, что критерий значимости $Z_{дисп} = 1,485$ меньше значения квантиля распределения Фишера $t_{0,95}(10,10) = 2,978$, то есть данная гипотеза принимается. Проверим гипотезу о равенстве средних. Критерий согласия $Z_{cp} = 0,741$ меньше, чем значение квантиля распределения Стьюдента $t_{0,95}(20)$, равное 1,725. То есть, средние значения по остаточным деформациям, полученным на приборах ПЭОФО и ЖНЗО-2, можно считать одинаковыми.

Исследования показали, что методика, регламентированная ГОСТ 9135–2004 [2.83], позволяет достаточно объективно проводить испытания повседневной обуви, однако она мало подходит для испытаний формоустойчивости пяточной части женских сапог, модельной обуви, а также школьной обуви и не подходит для испытаний детской обуви. Таким образом, применение указанной методики имеет существенное ограничение.

Были проведены сравнительные исследования статической формоустойчивости пяточной части обуви согласно разработанным методикам и согласно ГОСТ 9135–2004. Математико-статистические методы сравнения экспериментальных данных показали совпадение результатов испытаний, то есть их можно считать идентичными.

В разработанных методиках недостатки, присущие методике, регламентированной ГОСТ 9135–2004, выявлены не были. Это позволяет утверждать, что их применение для испытаний формоустойчивости пяточной части обуви в статике является более целесообразным.

За почти пятилетний срок анализа обуви, выпускаемой на предприятиях Концерна «Беллегпром», удалось установить только единичные случаи значений остаточной деформации пяточной части более 1 мм. Все это позволяет сделать заключение – так ли необходим этот показатель для оценки качества обуви. Недостатки методики измерения этого показателя были опубликованы нами в ряде статей [2.96–2.99]. Сам стандартный подход к решению вызывает сомнение – измеряем

формоустойчивость обуви снаружи, а ведь стопа действует на верх изнутри. Тем то и хороша разработанная нами методика, что позволяет измерять формоустойчивость пяточной части как снаружи, так и изнутри. Кроме того, она позволяет оценить жесткость крыла задника как к внешним воздействиям, так и действию стопы человека.

2.5 Оптимизация режимов формования верха обуви

Процесс сборки обуви и, в основном, формование верха обуви во многом определяет ее качество. Оценить эффективность проведения режимов формования можно по внешнему виду обуви: усадке, искажению геометрических размеров, перекосу швов, нарушению деталей и разрыву швов, вылеганию задника и подноски и т. п. Кроме того, есть еще и дефекты, которые скрыты и проявляются лишь в процессе носки обуви – это быстрая потеря формы обуви (растоптывание, сваливание верха на наружную и внутреннюю стороны, складкообразование на союзочной части верха, оседание задника и подноски), разрушение деталей верха и швов, скрепляющих их и т. д.

Известно, что основным дефектом, из перечисленных выше, является потеря формы (низкая формоустойчивость) обуви после ее изготовления, в процессе хранения и носки.

Как показали исследования, проведенные в последнее время, примерно половина из всех дефектов обуви связана с неправильным выполнением режимов формования. Значительная доля этих дефектов приходится на низкую формоустойчивость. В связи с этим особо важное значение приобретает развитие ряда теоретических и практических вопросов формоустойчивости обуви, которые еще до настоящего времени недостаточно разработаны.

Качество обуви, ее формоустойчивость, формируется в процессе обтяжно-затяжных процессов производства, то есть процессов, предшествующих формованию, собственно формование и фиксация верха обуви. В зависимости от способа формования и способа закрепления затяжной кромки заготовки технологические режимы выполнения таких операций могут быть разными. Многообразие операций технологического процесса и показателей качества для их оценки требует комплексного решения подобного рода задач.

Решение таких задач может осуществляться с применением методов векторной оптимизации. Задача обеспечения достаточной формоустойчивости обуви может быть сформулирована в виде (2.11)

$$(q_1(X), q_2(X), \dots, q_k(X)) \rightarrow \max_{X \in D}, \quad (2.11)$$

$$D: h_j(X) \geq 0 \quad (j = 1, \dots, m),$$

где $q_i(X)$ ($i = 1, 2, \dots, k$).

Формальным решением задачи многокритериальной оптимизации (2.11) является множество Парето P (решение X' принадлежит множеству P , если не найдется другое решение $X'' \in D$, для которого значение хотя бы по одному критерию качества более предпочтительно и остальные имеют значения не хуже, чем X'). Для выбора компромиссного решения X'' из множества P необходимо получение и обработка дополнительной информации J , которой располагают эксперты по проблематике формирования и формоустойчивости обуви.

Можно выделить три основных подхода при решении задач многокритериальной оптимизации: априорный, апостериорный и адаптивный. Целью первых двух является сведение многокритериальной задачи к однокритериальной путем соответствующей свертки критериев в один – глобальный. Априорный подход используется в случаях, когда информация о системе предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), достаточна для построения глобального скалярного критерия, по которому осуществляется выбор компромиссной альтернативы. Апостериорный подход применим, если имеются предположения о функции предпочтения. Однако наиболее универсальным следует считать адаптивный или человеко-машинный подход, так как он наиболее эффективно позволяет осуществить поиск компромиссного решения, учитывая объем и вид знаний, располагаемых ЛПР. Применение адаптивного подхода стало возможным с появлением систем, допускающих прямой диалог ЛПР с ЭВМ, поэтому выбираем адаптивный подход.

Поясним методику применения указанных подходов на конкретном примере. Рассмотрим двухкритериальную задачу обеспечения формоустойчивости обуви. В качестве критериев выбраны статическая $q_1(X)$ и динамическая $q_2(X)$ формоустойчивость обуви после ее производства, в процессе хранения и при ее носке. Варьируемыми параметрами технологического процесса являются влажность кожи (x_1), деформация материала верха при формовании (x_2), температура воздуха при фиксации заготовки на колодке (x_3). Результаты исследования зависимостей $q_1 = q_1(X)$ и $q_2 = q_2(X)$ представлены в таблице 2.15. Интервалы варьирования параметров x_1, x_2, x_3 находятся в пределах (2.12)

$$20 \leq x_1 \leq 30,$$

$$7 \leq x_2 \leq 17, \quad (2.12)$$

$$80 \leq x_3 \leq 120.$$

При построении моделей критерия $q_i(X, A_i)$ ($i=1, 2$) можно воспользоваться методом наименьших квадратов.

Проблема выбора рациональных режимов технологических процессов сборки обуви может быть формализована в виде задачи векторной оптимизации (2.13).

$$Q(X) = (q_1(X), q_2(X), \dots, q_k(X))^T \rightarrow \max_{X \in D},$$

$$D: h_j(X) \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m), \quad (2.13)$$

$$X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Таблица 2.15 – Зависимость статической и динамической формоустойчивости от параметров технологического процесса

№ опыта, j	Значение параметров технологического процесса			Значение критериев		
	X ₁ , (%)	X ₂ , (%)	X ₃ , (°C)	q ₁ , (%)	q ₂ , (%)	q' ₂
1	20	7	80	55,5	14,0	0,97
2	30	7	80	65,9	16,6	0,93
3	20	17	80	65,4	5,6	5,6
4	30	17	80	77,0	6,0	6,0
5	20	7	120	62,6	15,7	0,95
6	30	7	120	72,8	14,6	0,96
7	20	17	120	72,6	6,7	5,3
8	30	17	120	80,1	5,3	5,3

Данная постановка указывает на существование к критериев качества $q_i(X)$ ($i = 1, 2, \dots, k$), значение которых необходимо максимизировать, m функциональных ограничений $h_j(X) \geq 0$ ($j = 1, 2, \dots, m$) и n ограничений на диапазон варьирования управляемых параметров $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ процесса. Формально решение $X' \in D$ более предпочтительно $X'' \in D$, если все значения критериев для X' не меньше, чем для X'' и существует такой критерий r , для которого $q_r(X') > q_r(X'')$.

Оптимальным решением задачи (2.13) является вариант $X_{opt} \in D$, имеющий максимальные значения по всем критериям (2.14):

$$q_i(X_{opt}) \rightarrow \max_{X \in D} q_i(X) \quad (i = 1, 2, \dots, k). \quad (2.14)$$

Однако из-за противоречивости критериев часто X_{opt} не существу-

ет. Множество допустимых решений D содержит два типа альтернатив:

- 1) варианты, для которых можно найти формально лучшее решение;
- 2) варианты, для которых невозможно найти формально лучшее решение.

Последние называют недоминирующими решениями, а их совокупность – множеством Парето P . Вариант $X^* \in P$, если не существует такого решения X' , для которого выполняется система неравенств (2.15):

$$q_i(X') \geq q_i(X^*) \quad (i = 1, 2, \dots, k). \quad (2.15)$$

Причем одно из неравенств выполняется строго. Множество Парето P является формальным решением задачи (2.13), так как оно содержит все недоминирующие решения, и для выбора наиболее предпочтительного (компромиссного) решения (исходя из конкретных соображений) необходима дополнительная информация о системе предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), в роли которого выступает инженерно-технический работник производства.

Наиболее универсальным подходом решения задачи (2.13) является применение человеко-машинных процедур векторной оптимизации. Они представляют собой итеративный процесс уточнения компромиссного решения X^{**} в диалоге ЛПР с вычислителем (2.16)

$$X_0 \rightarrow \{X_1^*, q_i(X_1^*) \ (i = 1, 2, \dots, k)\} \xrightarrow{J_1} \{X_2^*, q_i(X_2^*) \ (i = 1, 2, \dots, k)\} \\ \xrightarrow{J_2} \dots \{X^{**}, q_i(X^{**}) \ (i = 1, 2, \dots, k)\}, \quad (2.16)$$

где X_0 – исходное решение, выбираемое на базе априорных интуитивных представлений о технологическом процессе; $X_i^* \in P$ ($i = 1, 2, \dots, k$) – недоминирующие решения; J_1, J_2 – дополнительная информация от ЛПР о его системе предпочтений.

Разнообразие задач породило множество форм представления информации получаемой от ЛПР:

- 1) ЛПР представляет качественную информацию (лучше, хуже, важнее ...):

- выделение лучшего решения из совокупности вариантов;
- указание лексикографической последовательности (ряда строгой предпочтительности) критериев;
- выделение множеств критериев с удовлетворительными и неудовлетворительными значениями.

- 2) ЛПР представляет количественные данные:

- установление относительной важности (весов) критериев;

- задание целевых уровней критериев;
- установление уровней допустимой вариации критериев.

Для них разработаны соответствующие адаптивные методы векторной оптимизации, в которых на отдельных итерациях осуществляется поиск оптимума функции свертки критериев (методы свертки), или решается последовательность задач оптимизации значений отдельных критериев (лексикографические методы) или применяются идеи векторно-релаксационного процесса.

Наиболее эффективно применение векторно-релаксационных методов в тех случаях, когда ЛПР представляет одновременно качественную и количественную информацию, так как для них легко осуществляется процесс интерпретации полученных сообщений в параметрах, определяющих развертку поиска (цель).

При решении проблем рациональных режимов технологических процессов сборки обуви зависимости $q_i(X)$ ($i = 1, 2, \dots, k$) и $h_j(X)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) в задаче (2.13) задаются:

- 1) функциями в явном виде или процедурами вычисления, если известна физическая структура взаимосвязей;
- 2) набором экспериментальных данных (статистикой).

Характерной чертой при решении задачи (2.13) является относительность критериев и ограничений. На отдельных итерациях некоторые выражения $q_i(X)$ ($i = 1, 2, \dots, k$), $h_j(X)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) могут являться то критериями, то ограничениями. Следовательно, в процессе поиска может изменяться формализация задачи выбора рациональных режимов технологических процессов сборки обуви. В указанной ситуации большое внимание должно уделяться обеспечению сходимости процесса поиска компромиссного решения. Это достигается адаптивным ограничением зоны возможных вариаций критериев (по мере приближения к наиболее предпочтительному решению сужаются интервалы изменений показателей качества).

Диалоговая система моделирования и оптимизации.

При решении задачи (2.13) выделяются две основные программы:

- получение моделей выражения критериев и ограничений с необходимой степенью точности;
- удобная для пользователя реализация человеко-машинной процедуры, для этого необходимо располагать развитой диалоговой системой моделирования и оптимизации.

Пользователь представляет свои сообщения вычислителю на ограниченном естественном языке. Например:

ЧИСЛО ПАРАМЕТРОВ ВАРЬИРОВАНИЯ = 4;

ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ 4. РЕАЛИЗАЦИЯ = 5.6 4.2 3.8 5.◇,

где ◇ – символ конца сообщения.

Решая задачу векторной оптимизации, пользователь (эксперт по

проблеме) на каждой итерации вводит свои требования, например:

МАКСИМИЗИРОВАТЬ 1 И 2 КРИТЕРИИ;

НЕ УХУДШАТЬ 4, КРИТЕРИЙ \diamond .

Исследовался технологический процесс сборки мужских полуботинок с верхом из Барекса 700. Причем, был выбран обтяжно-затяжной участок, на котором в большей степени формируется качество обуви. Известно, что на этом участке наиболее ответственными операциями являются: обтяжка и затяжка заготовки на колодке, а также фиксация формы верха обуви. Ряд работ, проведенных в последнее время, показал также, что содержание влаги в синтетических кожах изменяет их физико-механические характеристики; причем, у некоторых материалов увеличивается прочность и формоустойчивость. Таким образом, увлажнение заготовки в совокупности с указанными выше процессами может оказать определенное влияние на качество обуви из Барекса 700.

Перечисленные выше процессы являются функцией ряда факторов. На основании априорной информации выбирались только основные управляемые факторы и интервалы их варьирования, а остальные были застabilизированы. Этими факторами являлись: X_1 – влажность материалов верха (Барекса 700), X_2 – деформация материала, X_3 – температура воздуха в камере для фиксации, X_4 – время фиксации.

Выкроенные образцы увлажнялись до заданной влажности (таблица 2.16). Затем увлажненные и размеченные образцы закрепляли в зажимах специального приспособления и растягивали на заданную величину. После десятиминутной выдержки в растянутом состоянии приспособление помещали в камеру для фиксации. Время фиксации приведено в таблице 2.16. После фиксации приспособление с образцами выдерживали в течение 30 мин, а затем их освобождали от зажимов. Замеры доли остаточной деформации в общей (стабилизация) проводили через 7 суток. После замера стабилизации (q_1) половина из них разрывалась на разрывной машине ИНСТРОН 1122. Другая половина испытывалась на флексомере Балли на 150 килоциклов. После испытания определялось состояние лицевой поверхности Барекса 700 по соответствующим нормам. Затем эти образцы также доводились до разрыва. Разрывные характеристики образцов, подвергнутых разным режимам технологических обработок, сопоставлялись с контрольными и вычислялось изменение прочности. Более подробно методика изложена в п. 2.2.

Таким образом, исследовалось совместное влияние указанных выше факторов X_1 , X_2 , X_3 , X_4 на формоустойчивость (q_1), изменение прочности после формования (q_2), изменение прочности после формования и многоцикловых нагружений (q_3), устойчивость лицевой поверхности к многоцикловым нагружениям (q_4).

Экспериментальные данные приведены в таблице 2.16. Причем приведены только средние значения. В связи с тем, что при подсчете

средних значений устойчивости лицевой поверхности к многоцикловым нагрузениям (q_4) появились дробные значения, было решено округлить эти значения до 0,5 балла для удобства интерпретации экспериментальных данных.

Таблица 2.16 – Уровни варьирования факторов и результаты эксперимента

№ эксперимента	X_1 , [%]	X_2 , [%]	X_3 , [°C]	X_4 , [мин.]	q_1 , [%]	q_2 , [%]	q_3 , [%]	q_4 , баллы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	10	100	10	47	92	78	5
2	30	10	100	10	43	100	87	5
3	10	20	100	10	57	89	81	4
4	30	20	100	10	40	91	94	4.5
5	10	10	140	10	66	96	85	4.5
6	30	10	140	10	67	92	90	4
7	10	20	140	10	74	98	86	4.5
8	30	20	140	10	87	97	87	4.5
9	10	10	100	20	57	91	84	5
10	30	10	100	20	67	100	87	4.5
11	10	20	100	20	67	94	87	4.5
12	30	20	100	20	77	90	86	4.5
13	10	10	140	20	80	84	89	4.5
14	30	10	140	20	73	99	91	5
15	10	20	140	20	78	94	89	5
16	30	20	140	20	89	99	85	4.5
17	20	15	120	15	69	100	90	4.5
18	40	15	120	15	67	94	91	5
19	20	5	120	15	48	94	91	5
20	20	25	120	15	77	99	89	4.5
21	20	15	80	15	34	96	88	4.5
22	20	15	160	15	53	90	85	5
23	20	15	120	5	46	98	90	4.5
24	20	15	120	25	65	90	82	5
25	20	15	120	15	58	90	84	5

Анализ таблицы 2.16 позволяет сделать вывод, что режимы технологических процессов оказывают существенное влияние на физико-механические свойства Барекса 700. Так, величина формоустойчивости (q_1) колеблется в пределах $34 \div 89$ %, изменение прочности после формования и многоцикловых нагрузений (q_3) – $78 \div 94$ %, а устойчивость лицевой поверхности к многоцикловым нагрузениям (q_4) – $4 \div 5$ бал-

лов.

Для решения задачи выбора рационального режима процесса сборки мужских полуботинок с верхом из Барекса 700 была применена диалоговая система моделирования и оптимизации. Процесс решения осуществлялся итеративным путем.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ = 0.10.120.10;
ВЫЧИСЛИТЕЛЬ ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЕВ \diamond .

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 58.
2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ = 78.
3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 78.
4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 4.2.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: МАКСИМИЗИРОВАТЬ 1 КРИТЕРИЙ;
НЕИЗМЕНЯТЬ ВРЕМЯ;
ПОИСК \diamond .

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 81.
2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ = 86.
3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 82.
4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 4.15,
ВЛАЖНОСТЬ = 20,
ДЕФОРМАЦИЯ = 25,
ТЕМПЕРАТУРА = 160,
ВРЕМЯ = 10.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: МИНИМИЗИРОВАТЬ ВЛАЖНОСТЬ;
НЕИЗМЕНЯТЬ ВРЕМЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ;
УХУДШЕНИЕ 2 И 3 КРИТЕРИЕВ;
ПОИСК \diamond .

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 82.
2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ = 90.
3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 84.
4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 4.05,
ВЛАЖНОСТЬ = 10,
ДЕФОРМАЦИЯ = 25,
ТЕМПЕРАТУРА = 160,
ВРЕМЯ = 10.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: ВЛАЖНОСТЬ = 0; НЕУВЕЛИЧИВАТЬ ТЕМПЕРАТУРУ И ВРЕМЯ; НЕИЗМЕНЯТЬ УСТОЙЧИ-

ВОСТЬ; ПОИСК ◊.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 65.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ = 80.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 81.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 4.06,

ВЛАЖНОСТЬ = 0,

ДЕФОРМАЦИЯ = 15,

ТЕМПЕРАТУРА = 140,

ВРЕМЯ = 10.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: МАКСИМИЗИРОВАТЬ 1 И 3 КРИТЕРИИ;

НЕИЗМЕНЯТЬ УСТОЙЧИВОСТЬ; НЕУВЕЛИЧИВАТЬ ВРЕМЯ; ВЛАЖНОСТЬ = 0; ПОИСК ◊.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ВАРИАНТ НЕ НАЙДЕН.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: ВЛАЖНОСТЬ = 0; НЕУВЕЛИЧИВАТЬ ВРЕМЯ;

МАКСИМИЗИРОВАТЬ 1 КРИТЕРИЙ;

НЕУХУДШАТЬ 3 КРИТЕРИЙ; ПОИСК ◊.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 78.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ = 88.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 86.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 3.96,

ВЛАЖНОСТЬ = 0,

ДЕФОРМАЦИЯ = 20,

ТЕМПЕРАТУРА = 160,

ВРЕМЯ = 10.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: МИНИМИЗИРОВАТЬ ВРЕМЯ;

МАКСИМИЗИРОВАТЬ УСТОЙЧИВОСТЬ; ПОИСК ◊.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 60.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ = 84.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 70.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 4.34,

ВЛАЖНОСТЬ = 0,

ДЕФОРМАЦИЯ = 5,

ТЕМПЕРАТУРА = 80,

ВРЕМЯ = 5.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: МАКСИМИЗИРОВАТЬ 1 И 3 КРИТЕРИИ; ПОИСК ◊.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: 1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ = 75.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ФОРМО-

ВАНИЯ = 78.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ НАГРУЖЕНИЙ = 81.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ = 3.4,

ВЛАЖНОСТЬ = 0,

ДЕФОРМАЦИЯ = 5,

ТЕМПЕРАТУРА = 140,

ВРЕМЯ = 5,

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: МАКСИМИЗИРОВАТЬ 4 КРИТЕРИЙ;

НЕУХУДШАТЬ 1 И 2 КРИТЕРИИ; ПОИСК \diamond .

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ: СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ВАРИАНТ НЕ НАЙДЕН.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ: КОНЕЦ РЕШЕНИЯ.

Таких итераций можно проделать n-ое количество, пока не найдутся рациональные режимы сборки обуви с точки зрения технологии и экономики производства. Этот подход был реализован также при решении задач оптимизации для обуви с верхом из СК-2 и СК-8.

Таким образом, было показано, что существенную помощь в решении сложных производственных задач могут оказать современные методы и, в частности, использование диалоговых систем. Указанный выше подход применялся автором неоднократно для решения ряда оптимизационных задач и достаточно подробно изложен в монографии [2.93].

Рассмотрим решение оптимизационной задачи на примере мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления модели 43001. Внешний вид обуви представлен на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Мужские полуботинки, модель 43001

Для производства данной модели использовали следующие материалы: верх – натуральная кожа, подкладка – натуральная кожа и текстильный материал, подошва – полиуретановая композиция. Технологический процесс производства мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления представлен ниже.

После раскроя деталей подкладки, верха заготовки и межподкладки на машинах ПКП-10 и ПТО-40 соответственно осуществляется следующие операции:

- расслаивание межподкладки, дублирование овальной вставки с межподкладки (ДВ-О, машина проходного типа);
- увлажнение овальных вставок, пролежка (увлажнительная камера);
- активация овальных вставок (по необходимости), формование овальной вставки, проверка перегибов по шаблону (W44, парилка);
- переруб овальной вставки (двойной) (ПВГ-8);
- выравнивание деталей по толщине;
- профилирование деталей по толщине;
- клеймение реквизитов, парников на кожподкладки;
- спускание краев деталей верха обуви и подкладки.

Колебание толщины наружных деталей верха обуви и деталей кожаной подкладки существенно влияет на качество обуви, поэтому детали верха обуви выравнивают по толщине на машине МДВ-О (Россия). Машины МДВ-О предназначены не только для выравнивания деталей по толщине, но и для фасованного двоения и утонения краев деталей верха. Спускание краев деталей осуществляется на машине АСГ-13 (Россия). Толщина спущенного края под строчку зависит от исходной толщины деталей, но не должна превышать половины первоначальной толщины [2.100].

В последующем идет контроль качества кроя и транспортирование в сборочный цех. Сборка заготовки осуществляется в следующем порядке: дублирование межподкладки с деталями верха заготовки; настрачивание кожаной подкладки под язычок текстильную подкладку с дополнительной закрепкой; пристрачивание деталей подкладки под берцы к кожаному карману с дополнительной закрепкой; настрачивание берцев на боковинки с дополнительной закрепкой; настрачивание задинки на берцы; настрачивание овальной вставки на язычок; настрачивание берцев на овальную вставку; настрачивание обсоюзки на овальную вставку; встрачивание «узла» подкладки в «узел» верха с тесьмой; намазка клеем деталей поролона, верха и подкладки; сушка; наклеивание деталей поролона, равномерное выворачивание кожаной подкладки, расправка подкладки, склеивание верха с подкладкой.

Видимые края деталей обрабатывают обжигом и окрашивани-

ем. Детали верха обуви скрепляются ниточными швами. Выбор шва определяют его внешним видом, технико-экономическими показателями и требованиями государственных стандартов на обувь. При производстве данной модели использовались при скреплении подкладки и деталей верха обуви настрочной, тачной и выворотный швы.

После соединения деталей заготовки предварительно формуют в носочной и пяточной части для создания пространственной заготовки. Потом к отформованной заготовке прикрепляют втачную стельку. Так как детали низа прикрепляются с помощью строчно-литьевого метода крепления, то в заготовке используют затяжную кромку, направленную вертикально вниз по отношению к плоскости следа колодки.

Данная модель изготавливается внутренним способом формования. Поэтому после соединения деталей верха, межподкладки и подкладки для облегчения формования заготовок верха и улучшения формоустойчивости обуви применяют предварительное формование заготовки. Детали верха обуви предварительно формуют на машине модели 50/2R фирмы Matic, представленной на рисунке 2.10.

Заготовка разогревается в активаторе подноски в течение 15–25 с при температуре 160–200 °С (температура и время активации зависит от материала верха и подкладки). После активации заготовка формуется с помощью холодного пуансона. Время фиксации 13–18 с, а для заготовок на натуральном меху 20–25 с. После активации заготовку укладывают на плиту машины, опускается обжимная скоба и вся система опускается на пуансон, происходит формование заготовки между пуансоном и обжимной скобой. Давление пуансона и обжимной скобы в пределах 0,2–0,4 МПа. Отформованная заготовка не должна иметь перекосов. На подносках не должно быть складок и морщин. Излишки затяжной кромки в носочной части должны быть аккуратно обрезаны.

После предварительного формования деталей верха к заготовке пристрачивают втачную стельку, изготовленную из материала Pbitix и отправляют в пошивочный цех. В цеху объемную заготовку подергали обработкой разогретым паром при температуре 50–90 °С в течение 20 с. В последующем ее одевали на колодку и отправляли на влажно-тепловую операцию.



Рисунок 2.10 – Машина для формования носочной части
MATIC 50/2R

На заготовки, надетые на колодки, с помощью кисти или пульверизатора наносят увлажнитель. Затем заготовки загружают в установку для фиксации формы. Для обуви с верхом из светлых кож температура влажно-тепловой обработки 110–130 °С, для обуви с верхом из темных кож – (160–180) °С. Время выполнения термофиксации подбирает технолог цеха для каждого кожтовара отдельно. ВТО происходит на машине SAVE-2000, представленной на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Машина для влажно-тепловой обработки SAVE-2000 (пр-во Италия)

После ВТО рабочий смотрит чтобы не было морщин на заготовке, если они имеются, то их устраняют с помощью ролика спецприспособления и отвозят тележку с колодками на литье подошвы. Литье низа осуществляют на машине Desma. Изображение машины Десма 581/18 представлено на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Литьевой агрегат Десма 581/18 (пр-во Германия)

Колодки с заготовками снимают с тележек и устанавливают на штучер штанги литьевого агрегата. Нажатием кнопки на агрегате рабочий смыкает пресс-форму. После полного смыкания пресс-форм можно приступить к выполнению операции. Намазка поверхности заготовок выполняется в носочной и пяточной части. Клей должен быть нанесен равномерным тонким слоем без сгустков и подтеков. Выполняют отжим пресс-формой. Отжим на заготовке должен быть четким для точного выполнения взъерошивания затяжной кромки заготовок. Затем колодку снимают со штучера штанги и устанавливают в ячейки литьевого агрегата. В заготовках после выполнения операций взъерошивания выполняется околачивание боковых швов, идущих в прилив подошвы. Колодка с заготовкой устанавливается на штучер литьевого агрегата. Под резинку вставляется вкладыш на пяточную часть следа заготовки. Перед каждым литьем пуансон и пресс форма должны быть очищены от литников и отходов полиуретановой смеси. Пуансон и пресс-форма литьевого агрегата должны быть смазаны из пульверизатора разделительной смазкой. Такт литья одной полупары зависит от применяемой ПУ-композиции, температура пресс-форм и пуансона 55 ± 5 °С. Давление воздуха в реакторах 0,4 МПа. Температура реакторов, насосов, шлангов 35–40 °С.

После прикрепления низа обуви следующей операцией является

удаление выпрессовок по периметру обуви и снятие ее с колодки. Весь процесс одевания заготовки на колодку до снятия ее длится приблизительно 45 мин.

Этот способ формования имеет следующие преимущества по сравнению с обтяжно-затяжным:

- материалоемкость обуви уменьшается на 8–12 % в результате более равномерного растяжения деталей заготовки и уменьшения припусков на затяжную кромку;
- производительность труда повышается на 15–20 % вследствие совмещения и ликвидации ряда технологических операций;
- снижение затрат на дорогостоящее обтяжно-затяжное оборудование.

При производстве обуви на ее качество влияет ряд факторов. Для улучшения формоустойчивости обуви необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на ее формоустойчивость:

- физико-механические свойства материала верха и низа;
- конструкцию заготовки обуви;
- увлажнение заготовки;
- величину и характер распределения деформаций по площади заготовки при затяжке;
- фиксацию формы;
- продолжительность нахождения обуви на колодке;
- гигрометрические параметры воздуха в цеху;
- условия транспортирования и хранения обуви;
- условия и динамику носки обуви [2.93].

Таким образом, выше были перечислены основные факторы, влияющие на формоустойчивость обуви при ее производстве. Систематизируем полученные данные, проанализируем технологический процесс с позиций современных представлений об имитационном моделировании, используя технологические карты.

Технологическая карта процесса представляет собой относительно простое в использовании средство и превосходный метод латентного поэтапного описания того, как протекает или может протекать некоторый производственный, технологический или какой-либо другой процесс. Она отражает логическую последовательность операций в сжатой форме, показывая шаг за шагом ход того или иного процесса. Однако универсальность технологических карт несколько ограничена, они очень удобны для прослеживания поэтапного движения лишь единичного изделия или материала, документа, а также действий одного человека; подобным образом может также отображаться движение множества документов, материалов и людей, но это значительно сложнее.

Технологические карты были впервые разработаны Джилбертом, а позднее усовершенствованы рядом других специалистов [2.101]. Джилберт разработал своеобразный сокращенный способ записи процесса при помощи условных знаков – символов, каждый из которых обозначал наличие или отсутствие некоторого вида операций. С годами его 39 символов были упрощены. Американское общество инженеров-механиков установило пять получивших широкое распространение символов, представленных в таблице 2.17, которые позволяют наглядно представлять большинство операций, встречающихся при изучении функционирования систем.

Таблица 2.17 – Условное обозначение операций

Символ действия	Наименование	Результат действия
	операция	производит, подготавливает и осуществляет
	транспортировка	перемещение
	инспектирование	проверяет, контролирует
	задержка	задерживает, проверяет
	хранение	хранит, накапливает

Кружок обозначает операцию, в результате которой что-то производится или в ходе которой намерено изменяются физические или химические свойства объекта, что-то создается, расчленяется или собирается. Эти операции продуктивны, например, окрашивание, сверление отверстия, сшивание деталей и т. д. Вычисления, планирование и сбор информации также считаются операциями.

Стрелка обозначает движение или транспортировку. Этот знак отображает движение рассматриваемого предмета от одного производственного участка к другому или из одного отдела в другой. На технологической карте любые перемещения внутри зоны непосредственного осуществления операции, такие, например, как взятие инструмента, перемещение отчетного документа на столе исполнителя и прочее, считаются частью операции, а не транспортировкой. Но если человек или предмет должен переместиться в другое место, то эта операция должна обозначаться как транспортировка.

Квадрат обозначает контроль или сравнение результатов с плановым или стандартными показателями, в том числе проверку единицы продукции по качественным и количественным показателям, контроль результатов испытаний, прочтение документов перед принятием определенного решения и т. д. Подсчет деталей, выявление ошибок в документе, сравнение полученных данных с предшествующими указа-

ниями – все эти действия относятся к операциям контроля и должны обозначаться прямоугольниками. Во многих процессах контроль часто совмещается с другой операцией; например, при подсчете деталей перед их отгрузкой рабочий производит также их осмотр. В этом случае мы можем употреблять два символа, вписав кружок внутрь квадрата.

Прописная буква D употребляется для обозначения временных задержек, например, когда человек прерывает работу или письмо лежит в почтовом ящике, ожидая выемки, или данные, которые должны быть переданы оператору, ожидают своей очереди в буферном запоминающем устройстве. Изделия, ожидающие своей очереди на соответствующее обслуживание, или изделия, ожидающие погрузки, также должны обозначать прописной буквой D.

Треугольник обозначает накопление, хранение, что имеет место тогда, когда детали или изделия преднамеренно хранятся в пассивном состоянии, например, запчасти на складе, информация в оперативной памяти ЭВМ или на диске для последующего использования, записи в файлах.

Различие между хранением и задержкой состоит в том, что первое планируется и осуществляется преднамеренно, в то время как второе не подчиняется контролю и не планируется.

Располагая подобным набором символов, мы можем описать любую процедуру или процесс. Технологическая карта строится сравнительно просто и может иметь несколько различных форм.

Другим способом визуализации любых процессов является использование технологических диаграмм в сочетании с технологической картой. Технологическая диаграмма дает нам возможность отобразить ход процесса как бы «на местности» того реального производственного помещения, где этот процесс протекает. Операция и другие события пронумерованы так, что мы можем сравнить их с технологической картой. Такая схема позволяет выявить узкие места процесса, где могут возникнуть помехи и снизиться эффективность всего производственного комплекса. Для изучения более сложных операций, при которых обрабатывается несколько изделий или множество копий одного документа, могут использоваться различные варианты сочетаний технологических карта и технологических диаграмм.

Построим технологическую карту для данного технологического процесса, а именно – формование заготовки верха обуви и крепление подошвы, таблица 2.18.

Таблица 2.18 – Технологическая карта

Подробное описание	Операция	Транспортировка	Контроль	Задержка	Хранение	Количество	Длительность	Исключается	Объединяется	Изменения			Улучшение	Примечание
										Последовательность	Место	Лицо		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Увлажнение и разогрев заготовок паром	○ ↓													
Одевание заготовок на колодки	○													
Проверка положения заготовок на колодках			□											
Околачивание шва					D									
Проклеивание штробельного шва в пяточной части					D									
Вставка временного вкладыша под шнуровку					D									
Временное шнурование заготовок на колодках с подтягиванием берца и закреплением шнурка на бирку					D									
Увлажнение заготовок на колодках	○													
Загрузка обуви в ВТО-О					D									
Термофиксация обуви	○													
Контроль качества формовочных процессов			□											
Отделка обуви на колодках					D									
Околачивание					D									
Обслуживание ВТО-О					D									
Выравнивание верхней площадки колодок					D									
Раскладывание колодок с заготовками на тележки					D									
Сушка вкладышей					D									
Поднос вкладышей к литьевому агрегату					D									
Доставка, подготовка и составление ПУ композиции					D									

Окончание таблицы 2.18

Загрузка заготовок на колодках в ячейки литевого агрегата					D														
Выполнение отжима прессформой на заготовке, подправка колодок, околачивание шва					↓														
Промазывание заготовок клеем в носочной и пяточной части					↓														
Взъерошивание заготовок по отжиму					↓														
Установка колодки с заготовкой на штуцер литевого агрегата, подправка колодок, установка вкладыша					↓														
Очистка пресс-форм от остатков полиуретановой массы					↓														
Чистка мундштука смесительной головки					↓														
Нанесение разделительной смазки					↓														
Литье ПУК на след заготовки					↓														
Съемка обуви на колодках с литевого агрегата					↓														
Удаление литников					↓														
Отгибка выходов ПУК					↓														
Загрузка обуви в охлаждающую установку	○																		не осущ.
Выгрузка обуви из охлаждающей установки	○																		не осущ.
Удаление временной шнуровки и вкладыша										D									
Съемка обуви с колодок	○																		

Анализируя таблицу можно отметить следующие операции, влияющие на формоустойчивость обуви:

1. Увлажнение и разогрев заготовок паром.
2. Одевание заготовок на колодки.
3. Увлажнение заготовок на колодках.
4. Снятие обуви с колодок.

Также на формоустойчивость обуви будет влиять предварительное формование заготовок. В таблице 2.19 представлены значения технологических параметров данных операций и измеренные их значения.

Таблица 2.19 – Параметры технологического процесса

Операция	Значения по технологическим картам	Измеренные значения
1. Разогрев в активаторе	$T_3 = 160-200^{\circ}\text{C}$ $t_3 = 15-20 \text{ с}$	$T_3 = 145-180^{\circ}\text{C}$ $t_3 = 15-25 \text{ с}$ $T_{\text{заг. верх.}} = 25-80^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{заг. подкл.}} = 20-110^{\circ}\text{C}$
2. Формование на пуансоне	$t = 13-18 \text{ с}$	$T_{\text{пуан.}} = 26-27^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{заг. верх.}} = 20-39^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{заг. подкл.}} = 18-36^{\circ}\text{C}$
3. Увлажнение паром	–	$T_{\text{штык}} = 80-95^{\circ}\text{C}$ $t = 1 \text{ мин } 20\text{с.}$ $T_{\text{на обор.}} = 50-91^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{после снятия}} = 22-65^{\circ}\text{C}$
4. ВТО	$T = 160-180^{\circ}\text{C}$ $T = 110-130^{\circ}\text{C}$ $t = 3-4,5 \text{ мин}$	$t = 40 \text{ с.}$ $T_{\text{передвозд.}} = 22-31^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{послевозд.}} = 40-65^{\circ}\text{C}$

В результате чего можно выделить следующие факторы, позволяющие оптимизировать технологический процесс: температура, время, влажность и деформация заготовки. Деформация заготовки зависит от ее конструкции, размеров и формы колодки и пуансонов и колеблется в пределах от -5 до 15 %. Время является фактором производительности труда и объема выпускаемой продукции на потоке. В связи с указанным выше мы застабилизируем время выполнения операций. Оптимальная влажность для создания хорошей формоустойчивости обуви составляет $25-30$ % [2.16, 2.102]. Однако при контактном увлажнении возможен привес влаги $3-6$ % [2.100], поэтому варьировать фактором влажности будем в пределах $14-20$ %, так как 14 % – количество влаги, находящееся в натуральных кожах (неувлажненных), а 20 % – это максимально возможная влажность материалов заготовки, достигаемая при контактном увлажнении. Температуру будем варьировать в измеряемых возможностях ее реализации в ВТО.

Используя таблицу 2.20, уравнение (2.17) и проведя необходимые исследования, рассчитаем статическую формоустойчивость обуви. Для этого воспользуемся данными и методикой, приведенными в работе [2.93].

Таблица 2.20 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Символ	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		–	0	+	
Влажность кожи W , %	X_1	14	17	20	3
Деформация материала ϵ_1	X_2	5	10	15	5
Температура воздуха в ВТО T , $^{\circ}\text{C}$	X_3	10 0	140	180	40

С целью определения эффективности влажно-тепловой обработки была измерена температура поверхности заготовок верха обуви, которая находилась в пределах 40–65 °С. Этого недостаточно для снятия внутренних напряжений в материалах заготовки верха обуви.

Одним из достоинств имитационного моделирования является то, что мы можем пользоваться математическими зависимостями, полученными ранее для подобных технологических процессов, однако при этом необходимо учитывать принцип физической аналогии объектов исследования.

Исходя из изложенного выше, рассчитаем значение формоустойчивости для нашего технологического процесса, воспользовавшись уравнением вида [2.93, стр. 108] (2.17),

$$Y_C = 74,37 + 5,39X_1 - 1,59X_3 - 0,72X_1X_2 + 0,54X_1X_2X_3. \quad (2.17)$$

Если $X_1 = 14 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 22 \text{ °C}$, то $Y_C = 58 \%$.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 65 \text{ °C}$, то $Y_C = 69 \%$.

Если $X_1 = 14 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 65 \text{ °C}$, то $Y_C = 60 \%$.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 22 \text{ °C}$, то $Y_C = 68 \%$.

Для анализа полученных значений статической формоустойчивости используем метод Харрингтона: 0,00–0,20 «очень плохо»; 0,20–0,37 «плохо»; 0,37–0,63 «удовлетворительно»; 0,63–0,80 «хорошо»; 0,80–1,0 «очень хорошо». Полученные значения относятся к группе «удовлетворительно» и «хорошо», что свидетельствует о недостаточной формоустойчивости и последующем появлении таких дефектов, как складкообразование и растаптывание верха обуви.

Для достижения наилучшей формоустойчивости с помощью уравнения (2.17) определим рациональные значения параметров технологического процесса.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 70 \text{ °C}$, то $Y_C = 69 \%$.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 80 \text{ °C}$, то $Y_C = 69 \%$.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 100 \text{ °C}$, то $Y_C = 70 \%$.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 120 \text{ °C}$, то $Y_C = 67 \%$.

Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 70 \text{ °C}$, то $Y_C = 77 \%$.

Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 80 \text{ °C}$, то $Y_C = 76 \%$.

Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 100 \text{ °C}$, то $Y_C = 74 \%$.

Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 120 \text{ °C}$, то $Y_C = 73 \%$.

Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 70 \text{ °C}$, то $Y_C = 84 \%$.

Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 80 \text{ °C}$, то $Y_C = 83 \%$.

Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 100 \text{ °C}$, то $Y_C = 80 \%$.

Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 120 \text{ °C}$, то $Y_C = 78 \%$.

Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 22 \text{ °C}$, то $Y_C = 84 \%$.

Анализируя полученные значения, мы можем говорить о том, чтобы получить достаточную формоустойчивость, необходимо увлажнять заготовку до 25–30 % влажности.

Таким образом, исследованный технологический процесс не является оптимальным, так как не обеспечивается достаточная формоустойчивости обуви (не менее 75 %).

С целью повышения качества выпускаемой продукции нужно провести следующие мероприятия:

- увеличить длительность увлажнения заготовки верха обуви (до 3–5 минут);
- увеличить длительность нахождения обуви в ВТО (до 7–8 минут).

Как и следовало ожидать, преваляющим фактором является влажность материала заготовки верха обуви из натуральной кожи. Практически это можно сделать следующим образом – добавить операцию: увлажнение в жидкой фазе с последующей пролежкой заготовки в течение часа. К сожалению, это можно сделать далеко не для всех видов кож и заготовки верха.

Оптимизация технологического процесса позволяет не только улучшить процесс производства, снизить затраты, но и повысить качество производимой продукции и престиж предприятия. Потребитель при эксплуатации обуви оценивает качество готовой продукции визуальным способом и в первую очередь замечает пороки, связанные с низкой формоустойчивостью.

Анализируя технологический процесс производства мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления, можно сказать о необходимости корректировки температурных режимов влажно-тепловой обработки, времени и процента влаги, находящегося в натуральной коже.

С применением технологических карт по методу Шеннона были выделены основные технологические операции, влияющие на формоустойчивость обуви: предварительное формование заготовки на колодке, увлажнение и разогрев заготовок паром, формование заготовки на колодке и влажно-тепловая обработка заготовки на колодке.

Таким образом, можно выделить следующие факторы, позволяющие оптимизировать технологический процесс: температуру, время, влажность и деформацию заготовки.

В результате проведенной работы было определено оптимальное значение влажности заготовки – до 25–30 %. С целью повышения качества выпускаемой продукции нужно провести следующие мероприятия:

- увеличить длительность увлажнения заготовки верха обуви (до 3 минут);
- увеличить температуру воздуха в ВТО до 90 °С.

Также целесообразно добавить операцию – увлажнение заготовок в жидкой фазе с последующей их пролежкой в течение часа.

Таким образом, в настоящей главе проведен комплекс исследований, связанный с разработкой методов и средств оценки свойств материалов верха обуви, и приведены отдельные примеры решения оптимизационных задач с целью повышения уровня качества изделий.

Разработаны методики, установка, приспособление и устройства для исследования свойств обувных материалов при одноосном и двухосном растяжениях. Разработаны методы и средства исследования свойств материалов для каркасных деталей обуви, а также носочной и пяточной ее частей, принципиально отличающиеся от известных и позволяющие более достоверно оценить качество изделий.

Получены математические зависимости, связывающие режимы основных технологических факторов: влажности материалов, их деформации и температурных воздействий с величиной относительной остаточной деформации материала, систем и узлов обуви. Следует отметить, что достаточной формоустойчивости обуви можно добиться при определенных параметрах указанных выше факторов, свойственных каждой группе материалов верха, а, следовательно, это требует оценки и прогнозирования их свойств на стадии подготовки производства.

Исследованы новые термопластичные материалы для подносков и системы, имитирующие носочную часть обуви. Установлено, что их формоустойчивость при испытаниях в статических условиях изменяется незначительно. Подобные результаты получены и для термопластичных материалов, применяемых для задников обуви. Исследованы технологические свойства современных кожкартонов для задников. В целом следует отметить, что используемые в настоящее время материалы для каркасных деталей обуви обеспечивают достаточную ее формоустойчивость в носочной и пяточной частях.

На основе данных, полученных в результате исследований, было установлено, что с целью сохранения высоких эксплуатационных свойств натуральной кожи при интенсифицированных способах фиксации верха, необходимо увлажнять заготовку на 20–25 % и затем деформировать ее при формовании до 15–20 %, а фиксацию формы проводить при температуре материала не более 105 °С в течение 8–12 мин. Установлено, что в этом диапазоне режимов формования верха обуви можно работать практически с любыми видами кожевенных материалов. Режимы формования заготовок верха из искусственных кож нужно разрабатывать для каждого конкретного вида, учитывая при этом структуру основы, степень ее пропитки, а также химическую природу покрытий.

Список использованных источников

2.1 Закгейм, А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов / А. Ю. Закгейм. – Москва : Химия, 1982. – 288 с.

2.2 Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – Москва : Мир, 1978. – 418 с.

2.3 Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах / И. Л. Акулич. – Москва : Высшая школа, 1993. – 336 с.

2.4 Бояринов, А. И. Методы оптимизации в химической технологии / А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. – Москва : Химия, 1975. – 576 с.

2.5 Габасов, Р. Ф. Методы оптимизации / Р.Ф. Габасов, Ф. М. Кириллова. – Минск : Изд-во БГУ, 1981. – 350 с.

2.6 Евтушенко, Ю. Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации / Ю. Г. Евтушенко. – Москва : Наука, 1982. – 432 с.

2.7 Поляк, Б. Т. Введение в оптимизацию / Б. Т. Поляк. – Москва : Наука, 1983. – 384 с.

2.8 Подиновский, В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В. В. Подиновский, В. М. Гаврилов. – Москва : Сов. радио, 1975. – 192 с.

2.9 Адигезалов, Л. И. Интенсифицированные методы сушки обуви / Л. И. Адигезалов, А. С. Шварц. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 136 с.

2.10 Дзевульский, В. А. Вакуумная сушка обуви / В. А. Дзевульский и др. // Обзорная информация. Обувная промышленность. – 1976. – вып. 9. – 37 с.

2.11 Таубин, М. Г. Гигротермическое оборудование обувного производства / М. Г. Таубин, З. А. Вапник. – Москва : Лёгкая индустрия, 1978. – 158 с.

2.12 Буркин, А. Н. Рациональные режимы формования верха обуви / А. Н. Буркин, А. Н. Калита, С. И. Клобуков // Экспресс-информация. Обувная промышленность в СССР. – 1978. – № 1. – С. 25.

2.13 Буркин, А. Н. Формование обуви с верхом из полукожника / А. Н. Буркин, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 1. – С. 45.

2.14 Буркин, А. Н. Исследование влияния основных технологических процессов на стабилизацию формы верха обуви в радиационной и радиационно-вакуумной сушках / А. Н. Буркин, А. Н. Калита, С. И. Клобуков, О. И. Старосвитский, М. А. Клякотко // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1978. – № 2. – С. 96–101.

2.15 Буркин, А. Н. Влияние режимов формования на остаточные удлинения кожи / А. Н. Буркин, А. Н. Калита // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1978. – № 4. – С. 57–59.

2.16 Зыбин, Ю. П. Технология изделий из кожи: учеб. для вузов / Ю. П. Зыбин, Д. И. Анохин, Ю. М. Гвоздев и др.; под общ. ред. Ю. П. Зыбина. – Москва : Легкая индустрия, 1975. – 464 с.

2.17 Куприянов, М. П. Деформационные свойства кож для верха обуви / М. П. Куприянов. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 248 с.

2.18 Анохин, Д. И. Разработка метода расчета деформации заготовки верха обуви при ее проектировании: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / Д. И. Анохин; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1966. – 15 с.

2.19 Сухарников, В. Н. Разработка математической модели процесса формования обувной заготовки / В. Н. Сухарников, А. Н. Жаров // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1985. – № 1. – С. 63–66.

2.20 Довнич, И. И. Определение деформации заготовки при формировании в условиях замкнутого контура / И. И. Довнич, С. И. Клобуков, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 3. – С. 38–40.

2.21 Щербаков, В. В. Формоустойчивость систем материалов для верха обуви / В. В. Щербаков, А. Н. Калита, Г. К. Рухадзе, В. А. Полищук // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 12. – С. 19–21.

2.22 Калита, А. Н. Влияние режимов формования на формоустойчивость систем материалов / А. Н. Калита, В. В. Щербаков // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 1. – С. 38–40.

2.23 Щербаков, В. В. О формоустойчивости обуви с верхом из СК-8 при хранении / В. В. Щербаков, А. Н. Калита, Э. А. Титова // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 2. – С. 46–47.

2.24 Фукин, В. А. Технология изделия из кожи: учебник для вузов / В. А. Фукин, А. Н. Калита. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 272 с.

2.25 Воронов, Н. Ф. Исследование комплексного влияния режимов формования на упругопластические свойства синтетической кожи корфам / Н. Ф. Воронов, М. Н. Иванов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1976. – № 4 (Сообщение 1). – С. 46–51.

2.26 Воронов, Н. Ф. Исследование комплексного влияния технологических режимов формования на упругопластические свойства синтетической кожи корфам / Н. Ф. Воронов, М. Н. Иванов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1976. – № 5 (Сообщение 2). – С. 31–36.

2.27 Иванов, М. Н. Влияние параметров формования обувной заготовки на свойства СК-2 / М. Н. Иванов, Э. В. Гронская, Д. А. Синаюк // Кожевенно-обувная промышленность. – 1977. – № 5. – С. 56–57.

2.28 Иванов, М. Н. Исследование остаточной деформации при стабилизации СК-2 / М. Н. Иванов, Э. В. Гронская, Д. А. Синаюк // Кожевенно-обувная промышленность. – 1977. – № 4. – С. 40–44.

2.29 Воронов, Н. Ф. Изменение механических свойств синтетических кож в процессе формования обуви / Н. Ф. Воронов, М. Н. Иванов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1977. – № 6. – С. 98–102; 1978. – № 1. – С. 77–80.

2.30 Воронов, Н. Ф. Термодеформационные свойства синтетических кож / Н. Ф. Воронов // Экспресс-информация. Обувная промышленность в СССР. – 1980. – вып. 5. – С. 1–16.

2.31 Гвоздевская, В. А. Влияние начальной деформации на релаксационные свойства хромовой кожи / В. А. Гвоздевская, Л. И. Адигезалов, А. С. Шварц // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 8. – С. 58.

2.32 Воронов, Н. Ф. Установка для испытания деформационных свойств материалов для верха обуви / Н. Ф. Воронов, И. А. Шестакова // реферативный сборник. Обувная и кожгалантерейная промышленность. – 1980. – № 4. – С. 4–6.

2.33 Воронов, Н. Ф. Ползучесть искусственных мягких кож при двухосном постоянном нагружении / Н. Ф. Воронов, М. Н. Иванов, А. С. Шварц // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 1. – С. 42–44.

2.34 Воронов, Н. Ф. Определение температурных интервалов формуемости искусственных мягких кож для верха обуви / Н. Ф. Воронов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1984. – № 1. – С. 34–36.

2.35 Воронов, Н. Ф. Исследование кинетики термоусадки системы синтетической кожи с подкладкой с целью прогнозирования формоустойчивости обуви / Н. Ф. Воронов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1987. – № 2. – С. 69–72.

2.36 Хрипин, А. Г. Повышение формостойкости обуви / А. Г. Хрипин, Э. А. Бабаев, Т. С. Макарышева, Л. А. Плющ // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 6. – С. 32–34.

2.37 Макарышева, Т. С. Исследование формостойкости дублированных текстильных материалов / Т. С. Макарышева, А. Г. Хрипин, Н. А. Гуменный, Е. С. Дардикер // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 11. – С. 54–6.

2.38 Луцык, Р. В. Влияние температуры и влаги на деформацию искусственной кожи / Р. В. Луцык, Н. Е. Хомяк // Кожевенно-обувная промышленность. – 1979. – № 2. – С. 39–41.

2.39 Луцык, Р. В. Влияние влаги на деформационные свойства синтетической кожи СК-2 / Р. В. Луцык, Н. Е. Хомяк // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1976. – № 6. – С. 39–41.

2.40 Хомяк, Н. Е. Определение оптимальных параметров влажно-тепловой обработки заготовок обуви с верхом из искусственной и синтетической кож / Н. Е. Хомяк, Р. В. Луцык, В. А. Слабоспицкий, В. В. Олейникова // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1981. – № 4. – С. 37–39.

2.41 Хомяк, Н. Е. Влияние влажно-тепловой обработки заготовок на формоустойчивость обуви из СК-2 / Н. Е. Хомяк, Р. В. Луцык, В. И. Толочко, Н. А. Гуменный, В. А. Слабоспицкий, В. В. Олейникова // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 7. – С. 34–36.

2.42 Коновал, В. П. Системный подход к исследованию операции термофиксации формы обуви / В. П. Коновал, Л. В. Якубова // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1983. – № 6. – С. 78–81.

2.43 Коновал, В. П. Термофиксация формы обуви с верхом из синтетических кож посредством знакопеременных температур / В. П. Коновал, Л. В. Якубова, Р. В. Луцык, Н. Е. Хомяк, В. С. Каштан // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1989. – № 3. – С. 51–54.

2.44 Коновал, В. П. Расчет оптимальных режимов термофиксации формы обуви из синтетических кож / В. П. Коновал, Л. В. Якубова, Н. Е. Хомяк, В. С. Каштан // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1989. – № 6. – С. 70–72.

2.45 Батисене, М. Ю. Влияние влажности на формовочные свойства заготовок / М. Ю. Батисене, Д. А. Кирейлене // Кожевенно-обувная промышленность. – 1982. – № 12. – С. 44–46.

2.46 Оржякаускас, П. Й. Прогнозирование деформационных свойств системы материалов верха обуви / П. Й. Оржякаускас, В.-П. В. Пекаркас, В. Л. Раяцкас // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1986. – № 5. – С. 31–37.

2.47 Оржякаускас, П. Й. Зависимости деформационных свойств материалов верха обуви и их систем от влажности и температуры / П. Й. Оржякаускас, В.-П. В. Пекаркас, В. Л. Раяцкас // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1986. – № 6. – С. 19–22.

2.48 Арцишаускайте, Р. В. Исследование формуемости кож для верха обуви, выработанных из шкур крупного рогатого скота / Р. В. Арцишаускайте, В. Л. Раяцкас // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1988. – № 3. – С. 23–27.

2.49 Смелков, В. К. Пути повышения формоустойчивости обуви с верхом из свиных хромовых кож / В. К. Смелков, К. А. Загайгора, С. В. Смелкова // Формование и формоустойчивость материалов и изделий легкой промышленности: межвуз. сб. науч. трудов; под ред. В. А. Фукина. – Москва, 1996. – С. 23–26.

2.50 Горбачик, В. Е. Влияние свойств кожи на качество предварительного формования союзки / В. Е. Горбачик, В. Ф. Дардык, К. А. Загайгора, З. Г. Максина, С. Л. Фурашова // Актуальные проблемы науки, техники и экономики производства изделий из кожи: сб. статей междунаучной научной конф. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2004. – С. 202–204.

2.51 Горбачик, В. Е. Исследование пластичности материалов для верха обуви / В. Е. Горбачик, Р. Н. Томашева // Актуальные проблемы науки, техники и экономики производства изделий из кожи: сб. статей междунаучной научной конф. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2004. – С. 242–246.

2.52 Загайгора, К. А. Исследование влияния увлажнения на формоустойчивость систем материалов / К. А. Загайгора, З. Г. Максина, С. Л. Фурашова // Актуальные проблемы науки, техники и экономики производства изделий из кожи: сб. статей междунаучной научной конф. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2004. – С. 176–179.

2.53 Горбачик, В. Е. Использование модельных методов для описания релаксации напряжений синтетической кожи / В. Е. Горбачик, П. И. Скоков, С. Л. Фурашова // Вестник УО «ВГТУ». – Витебск. – № 6. – 2004. – С. 28–32.

2.54 Фурашова, С. Л. Методика исследования упругопластических свойств обувных материалов при двухосном растяжении / С. Л. Фурашова, В. Е. Горбачик, К. А. Загайгора, З. Г. Максина // Метрологическое обеспечение, стандартизация и сертификация в сфере услуг: междунаучная сб. науч. трудов / Южно-рос. гос. ун-т экономики и сервиса; под ред. В. Т. Прохорова. – Шахты, 2006. – С. 24–25.

2.55 Зыбин, А. Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А. Ю. Зыбин. – Москва : Лёгкая индустрия, 1974. – 120 с.

2.56 Файбишенко, М. А. Влияние различных факторов на формоустойчивость обуви / М. А. Файбишенко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1965. – № 9. – С. 27–33.

2.57 Михеева, Е. Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Е. Я. Михеева, Л. С. Беляев. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.

2.58 Акимова, Е. В. Об устойчивости к повторным механическим воздействиям материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 12. – С. 45–48.

2.59 Акимова, Е. В. Об износостойкости систем материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1979. – № 11. – С. 56–59.

2.60 Акулова, Т. Е. Направления совершенствования оборудования и технологии формования верха обуви / Т. Е. Акулова, Б. Я. Крас-

нов // Экспресс-информация. Обувная промышленность в СССР. – 1979. – вып. 2. – 53 с.

2.61 Кравченко, А. Д. Влияние релаксационных напряжений хромовой кожи на формоустойчивость и эксплуатационные свойства обуви / А. Д. Кравченко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1972. – № 2. – С. 46–50.

2.62 ГОСТ 939–94 Кожа для верха обуви. Технические условия; введ. 1996-01-01. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам. – Москва : Издательство стандартов, 1998. – 16 с.

2.63 ГОСТ 29078–91 Кожа. Метод испытания сферическим растяжением [Текст]. – Введ. 1992.01.07. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – С. 11.

2.64 ГОСТ 938.11–69 Кожа. Метод испытания на растяжения. Взамен ГОСТ 938–45; введ. 01.01.70. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 9 с.

2.65 ГОСТ 938.0–75 Кожа. Правила приемки. Метод отбор проб [Текст]. – Введ. 1977.01.01. – Москва : Издательство стандартов, 2003. – С. 33.

2.66 ГОСТ 938.14–70 Кожа. Метод кондиционирования проб [Текст]. – Введ. 1971.06.0. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – С. 4.

2.67 Хрипин, А. Г. К вопросу термообработки обувных материалов / А. Г. Хрипин, Я. Ф. Чередниченко, Э. А. Бабаев, И. М. Шляпников и др. // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1972. – № 6. – С. 95–99; 1973. – № 5 – С. 91–96; 1974. – № 5. – С. 71–75.

2.68 Кравченко, А. Д. Термофиксация кожи хромового дубления при двухмерном растяжении / А. Д. Кравченко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1974. – № 9. – С. 45–47.

2.69 Ратаутас, А. С. Гигротермическая фиксация формы изделий из кожи / А. С. Ратаутас // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1974. – № 2. – С. 65–70.

2.70 Хрипин, А. Г. Термофиксация искусственных и синтетических материалов / А. Г. Хрипин, Я. Ф. Чередниченко, Э. А. Бабаев и др. // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1976. – № 2. – С. 59–64.

2.71 Forrest, R. Lawn aerating attachments for shoe and boots. – США, кл. 36/136 (A 43 B 23/00), № 403, 59, 35, 19.07.77.

2.72 Fihsiranje oblika gornjišta vlagom i toplinom / Koža i obuća. – 1977. – № 8 (26). – P. 210–211.

2.73 Dispositif de séchage et de chauffage. – Франция, кл. A 43 D 95/10, №2276012, 23.01.76.

2.74 Keech, B. Pre-testing of Materials Leaves Many Problems in lasting / B. Keech // American shoemaking. – 1976. – v.21. – P. 22–23.

2.75 Beeby, R. Manufacturing Problems – Present and Future / R. Beeby // J. of the British Boot and Shoe Inst. – 1976. – March-April. – P. 46–51.

2.76 А.с. № 555878 СССР, МКИ А 43 D 95/10. Устройство для сушки изделий / В. В. Балутенко, В. А. Дзевульский, В. А. Лазоренко, Г. С. Лобза, В. А. Мусиенко, Л. Н. Янкин. – №2130639/12; заявл. 25.04.75; опубл. 30.04.77, Бюллетень № 16. – С. 5.

2.77 Буркин, А. Н. Установка для изучения процессов формования обувных материалов / А. Н. Буркин, А. Н. Калита, В. А. Смирнов // Реферативный сборник. Обувная промышленность. – 1978. – № 2. – С. 2–4.

2.78 Устройство для контроля качества материалов и соединений верха обуви: пат. 3390 Респ. Беларусь, МПК7 С 14 В 1/00, G 01 N 3/00 / А. Н. Буркин, Н. В. Комлева, М. В. Семашко; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет». – № а 20060455; заявл. 07.07.2006; опубл. 28.02.2007 // Афіцыйны Бюлетэнь Дзяржаўнага пат. Ведамства Рэсп. Беларусь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 1(54) – С. 172–173.

2.79 ГОСТ 938.12–70 Кожа. Метод подготовки образцов к физико-механическим испытаниям [Текст]. – Введ. 1971–01–01. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – С. 2.

2.80 ГОСТ 938.15–75 Кожа. Метод определения толщины образца и толщины в стандартной точке [Текст]. – Взамен ГОСТ 938–45. Введ. 1973–01–01. – Москва : Издательство стандартов, 1973. – 6 с.

2.81 Буркин, А. Н. Оценка свойств термопластических материалов для подносок обуви: монография / А. Н. Буркин, М. В. Шевцова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 180 с.

2.82 ГОСТ 9289–78 Обувь. Правила приемки [Текст]. – Введ. 1971–07–01. – Москва : Издательство стандартов, 1991. – С. 4.

2.83 ГОСТ 9135–2004 Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноски и задника [Текст]. – Введ. 2006–06–30. – Москва : Стандартинформ, 2005. – С. 6.

2.84 ГОСТ 9186–76 Картон обувной и детали из него. Правила приемки и методы испытаний [Текст]. – Введ. 1977–01–01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2002. – С. 6.

2.85 ГОСТ 11373–88 Обувь. Размеры [Текст]. – Введ. 1990–01–01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – С. 6.

2.86 ГОСТ 9542–89. Картон обувной и детали обуви из него. Общие технические условия. – Введ. 18.08.89. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 18 с.

2.87 Даровский, Б. С. Производство картона / Б. С. Даровский. – Москва : Гослесбумиздат, 1956. – 186 с.

2.88 Товароведение одежно-обувных товаров. Общий курс: учеб. Пособие / В. В. Садовский, Н. М. Несмелов, Н. В. Шутилина и др.; под общ. ред. В. В. Садовского, Н. М. Несмелова. – Минск : БГЭУ, 2005.

2.89 ТУ ВУ 300504191.001–2006 Задники для обуви. Технические условия

2.90 Шевцова, М. В. Определение формоустойчивости носочной части обуви в динамических условиях и оценка свойств материалов для подносков: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.08 / М. В. Шевцова. – Витебск, 2004. – 158 с.

2.91 ГОСТ 940–84 Кожа для подкладки обуви. Технические условия. – Взамен ГОСТ 940–68; введ. 30.06.82. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.

2.92 Файбишенко, М. А. Влияние различных факторов на формоустойчивость обуви / М. А. Файбишенко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1965. – № 9. – С. 27–33.

2.93 Буркин, А. Н. Оптимизация технологического процесса формирования обуви / А. Н. Буркин. – Витебск : Изд-во ВГТУ, 2007. – 220 с.

2.94 Виноградов, Ю. С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности / Ю. С. Виноградов. – Москва : Легкая индустрия, 1970 – 312 с.

2.95 Виноградов, И. М. Математическая энциклопедия / И. М. Виноградов // БСЭ : в 4 т. – Москва, 1984. – Т. 4. – С. 1198.

2.96 Буркин, А. Н. Методика исследования формоустойчивости пяточной части обуви / А. Н. Буркин, П. Г. Деркаченко, А. П. Дмитриев // Витебск : Вестник УО «ВГТУ». – 2010. – № 18. – С. 13–19.

2.97 Буркин, А. Н. Определение общей и остаточной деформации обуви: достоинства, недостатки, пути совершенствования / А. Н. Буркин, П. Г. Деркаченко // Журнал «Стандартизация». – 2010. – № 6. – С. 32–34.

2.98 Буркин, А. Н. Исследование формоустойчивости пяточной части обуви при динамическом нагружении / А. Н. Буркин, А. П. Дмитриев, П. Г. Деркаченко // Научно-практический журнал «Потребительской кооперация». – 2012. – № 1(36). – С. 67–73.

2.99 Деркаченко, П. Г. Влияние толщины картонов для задников на формоустойчивость пяточной части обуви / П. Г. Деркаченко, М. В. Шевцова, А. Н. Буркин // Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В. А. Фукина посвящается». Часть 2. – Москва : МГУДТ, 2014. – С. 125–132.

2.100 Михеева, Е. Я. Справочник обувщика (Технология): учеб. пособие / Е. Я. Михеева, Г. А. Мореходов, Т. П. Швецова и др. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 416 с.

2.101 Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – Москва : Мир, 1988. – 418 с.

ГЛАВА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ ВЕРХА И ОБУВИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Как известно, форма обуви задается колодкой, на которой осуществляется ее формование. Внутренние размеры обуви обычно отождествляются с размерами колодки, на которой она изготовлена. Однако между размерами колодки и обуви, изготовленной с ее применением, как правило, имеется разница, обусловленная рядом причин: неодинаковыми свойствами применяемых материалов и их сочетаний, конструкцией обуви, разницей в параметрах и режимах изготовления обуви, вследствие усадки из-за неполной релаксации напряжений в структуре материалов верха и подкладки. Это обуславливает необходимость объективных методов оценки формы и размеров обуви.

Следует отметить, что все работы, связанные с исследованием и оценкой формоустойчивости обуви проводились по нескольким направлениям:

- разработка приборной базы и методов оценки формоустойчивости систем материалов верха и готовой обуви;
- исследования формоустойчивости материалов и систем по показателям, напрямую или косвенно характеризующим формоустойчивость;
- исследование влияния технологических и эксплуатационных факторов, вида применяемых материалов на формоустойчивость;
- исследования формоустойчивости готовой обуви.

Для количественной оценки изменений форм и размеров обуви были предложены различные методы. Применяемые в отечественной промышленности и за рубежом стандартные методы определения формы и размеров обуви предусматривают использование для этой цели простейших инструментов общего назначения (металлическая линейка, штангенциркуль). Этими методами предусматривается измерение линейных размеров обуви и ее деталей [3.1]. К стандартным методам оценки качества обуви относится определение общей и остаточной деформации задника и подноски. Однако это метод не позволяет оценить в целом формоустойчивость носочно-пучковой части обуви [3.2].

3.1 Анализ работ, связанных с исследованием формоустойчивости обуви в процессе ее носки

Впервые изучением особенностей изменения формы и размеров деталей обуви в процессе формования и после снятия обуви с колодки занимался Любич М. Г. [3.3–3.5]. Способ оценки формоустойчивости обуви, предложенный Любичем М. Г. [3.3, 3.4], предусматривал разметку наружных деталей верха обуви. Еще один метод, основанный на измерении отрезков линий, нанесенных на верх обуви, был предложен Ключевым В. М. [3.6]. Он оценивал формоустойчивость по усадке верха. И в более поздних исследованиях усадке верха в процессе хранения уделялось определенное внимание. Например, Сумаровой Т. М., Карагезяном Ю. А., Яковлевой Н. В., Зайцевой М. А в работе [3.7] представлены результаты исследования обуви с различным членением заготовок.

В 50-е годы прошлого столетия большое распространение в обувной промышленности получило измерение деформаций посредством преобразования неэлектрических величин в электрические (тензометрированием). В числе первых был предложен метод, основанный на определении деформации деталей обуви при помощи ртутного датчика, приклеенного к верху [3.8]. Увеличение сопротивления датчика указывало на растяжение материала в данном направлении, а уменьшение сопротивления – на сокращение.

С рядом достоинств, а именно, возможностью оценивать деформацию верха при проведении обтяжно-затяжных операций, хранении и эксплуатации обуви, использованием датчика достаточно высокой чувствительности, возможностью измерения относительной деформации в пределах 50 %, методу присущ и ряд недостатков. Использование в качестве материала датчика ртути, пары которого ядовиты, делает метод небезопасным. Кроме того, ртутные датчики чувствительны к изменениям температуры, что может повлиять на объективность получаемой информации. В связи с этим требуется уточнение результатов в пересчете на температурный фактор.

В эти же годы Кушниром Н. К. разрабатывается метод с использованием угольно-графитно-сажевого тензодатчика [3.9], предназначенного как для изучения функций стопы и изменения ее размеров во время ходьбы, так и работы обуви. Способ определения деформаций в деталях аналогичен ранее изложенному.

К общим недостаткам определения величин деформации такими способами следует отнести:

– тензодатчики при креплении к образцу с помощью клея увеличивают жесткость системы материалов и тем самым вносят погрешность в измерения;

– из схемы расположения тензодатчиков видно, что они размещаются в местах наибольшего растяжения союзки заготовки, но при этом не учитывается фактор геометрии колодки, то есть и изменение величины напряжений (деформаций) по выпуклым и вогнутым зонам колодки, что также должно было уменьшить достоверность полученных данных. В последующие годы способ измерения деформаций посредством тензодатчиков не нашел широкого распространения.

Направление наибольших деформаций растяжения авторами работы [3.10] определялось с помощью метода хрупких покрытий. Для этого на верх кожаной обуви наносился нитролак с добавкой 5 % канифоли, увеличивающей хрупкость покрытия. Трещины в хрупком покрытии, образующиеся при деформации, располагались в направлении наибольших деформаций. При опоре на стопу трещины в покрытии на верхе обуви образовывались в пучковой части союзок в продольном направлении. Это значит, что наибольшие деформации растяжения идут в поперечном направлении союзки.

В 60-е годы на базе уже имеющихся разработок Любича М. Г и вместе с ним активно проводятся работы над созданием методов оценки формы обуви Буканковым Е. И, Ефимовым В. Д. Методы основаны на сравнении контуров проекций обуви до и после её носки, а также сопоставлении гипсовых слепков внутренней полости обуви, бывшей в эксплуатации с затяжными колодками. Чуть позже был предложен метод фотосъемки обуви. Более подробно методологический подход к оценке формоустойчивости данными методами описан в ряде публикаций авторов монографии.

Метод сравнения контуров предусматривает применение вертикального контурографа. Используя этот метод, можно судить о форме любого выбранного сечения носочно-пучковой части обуви. Однако, чтобы получить более полное представление о формоустойчивости, необходимо снимать контуры множества продольных и поперечных сечений обуви. Второй метод применялся для получения фотографий обуви в горизонтальной и вертикальной плоскости. Этот метод, в основном, дает возможность визуально оценить общую картину складкообразования верха обуви. Однако следует отметить некоторую неточность результатов за счёт проектирования изображения исследуемого контура на фотобумагу или экран. Очевидным является то, что контуры проекций обуви на экране пригодны для фиксирования лишь ощутимых, практически видимых невооруженным взглядом отклонений. Кроме того, описанный метод, относится к разряду трудоёмких и требующих времени для получения результатов по измерению изме-

нений формы и размеров верха обуви. К общему недостатку рассмотренных методов можно отнести также то, что не были выбраны количественные показатели, которые конкретно характеризовали бы отдельные дефекты размеров и формы обуви.

Позже Ратаутасом А. С. [3.11] был предложен профилографический метод определения формоустойчивости обуви, основанный на получении продольных и поперечных профилей (сечений носочно-пучковой части обуви) и сравнении площади соответствующих профилей до и после изменения формы обуви. Для получения профилограмм на платформу устанавливается испытуемая обувь, а затем с неё снимаются необходимые сечения.

По существу принцип действия прибора аналогичен контурографу для получения профилей сечения колодок, ранее предложенному М. Г. Любичем. Данный метод, в основном, обладает теми же недостатками, что и описанный выше метод получения контуров обуви. Помимо этого возникает сложность совмещения одноименных сечений колодки и обуви.

Результаты исследований формоустойчивости обуви внутреннего способа формования после эксплуатации, представленные в работе [3.12], основаны на методе измерения отрезков некоторых линий, нанесенных на союзку. В работе [3.13] деформацию верха обуви определяли измерением линий, нанесенных на союзочную часть, в процессе изготовления обуви и через определенные промежутки времени в процессе носки. Линии на союзку наносили до сборки заготовки нитрокраской по шаблонам с поперечными и продольными линиями. Расстояние между линиями составляло 20 мм. Нанесенные линии сохранялись в течение 4–6 месяцев носки даже в условиях повторного увлажнения и высушивания обуви. Размеры союзочной части измеряли после сборки заготовки, после проведения обтяжно-затяжных операций и съема обуви с колодки, а также непосредственно перед началом носки, с целью изучения изменения размеров обуви на стадии технологической обработки и хранения обуви. В период носки измерения проводили через каждые 7 дней в течение 1 месяца и затем через каждые 30–35 дней в последующие периоды носки в течение 3-х месяцев. В качестве объектов исследования использовали системы материалов с верхом из выростка и порвайэра.

Можно отметить, что в целом для всех методов определения формоустойчивости, основанных на измерении отрезков линий, нанесенных на верх обуви, характерны следующие недостатки, которые отмечены в работе [3.14]:

- недостаточная точность измерений;
- отсутствие достаточно четкого представления о направлении максимального и минимального растяжений;

- весьма приближенная характеристика изменения формы обуви;
- неудобства психологического характера, вызванные ношением обуви с размеченным верхом.

Принципиально не отличается от описанных способ, разработанный МТИЛПом, сущность которого состоит в том, что определение величины растяжений заготовки производится по изменению размеров и формы предварительно нанесенных на детали заготовки верха обуви, окружностей с радиусом 20 мм (рисунок 3.1). Сравнивая какой-либо диаметр эллипса, полученного после формования заготовки на колодке с первоначальным диаметром круга, можно определить изменение линейных размеров материала в данном направлении, а также определить величины его относительного удлинения или усадки [3.15].

При использовании данных формоустойчивости, полученных вышеизложенными методами, неизбежно возникают сложности при определении суммарного изменения размеров заготовки на уровне какого-либо стандартного сечения, кроме этого, плантарная часть обуви остается вне поля зрения. Описанные методы в большей степени характеризуют изменение размеров верха обуви, а в меньшей – изменение ее формы.

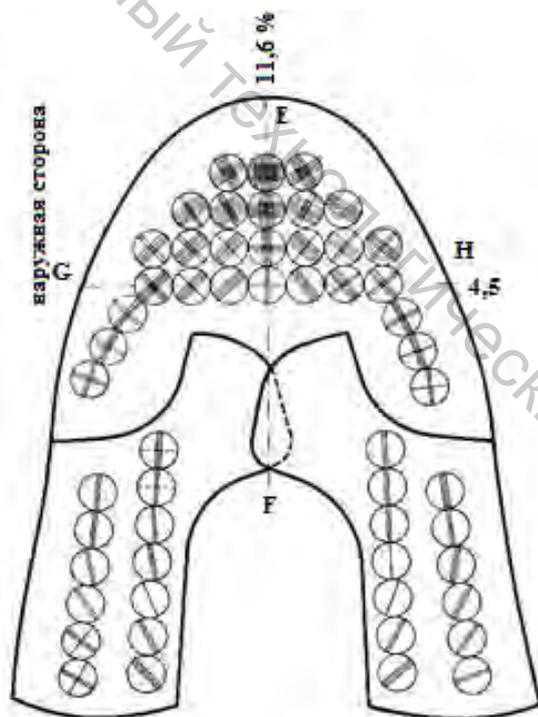


Рисунок 3.1 – Картограмма деформаций заготовок обуви

Как отмечалось ранее, впервые количественный показатель для оценки формоустойчивости обуви был установлен Калитой А. Н. и

Зыбиным Ю. П. в работах [3.16, 3.17]. Формоустойчивость рассматривалась с позиции величины складкообразования, по мнению авторов, являющегося одним из дефектов формы обуви, влияющих на неудовлетворительное состояние формоустойчивости обуви. Было установлено не только критическое значение суммарной величины складок, но также рассматривался механизм образования складок и разрушения материала в зоне складкообразования при эксплуатации обуви, факторы, влияющие на число складок и их высоту. Показана возможность прогнозирования суммарной высоты складкообразования в зависимости от подбора конструкции заготовки верха обуви. Для этого предложена формула, которая позволяет теоретически определить сумму ΣH , зная некоторые характеристики обуви в статике и динамике: угол изгиба обуви; размер обуви; зону складкообразования, зависящую от конструкции заготовки верха обуви.

В работе [3.18] установлены зависимости между показателем упругопластических свойств материалов верха обуви – остаточной деформацией $\epsilon_{ост}$ и коэффициентом складкообразования, периметром поперечного сечения в стандартном сечении $0,68D_{ст}$ и величиной суммарного складкообразования верха обуви ΣH в обуви, имеющей постоянную систему материалов низа [3.19]. Выведенные зависимости величины коэффициента складкообразования периметра поперечного сечения от изменения относительной остаточной деформации $\Delta\epsilon_{ост}$ после процесса производства для различных систем материалов имеют линейный характер и отличаются лишь величиной коэффициентов. Между суммарной высотой складок и относительной остаточной деформацией вид зависимости имеет квадратичный характер.

Количественно (в процентах) оценивать формоустойчивость по изменению внутреннего объема обуви после снятия ее с колодки было предложено Л. И. Адигезаловым и А. С. Шварцем в работе [3.20].

Польскими учеными запатентован прибор для определения формоустойчивости голенищ обуви [3.21]. В основу прибора положен механоэлектрический датчик, который может выполнять возвратно-поступательные движения. Датчик вмонтирован в пружинный захват и соединен с устройством для записи измерений. Следует отметить, что используя предложенный прибор, нельзя получить достоверную картину изменения формы и размеров носочно-пучковой части обуви.

В конце 70-х – начале 80-х годов в связи с широким использованием искусственных и синтетических кож на наружные детали заготовок верха обуви в УкрНИИКПе, МТИЛПе и ЛИТЛП был проведен ряд научно-исследовательских работ, программой которых предусматривалось изучение вопросов: термофиксации искусственных и синтетических материалов, изменение механических свойств синтетических кож в процессе формования обуви, формоустойчивости систем мате-

риалов для верха обуви, формоустойчивости обуви с верхом из синтетических кож при хранении [3.20, 3.22–3.26].

Исследования предусматривали испытания как образцов при одноосном и двухосном растяжении в воздушно-сухом состоянии, так и свойств готовой обуви. Так, в работе [3.24] проводилось измерение величины деформации на обуви по двум условным линиям, положение которых приближено к направлению максимального растяжения заготовки при формовании (линии проводились через середину носка и точки закрепок). Параллельно проводилась оценка формоустойчивости обуви экспресс-способом, основанном на определении изменений объема обуви [3.27, 3.28].

Щербаковым В. В., Калитой А. Н., Сипаровым Г. В. [3.29] предложен комплексный метод оценки формоустойчивости обуви. Для оценки формоустойчивости обуви предлагается ввести такие параметры, как площадь поверхности отформованной заготовки верха обуви S , объем обуви V , суммарная высота складкообразования верха обуви H_c , максимальная величина смещения верха заготовки на наружную (внутреннюю) сторону обуви Y_{\max} .

Одним из вариантов получения информации для аналитического расчета указанных показателей формоустойчивости является метод, предложенный в вышеуказанной работе. Его сущность заключается в автоматическом или полуавтоматическом считывании информации с поверхности (каркаса) поперечных сечений верха обуви в полярной системе координат с дискретным фиксированием угла и радиуса-вектора на выбранном участке обуви. Для этого использовалось специальное устройство, обмер обуви в котором осуществлялся снаружи посредством щупа. Предлагаемый метод позволяет контролировать формоустойчивость обуви при ее изготовлении, хранении и эксплуатации. Существенным его достоинством является возможность получения показателей формоустойчивости, дающих представление об изменении размеров и формы контролируемого участка верха обуви, применяя одно устройство. Однако метод не относится к быстрым и нетрудоемким.

Известен французский способ – FR 2674731A1 [3.30], который реализуется следующим образом. В обувь вставляется эластичная оболочка, которая заполняется круглыми частицами из полиэтилена или пропилена разных диаметров. Затем при помощи специального устройства создается вакуум для придания оболочке определенной жесткости, и ее форма повторяет внутреннюю форму обуви. Оболочка извлекается из обуви, и замеряются ее длина, ширина и периметр, сравниваются эти параметры с параметрами стопы. Однако заполнение гибкой оболочки шариками не позволяет достичь высокой точности повторения внутренней формы обуви, так как каких бы минималь-

ных диаметров они не были, шарики не могут полностью повторить внутренние очертания обуви и тем более при наличии складок в ее пучковой части. Кроме этого, способ не отражает реальных условий носки, так как предлагается сравнивать геометрические характеристики полученного отпечатка с аналогичными характеристиками средне-типичной стопы.

Цибизовой Е. М., Калитой А. Н. в работе [3.31] представлен системный подход к проблеме формоустойчивости обуви через выделение и классификацию факторов, влияющих на формоустойчивость обуви в процессе ее производства и эксплуатации. Разработана функционально-информационная модель прогнозирования формоустойчивости обуви. Модель отражает структуру и последовательность изменения физико-механических свойств материалов верха обуви, его формы и размеров на этапах производства и эксплуатации, включает логические блоки для сравнения полученных изменений формы и размеров верха обуви под воздействием различных факторов с допускаемыми, содержит виды информационного обеспечения, устанавливает состав, порядок и принципы взаимодействия всех этапов. В более поздних работах [3.19, 3.32] Цибизовой Е. М., Калитой А. Н., Клякотко М. А. установлена математическая зависимость изменения величины остаточной деформации под воздействием эксплуатационных факторов: температуры стопы, влажности внутриобувного пространства, рН пота стопы, влажности внешней среды, количества циклов многократного изгиба.

Следует подчеркнуть, что в большинстве работ, связанных с вопросами формоустойчивости, были получены в основном качественные данные. Количественные данные об изменении размеров и формы верха готовой обуви были получены лишь в отдельных работах. Первые исследования, направленные на изучение изменения размеров деталей обуви в процессе носки проведены учеными Т. Е. Акуловой и Ю. П. Зыбиным [3.10]. Исследовался характер деформации союзок в моделях обуви с верхом из разных видов тканей (в один и два слоя) при хранении и ходьбе. Регистрация деформаций при ходьбе производилась с помощью осциллографа с записью процесса деформации на бумаге. Отмечается, что в зависимости от жесткости материала верха обуви будет различной и величина его деформации при эксплуатации. Проведенный в работе [3.10] небольшой эксперимент показал, что интенсивное увеличение размеров верха кожаной обуви в пучках происходит в течение первых 2–3 недель носки, после чего полностью прекращается. Однако числовые значения изменений не представлены.

Н. К. Кушнир показал [3.33], что степень растяжимости материалов верха влияет на величину деформации и характер ее распределения по площади союзок. В обуви с жестким верхом наибольшая де-

формация союзки наблюдается на периферийных участках с полевой и внутренней стороны. В обуви с более растяжимым верхом деформация больше, но распределение ее по площади союзки более равномерное, благодаря чему обеспечиваются лучшие условия для функционирования стопы.

В работе, проведенной в МТИЛПе Калитой А. Н. и Зыбиным Ю. П. [3.34], установлена зона складкообразования в ношенных хромовых женских полуботинках. Складки образуются на расстоянии 0,70–0,78 длины стопы (считая от крайней точки пятки) на тыльной стороне союзок и на расстоянии 0,78–0,84 длины стопы на боковых сторонах союзок; складки расположены под углом 85–120° к продольной линии стопы или плоскости опоры. Авторами работы [3.12] Кедровым Л. В., Качко И. Л., Козловой З. В. обнаружено увеличение размеров верха бесподкладочной обуви в области плюсно-фалангового сочленения стопы при эксплуатации. Так, в обуви беззатяжного способа внутреннего формования через 1 месяц эксплуатации размеры верха увеличились на 2,3–4,8 %, а в обуви затяжного способа формования – на 1,8–3,3 %. Через 2 месяца эксплуатации максимальная деформация верха обуви из выростка достигала 1,9 %, из свиной кожи – 3,2 %, из шевро – 7,5 %. М.Г. Любичем отмечается [3.35], что в процессе носки обуви происходит подъем носочно-пучковой части обуви в среднем на 16,5 мм (от 5 до 28 мм) с соответствующим отклонением точек продольного контура и изменением периметров союзки по продольным линиям переднего раздела обуви. Рассматривается характер потери формы и особенности складкообразования в ношенной обуви, изготовленной по различным технологиям. Так, наибольшее складкообразование наблюдается в обуви, изготовленной внешним обтяжно-затяжным способом формования по общепринятой технологии. Автор считает обоснованным вывод о том, что нарушение формы обуви в большинстве случаев связано не с его изнашиванием, а в основном с перераспределением остаточных деформаций в отдельных участках верха и переориентацией волокон кожи.

По утверждению Михеевой Е. Я., Беляева Л. С. [3.1] наиболее значительные изменения размеров верха обуви происходят преимущественно в первые 30 дней эксплуатации, в последующий период размеры меняются менее значительно.

Количественная оценка складкообразования верха дается в работе [3.17]. Отмечается, что в женской повседневной обуви 230 размера при максимальном изгибе стопы суммарная высота складкообразования составляет 10–13 мм.

В некоторых работах [3.13, 3.36] приведены сведения об изменении линейных размеров верха обуви из искусственных и синтетических кож. Файбишенко М. А., Шардаковым С. В., Рухадзе Г. К. [3.36] отме-

чено, что остаточные деформации синтетических кож (патора, СК-2, порвайр), измеренные по продольным линиям, нанесенным на союзку обуви, через 1 месяц после снятия ее с колодок имеют значения 71–100 %, а измеренные по поперечным линиям – 62–80,6 %. Такие остаточные деформации по мнению авторов работы свидетельствуют об удовлетворительной формоустойчивости исследуемой обуви. Однако в данной работе, при проведении эксперимента, обувь с верхом из синтетических кож находилась на колодках в течение 24 часов, что не отражает реальных условий изготовления такой обуви, где она находится на затяжных колодках в пределах 1–2 часов. В работе [3.13], наряду с исследованием деформации ряда материалов верха обуви из натуральных кож в условиях эксплуатации, определялась деформация синтетической кожи порвайр. В результате было установлено, что линейные размеры этого материала в период эксплуатации изменяются меньше, чем линейные размеры верха обуви из натуральных кож.

В работе [3.37] Зурабяном К. М., Красновым Б. Я., Бернштейном М. М. представлены опытные данные процентного увеличения объема пучков обуви с верхом из тканей и натуральной кожи в композиции с широко применяемыми ранее ткаными подкладочными и межподкладочными материалами через 3 месяца носки, а также величины остаточных деформаций аналогичных систем материалов при двухосном растяжении. Увеличение объема в пучках обуви с верхом из натуральной кожи составляет 4–6,5 %, с верхом из тканей – 4–4,8 %. Установлено, что системы, имеющие при испытаниях наибольшее остаточное удлинение, при эксплуатации наименее формоустойчивы.

Следует отметить, что испытание в опытной носке, применяющееся как основной метод оценки эксплуатационных свойств верха обуви в ряде исследований, является продолжительным и дорогостоящим. Оно не позволяет полностью исключить влияние различных условий носки, влияние на результаты анатомических и физиологических особенностей носчиков, неравномерность свойств материалов и др.

Необходимость получения быстрой и объективной оценки эксплуатационных свойств верха обуви послужила основанием для создания лабораторных методов испытаний материалов.

Верх обуви представляет собой систему материалов с различными свойствами, которые в процессе носки совместно подвергаются механическим воздействиям. В связи с этим результаты лабораторных испытаний отдельно взятых материалов, на основании которых устанавливают требования к ним, не во всех случаях, по мнению Акимовой Е. В., Михеевой Е. Я. [3.38], согласуются с результатами, полученными при носке обуви. Это обуславливает необходимость изучения свойств материалов в системах, аналогичных тем, что имеются в обуви.

Впервые в работах [3.10, 3.39–3.41], выполненных учеными Ю. П. Зыбиным, Т. Е. Акуловой, Г. И. Кутяниным, Закатовой Н. Д. и другими, обосновывался путь создания лабораторных методов, позволяющих оценивать эксплуатационные свойства материалов с учетом основных факторов износа – растяжения и изгиба. Указывалось, что при многообразии воздействий, износ обувных материалов является результатом влияния главным образом одного или нескольких доминирующих факторов носки. Износ материалов является преимущественно следствием усталости материалов при повторных механических воздействиях, которым они подвергаются в процессе носки. Повторные механические воздействия приводят не только к расшатыванию структуры. Происходит накопление остаточной деформации, сопровождающейся изменением размеров и формы изделия, ухудшением его внешнего вида [3.42–3.44].

Испытание материалов в динамических условиях, приближенных к эксплуатационным, как способ получения в лабораторных условиях характеристик важнейших эксплуатационных свойств обуви, предопределило создание многочисленных методов и приборов. Основой для создания методов испытания в динамических условиях послужили результаты комплекса исследований по изучению сущности и характера износа обувных материалов, проведенных Ульяницким В. А., Платуновым К. М., Голубятниковой А. Г. [3.45–3.46]. Существующие методы испытания материалов на повторные механические воздействия, которые в той или иной степени отражают отдельные стороны процесса деформирования материала в период носки готовой обуви, отличаются между собой конструкцией применяемых приборов, характером деформации образца, параметрами и условиями испытаний.

Проведенные в этом направлении работы показывают, что в зависимости от условий и параметров лабораторных испытаний могут резко изменяться получаемые результаты. Это в свою очередь может быть причиной различной согласованности показателей лабораторных испытаний с эксплуатационными.

Классификация указанных методов в зависимости от вида деформации, формы образцов, режимов испытаний и принципов действия приборов дана в работах [3.1, 3.47] Михеевой Е. Я., Беляева Л. С., Поляковой Л. Г.

К числу наиболее распространенных режимов испытания обувных материалов относятся два синусоидальных: режим постоянных удлинений и режим постоянных нагрузок. Большинство методов оценки эксплуатационных свойств материалов для верха обуви предусматривает проведение испытаний в режиме постоянной деформации. В период же эксплуатации обуви деформация деталей обуви происхо-

дит, как правило, при сложном сочетании двух указанных режимов. В работе [3.1] указывается, что степень приближения к одному из этих режимов неодинакова для деталей обуви с верхом из материалов, отличающихся структурой и механическими свойствами, а также в различные периоды эксплуатации одной и той же обуви.

Так в зависимости от характера деформации различают методы, основанные на:

- многократном растяжении при постоянной нагрузке или постоянном удлинении;
- многократном изгибе;
- многократном растяжении с изгибом.

Кроме этого методы подразделяются на две основные группы в зависимости от формы образца. К одной из них относят методы испытания плоских образцов, ко второй – методы испытания образцов пространственной формы.

По принципу действия приборы подразделяются на два основных типа:

- приборы, не воспроизводящие складкообразование;
- приборы, воспроизводящие складкообразование материала.

На приборах первого типа образец испытывают в виде полоски. На приборах второго типа испытывают образец пространственного вида. Так как эти приборы дают складки на образце, подобные складкам на обуви, то условия испытания на приборах приближаются к реальным условиям эксплуатации обуви.

На приборах первого типа осуществляется знакопостоянный простой и знакопеременный изгиб (двойной перегиб). По характеру воспроизводимых складок приборы второго типа делятся на:

- приборы, воспроизводящие складкообразование на голенищах сапог;
- приборы, воспроизводящие «бегущую» складку;
- приборы, воспроизводящие складкообразование на союзке обуви.

Отдельные схемы деформации образцов на приборах первого и второго типов представлены на рисунке 3.2. В одних приборах материал изгибается на 90° в ту и другую сторону (рис. 3.2 а). В других – изгиб производится с дополнительным растяжением (рис. 3.2 б). Имеются приборы, где материал перегибается дважды, проходя (огняя) два шкива (рис. 3.2 в), подвергаясь одновременно изгибу с растяжением, в других приборах материал изгибается в специальных зажимах, образующих сложную складку, возникающую при изгибе детали, имеющей вторую кривизну. В этом приборе материал несколько растягивается в поперечном направлении за счет деформации резиновой подложки (рис. 3.2 г). В одном из приборов материал свертывается в трубку, которая подвергается сжатию в направлении продольной оси.

При этом возникает сложная деформация изгиба с образованием складок (рис. 3.2 д) Недостаток данных испытаний в том, что характерное для союзки поперечное растяжение на данном приборе не воспроизводится, и складкообразование получается беспорядочным, неоформленным. В силу этих причин результаты испытаний «гармошкой» не полностью отражают поведение обувных материалов в эксплуатации.

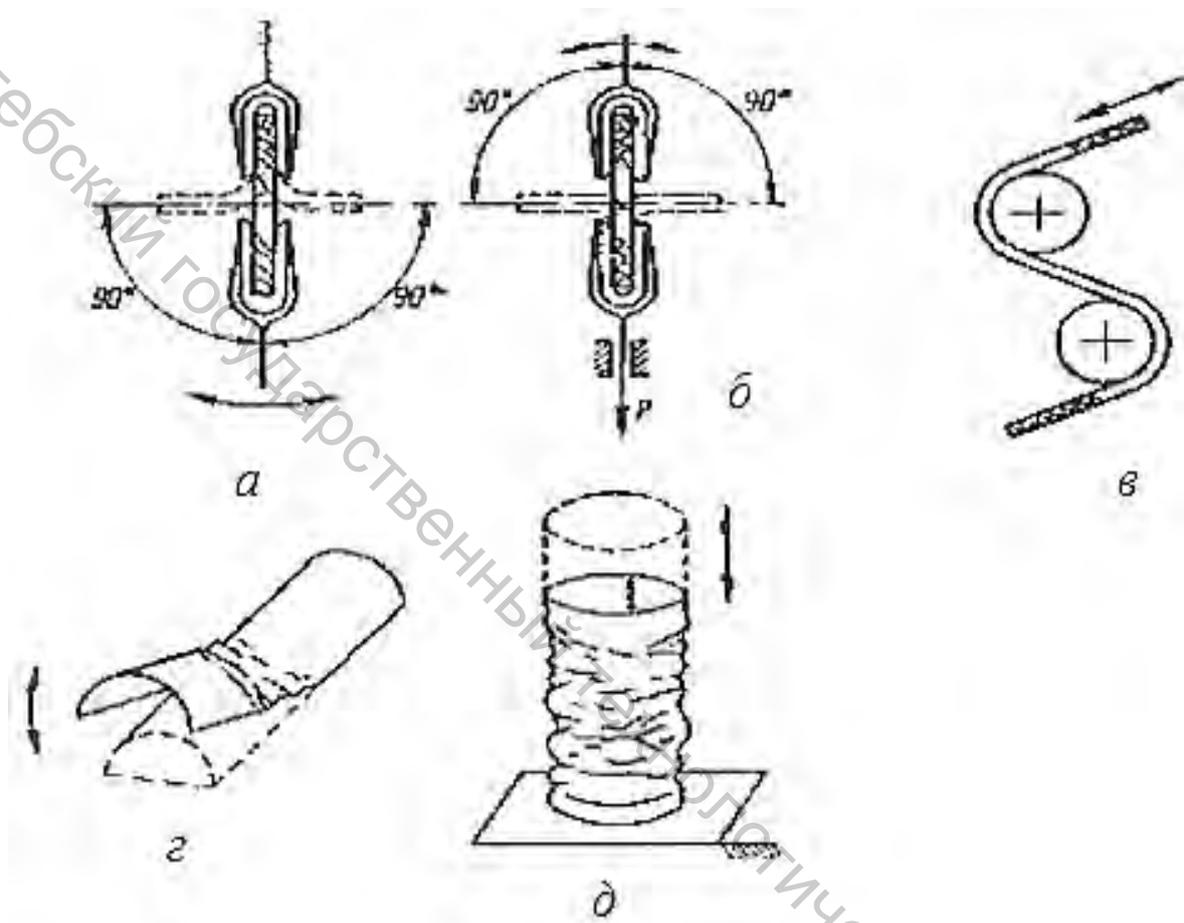


Рисунок 3.2 – Схемы деформирования:

- a* – изгиб на 90° ; *b* – изгиб с дополнительным растяжением;
- в* – двойной перегиб; *г* – деформация на резиновой подложке;
- д* – деформация «гармошкой»

Своеобразную деформацию образцов обеспечивает так называемый «союзочный прибор» [3.1, 3.48]. Испытываемые образцы деформируются не в свободном состоянии и не на жестком основании, как в ряде приборов, а в натянутом на резиновую колодку виде, в какой-то мере имитирующую стопу. Образец материала, плотно «обутый на колодку», получает комплекс деформаций, близкий к деформации союзки в обуви. При изгибе образца вместе с колодкой на нем образуются складки, аналогичные тем, которые появляются на союзке при изгибе

обуви. Благодаря способности резиновых колодок увеличивать свой периметр при изгибе, образец материала испытывает растяжение в поперечном направлении. Образцы испытываются при частоте 100 изгибов в минуту, что примерно соответствует частоте изгибов обуви при ходьбе. Прибор разработан применительно к испытанию искусственных кож, но может быть использован для испытания натуральной кожи и систем материалов, имитирующих верх обуви.

По утверждению Поляковой Л. Г. [3.47] при испытании на данном приборе получается значительный разброс результатов наблюдений по причине различного характера складок, образующихся в различных местах. Малые размеры образцов (130x30 мм), не позволяющие проводить исследования по ряду показателей, и отсутствие регулировки скорости деформации делают его малоприменимым при решении многопараметрических задач и в тех случаях, когда требуется быстрота проведения эксперимента.

Для испытания различных материалов на многократный изгиб с растяжением применяют также приборы фирмы Instron [3.49] и фирмы UTS [3.50], вибрационный прибор 6-24-1 (ВНР) [3.51], MPC-2 [3.52] и др.

Следует отметить, что к числу важнейших факторов, способных влиять на полученные результаты при динамических испытаниях, относятся действие пота, тепла, влаги, которые при оценке усталостных свойств в лабораторных условиях, как правило, не учитываются. Однако проведение работ по исследованию характеристик эксплуатационных свойств верха обуви в лабораторных условиях с применением методов, в которых наряду с повторными механическими воздействиями на образец оказывали бы действие физико-химические факторы носки, в частности пот, не вызывает сомнений. Применение такого метода обеспечит получение более объективных и воспроизводимых результатов, сократит материальные расходы, связанные с разрушением обуви при испытаниях, а также даст возможность прогнозировать долговечность верха, не проводя опытных носок обуви.

Большинство методов не предусматривает испытания систем материалов, что также является причиной отсутствия согласованности результатов лабораторных исследований обувных материалов и показателей свойств при эксплуатации обуви.

С применением указанных выше методов проводился ряд исследований эксплуатационных свойств материалов. Основная часть из них направлена на изучение усталостных свойств материалов верха обуви по показателям износостойкости. Определялось изменение прочности и удлинения (а иногда только прочности) после заданного числа циклов изгибов. Так, в работе [3.16] определялась потеря прочности натуральной кожи после заданного количества циклов деформации. В работе [3.53] исследовалось влияние многоцикловых нагру-

жений на прочность при растяжении образцов некоторых видов искусственных и синтетических кож. В ходе исследований выявлено, что наиболее интенсивное падение прочности происходит после первой тысячи многоцикловых нагружений. Далее падение прочности носит плавный характер.

Акимовой Е. В. Михеевой Е. Я. [3.38] из эксплуатационных характеристик систем оценивалась нагрузка и удлинение при разрыве после 200 тыс. циклов и 1 млн циклов нагружения при скорости деформации 100 циклов в минуту. Круг объектов исследований включал помимо систем с верхом из натуральной кожи системы с СК-2. Из подкладочных материалов использовалась тик-саржа, подкладочная кожа, искусственный мех и байка полушерстяная. Последующая работа Акимовой Е. В. и Михеевой Е. Я. [3.54] является продолжением начатых ранее исследований. Расширен круг изучаемых объектов. Изложены результаты исследований систем с верхом из хромовых кож и порвайера по изменению нагрузки и удлинению при разрыве после 250 дней носки обуви, что соответствовало 1,5 млн циклов изгиба с растяжением на союзочном приборе при скорости деформации 100 циклов в минуту. Отдельно представлены данные по верху и подкладке. Указывается, что после 250 дней носки потеря прочности подкладки в среднем почти на 40 % больше, чем потеря прочности материала верха. Отмечается, что степень уменьшения прочности и тягучести верха и подкладки в различных системах материала неодинакова и зависит не только от свойств самих материалов, но и от их сочетаний в системе. Авторами представлены данные по аналогичным показателям готовой обуви и коэффициенты корреляции между результатами опытной носки и лабораторными испытаниями, равные 0,61–0,87. В работе [3.51] исследовались аналогичные показатели износостойкости искусственной кожи за первые 370 тыс. циклов. Поляковой Л. Г. [3.47] выявлено изменение физико-механических свойств искусственных кож на нетканой основе после 240 тыс. изгибов. Изменения составляют 11–12 %, а иногда и более чем 35 %.

Островским В. С., Ягодой Л. А. [3.55] на союзочном приборе определялись физико-механические свойства образцов кож через 36, 72, 108 и 144 тыс. изгибов, что соответствовало по времени 6, 12, 18 и 24 часам работы на приборе. Определяли устойчивость образцов из бычины легкой и выростка к повторным механическим воздействиям по нагрузке и удлинению при разрыве. Для обеспечения достаточной износостойкости потеря прочности материала верха при испытании на союзочном приборе не должна превышать 30–40 %.

Исследования деформационных свойств обувных многослойных текстильных материалов проведены во Львовском торгово-экономическом институте [3.56]. При этом устанавливалась зависи-

мость между показателями полной деформации и ее составляющими от особенностей волокнистого состава, строения, способов заключительной отделки материалов, а также режимов их деформирования. В работе представлены численные значения одноцикловых характеристик при нагрузке 25 % от разрывной, 15 % от разрывной и 10 Мпа, которые коллективом авторов принимаются за критерии, позволяющие обоснованно проектировать обувь с заданной формоустойчивостью. Динамические испытания материалов в данных исследованиях не осуществлялись.

Белокуров В. Н., Бузов Б. А. [3.57] сделали попытку установить причины и факторы, объясняющие различие деформационных показателей, определяемых в статическом и динамическом режимах испытания, теоретически обосновать взаимосвязь этих показателей. Доказывается возможность, не разрушая материал, по амплитудно-частотным характеристикам при различных видах деформации исследуемого материала, определять коэффициент жесткости, величину силы трения и другие деформационные показатели. По утверждению авторов работы результаты проведенных исследований могут быть использованы при оценке способности материалов к формообразованию и формоустойчивости.

Показатели упруго-пластических свойств после однократной деформации образцов, характеризующие статистическую формоустойчивость обуви, определялись в большинстве исследований [3.1, 3.37, 3.58–3.60]. Деформацию выражали линейными или площадными величинами. Составные части деформации определяли при помощи различных приборов и приспособлений, основанных на одноосном и двухосном растяжении образцов. Методики для оценки формоустойчивости отличались параметрами испытаний.

Адигезаловым А. И. и Шварцем А. С. [3.20] разработан прибор (пластимер) для измерения релаксации деформации и прибор для измерения релаксации напряжения, основанные на сообщении образцу двухосного растяжения. С применением данных приборов авторами исследовалось влияние режимов сушки на формостойкость обуви и свойства обувных материалов посредством оценки релаксаций деформаций и напряжений.

Буркиным А. Н., Калитой А. Н. [3.61] за критерий оценки формоустойчивости принималось относительное остаточное удлинение стандартных образцов через 7 суток после сушки, так как за это время полностью заканчиваются релаксационные процессы в коже.

Методика оценки формоустойчивости обувных материалов и их систем, разработанная ЦНИИКПом [3.62], основана на определении отношения остаточной деформации образцов к их общей деформации при двухосном растяжении. Отмечается, что при сложном характере

деформации деталей верха обуви в процессе ее изготовления и носки двухосное растяжение является преобладающим, что определяет целесообразность использования двухосного растяжения при создании метода оценки формоустойчивости. С точки зрения оптимальной формоустойчивости величины остаточных деформаций систем материалов верха, определяемых при двухосном растяжении не должны превышать 3–5 % и не быть меньше 2–2,5 %. При этом условии, как считают авторы, обеспечивается некоторое увеличение поперечных размеров обуви (до 1,5–3 %), создающее удобство для стопы. Однако по данным исследований, отражающих изменение размеров стопы в процессе носки и приведенных ранее, в среднем увеличение поперечных размеров обуви составляет 6–8 %.

В большинстве применяемых приборов на двухосное растяжение образцы деформируются неоднородно, то есть зона однородного растяжения расположена только в центре образца. Наиболее распространено продавливание материалов шариком или сферой на приспособлении к разрывной машине или на приборе ПОИК [3.1]. С целью получения однородного (симметричного) растяжения ЦНИИКПом и УкрНИИКПом были проведены работы по совершенствованию приборов [3.63, 3.64]. Формоустойчивость материалов и обуви, выраженная через их упруго-пластические свойства, по методике ЦНИИКП рассматривается как сохранение формы, а по методике УкрНИИКП – как восстанавливаемость формы.

Оценку формоустойчивости систем материалов с верхом из свиных хромовых кож после формования на сферическом пуансоне провели авторы работы [3.65]. По результатам испытаний можно характеризовать поведение обуви при ее хранении. Остаточную деформацию при двухосном растяжении в статике каркасных нетканых полотен исследовала Веселова Л. Е. [3.66].

Попытки приблизить результаты испытаний по формоустойчивости, полученные в лабораторных условиях, к результатам испытаний при носке обуви привели авторов работы [3.67] Горюшину Л. А., Беляева Л. С., Горнецкую Т. С., Булееву В. А. к необходимости создания метода оценки формоустойчивости материалов и систем материалов, имитирующих верх обуви в динамических условиях. При разработке метода исходили из результатов исследований, согласно которым верх обуви в процессе эксплуатации подвергается повторному растяжению, преимущественно двухосному, обуславливающему накопление остаточных деформаций и вследствие этого ведущему к потере формы. Учитывая это, в предлагаемом методе образцу сообщали двухосное растяжение на заданную величину деформации и измерение величины остаточного удлинения после определенного числа циклов воздействия. Испытания образцов в форме круга с нанесенной на них

разметкой осуществляли на известном приборе В 3052. В результате исследований установлена зависимость остаточных деформаций от продолжительности испытаний для различных материалов и систем, а также между остаточными удлинениями, измеренными лабораторным способом до и после эксплуатации обуви в опытной носке. Согласно полученным данным, величина остаточных деформаций изучавшихся материалов и систем материалов после 50 тыс. циклов повторного растяжения колеблется в пределах 4–12,5 %. Наибольшие значения этого показателя установлены при испытании образцов хромового дубления, изготовленных из бычины и изучавшейся в одинарном виде (без подкладки). Наименьшие значения показателя получены при испытании синтетической кожи и системы материалов в сочетании с кожаной подкладкой. Наиболее интенсивное увеличение остаточных деформаций наблюдалось в первый период испытания; после 40–50 тыс. циклов повторного растяжения в образцах из натуральной и синтетической кожи, а также в системах включающих эти материалы, происходила стабилизация указанного показателя. Необходимо отметить отсутствие в рассматриваемых системах межподкладки, особенно значимой в случае применения тик-саржи в качестве материала подкладки.

Разработан метод испытания систем материалов при многократном растяжении [3.68], который предусматривает циклическое двухосное растяжение образцов, прошедших предварительную технологическую обработку, сферическим пуансоном на заданную величину деформации 8 %, что соответствует средним значениям деформации верха обуви в области пучков при ходьбе со скоростью, соответствующей ускоренному темпу ходьбы человека. Конструкцией прибора предусматривается постоянство амплитуды хода деформирующих пуансонов в процессе испытания. Форма и размеры деформирующих пуансонов соответствуют внутренней форме обуви, что позволяет получить характер распределения деформаций аналогичный реальному при взаимодействии верха обуви со стопой.

Как видно, оценкой формоустойчивости занимался ряд исследователей. Однако единой методики оценки до сих пор не существует. Поэтому наблюдается некоторое многообразие предполагаемых методов и средств оценки.

Исследования ряда ученых были направлены на изучение влияния свойств материалов обуви, технологических и эксплуатационных факторов на ее формоустойчивость, приформовываемость к стопе, на подбор рациональных материалов и технологических режимов производства, разработку конструкций обуви с целью обеспечения хороших характеристик верха в процессе носки обуви [3.19, 3.24, 3.32, 3.69–3.85]. Так, в работе Цибалко Е. С. [3.69] с целью повышения формо-

устойчивости обуви проводились исследования упруго-релаксационных свойств натуральной кожи. Они заключались в выборе оптимальных режимов формования и достижении максимальной формоустойчивости обуви. Для исследования использовалась натуральная кожа нескольких видов. Испытания в разных режимах нагружения проводили на универсальной установке Instron. Получены диаграммы растяжения кож при непрерывном растяжении и в режиме ступенчатого нагружения. Испытания проводили при различных температурах. Установлено, что на определенном уровне деформирования происходят структурные изменения, приводящие к возрастанию жесткости в несколько раз. Выявлена возможность прогнозирования этих уровней удлинений по исходным диаграммам растяжения.

Коллективом ученых [3.19] получена математическая модель, отражающая взаимосвязь между изменениями показателей физико-механических свойств материалов верха и такими эксплуатационными факторами, как температура стопы, влажность внутриобувного пространства, интенсивность выделения пота, pH пота, влажность внешней среды, количество циклов многократного изгиба.

Исследования, направленные на изыскание возможности применения различных материалов для верха обуви с оценкой их эксплуатационных свойств, проведенные либо лабораторными методами, либо опытной ноской, а также в комплексе, проведены авторами работ [3.86–3.88] и др.

Авторы работы [3.37] отмечают, что на формоустойчивость существенно влияют деформационные свойства материалов системы. Чем больше и продолжительнее деформация материала, тем лучше формоустойчивость изделия из него, так как внутреннее напряжение, возникающее при деформации, релаксирует, а материал, имеющий высокую остаточную деформацию, при повторных нагружениях уже менее способен к ней. На остаточную деформацию системы материалов влияют также влажно-тепловые воздействия.

Исследования комплексного влияния режимов формования на формоустойчивость систем из искусственных кож были проведены С. Л. Фурашовой, К. А. Загайгорой, З. Г. Максиной, А. Н. Антоненко [3.89].

Одним из важных эксплуатационных показателей, характеризующих поведение верха обуви, особенно в начальный период носки, является распорная жесткость, определяющая приформовываемость обуви к стопе. Этот вид жесткости проявляется при стоянии и движении человека и связан с силами давления на верх обуви. Известно, что периметр сечения стопы в плюснефаланговом сочленении в фазе переката через передний отдел увеличивается. Если верх обуви обладает значительной жесткостью, то он не позволит стопе полностью рас-

прямиться и будет оказывать на нее значительное давление, что вызовет неприятные ощущения. Одним из путей уменьшения распорной жесткости верха может быть рациональный подбор систем материалов, составляющих заготовку. Этот вопрос исследовали Горбачик В. Е., Линник А. И. и Фукин В. А. [3.90]. В результате исследований проведенных, в лабораторных условиях, было установлено, что применение трикотажных полотен для подкладки и межподкладки значительно снижает распорную жесткость верха обуви.

Авторами работы [3.91] отмечается, что наиболее значимыми факторами, влияющими на формоустойчивость, являются материалы наружных, внутренних и промежуточных деталей верха обуви, способы формования и фиксации формы, величины деформации и др. Причиной искажения верха обуви может быть недостаточная относительная деформация материала верха и системы материалов при производстве обуви. Исследование величины и характера деформации материала плоских заготовок мужских полуботинок из натуральной кожи показало, что при обтяжно-затяжном способе формования и влажно-тепловой фиксации формы, заготовки в основном деформируются в носочной части и в зоне, расположенной между носком и гребнем колодки (на тыльной ϵ_T и боковых поверхностях ϵ_6). Площадь деформированных зон зависит от жесткости материалов верха, геометрических характеристик колодки и соотношения сил, действующих со стороны исполнительных органов машин в продольном и поперечном направлениях.

В поперечных направлениях возможны три случая распределения деформации в отформованной союзке: равномерное на тыльной и боковых поверхностях $\epsilon_T = \epsilon_6$, большие деформации на тыльной поверхности $\epsilon_T > \epsilon_6$ и большие деформации на боковых поверхностях $\epsilon_6 < \epsilon_T$.

Обувь должна быть отформована так, чтобы создать поперечные деформации большие на боковых поверхностях, а меньшие – на тыльной поверхности. В этом случае преобладает растяжение боковых участков союзки, и это будет препятствовать смещению верха обуви к наружной стороне и будет меньше нависания верха над подошвой. За счет небольшой деформации на тыльной поверхности обувь будет быстро приформовываться к стопе и будет меньше складок в союзке в поперечном направлении.

Искажение формы обуви с верхом из синтетических (СК) и искусственных (ИК) кож выглядит по-другому. Так как СК и ИК для верха обуви обладают специфическими свойствами полимерных материалов с высокими значениями упругих деформаций, обувь после снятия с колодки усаживается и в процессе носки имеет локальную усад-

ку. Поэтому для производства формоустойчивой обуви с верхом из ИК и СК необходимо разрабатывать соответствующие конструкции заготовок верха обуви, способы и режимы формования и фиксации формы. Установлено, что на формоустойчивость систем материалов с верхом из ИК и СК большое влияние оказывает материал межподкладки и подкладки. Так, у систем с верхом из СК на смешанной основе формоустойчивость системы с межподкладкой из термобязи выше, чем формоустойчивость с межподкладкой из нетканого материала плотностью 130 г/м^2 , а формоустойчивость системы с кожаной подкладкой обуви выше, чем формоустойчивость системы с трикотажной подкладкой. У СК на нетканой основе формоустойчивость системы с межподкладкой и подкладкой практически не изменяется в сравнении с формоустойчивостью системы с подкладкой из натуральной кожи. У ИК на тканевой основе формоустойчивость выше у систем с межподкладкой из термобязи при использовании в качестве подкладки натуральной кожи [3.91].

Авторами работы отмечается, что достаточно высокая формоустойчивость обуви с верхом из СК и ИК достигается, если заготовки перед формованием обрабатывались термодиффузионным контактным способом при $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ и $210 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 с для кожаной подкладки и подкладочного трикотажа соответственно [3.91].

Таким образом, формоустойчивость обуви с верхом из натуральной кожи решается настройкой оборудования для формования, а формоустойчивость обуви с верхом из СК и ИК – за счет конструкции заготовок и режимов фиксации формы верха обуви [3.91].

Проведенные в работе [3.92] исследования позволили установить оптимальные технологические режимы процесса формования верха обуви из натуральной кожи двух уровней жесткости с различными материалами межподкладки и с подкладкой из трикотажного полотна, учитывающие комплексное воздействие на показатель формоустойчивости наиболее значимых факторов: удлинения, влажности и температуры теплового воздействия, использование которых позволяет значительно улучшить формоустойчивость обуви и как следствие её качество.

В качестве критерия оптимизации принят коэффициент формоустойчивости, учитывающий потерю формы в течение определенного времени после выполнения формообразующих операций. По мнению многих исследователей, обувь считается формоустойчивой, если коэффициент формоустойчивости (K) равен или более 75 %. С целью получения технологических режимов формования, обеспечивающих выпуск обуви повышенной формоустойчивости, в качестве критерия оптимизации авторами принят показатель $K \geq 80\%$ [3.92].

Исследования показали, что для большинства систем наибольшее влияние на коэффициент формоустойчивости оказывает температура теплового воздействия. Коэффициент формоустойчивости повышается с ростом температуры теплового воздействия и уровня влажности. Кроме этого, существенное влияние на формоустойчивость оказывает величина растяжения [3.92].

Тихоновой Н. В. [3.93] исследовалось влияние неравновесной низкотемпературной плазмы на формоустойчивость верха обуви из низкосортной натуральной кожи с дефектом. Формоустойчивость определяли после носки путем непосредственного измерения на обуви величины приращения, измеряемого участка и отнесения его к величине этого же участка готовой неношенной обуви до и после применения ВЧ-плазменной обработки. Установлено, что интенсивное увеличение размеров верха обуви, особенно в области пучков, происходило в течение первых 2–3 недель носки. В обуви, обработанной плазмой, в процессе носки произошло увеличение поперечных размеров до 3–4 %, что является, как указано автором, допустимой потерей формы, а в обуви, необработанной плазмой произошло увеличение поперечного размера в области пучков более, чем на 10–12 %, что свидетельствует о потере формы.

Систематизация и анализ существующих методов оценки упругопластических свойств обувных материалов в условиях одноосного и двухосного растяжения, от которых в значительной степени зависят формуемость, формоустойчивость и приформовываемость верха обуви в процессе производства и эксплуатации, проведены Томашевой Р. Н. и Горбачиком В. Е. [3.94]. Установлено отсутствие единой методологии определения упругопластических свойств различных по структуре материалов, что обуславливает невозможность их сравнительной оценки. Обозначена необходимость унификации существующих методов испытаний и разработки единых подходов к оценке упругопластических свойств различных материалов для верха обуви.

Исследованию формоустойчивости систем материалов с верхом из современных синтетических кож, с межподкладкой из трикотажного полотна и подкладкой из натуральной подкладочной кожи посвящена работа [3.95]. Формоустойчивость оценивалась усадкой систем верха на образцах круглой формы. Дана сравнительная характеристика формоустойчивости СК различных структур и их пригодность для изготовления обуви. Установлено, что наименьшие усадочные процессы наблюдаются в системах материалов в поперечном направлении. Наибольшая усадка вдоль рулона происходит в системах с верхом из СК на тканой основе. Наиболее равномерна усадка систем с верхом из СК на нетканой основе.

Оценке и прогнозированию приформовываемости обуви к стопе посвящены работы Горбачика В. Е., Томашевой Р. Н. [3.96–3.98]. В работе [3.99] представлены разработанные методика и прибор для определения приформовываемости верха обуви к стопе, позволяющий количественно оценить данный показатель качества в лабораторных условиях, а также автоматизированный комплекс для измерения и оценки упруго-пластических свойств обувных материалов и их систем, который дает возможность автоматизировать процесс проведения эксперимента и осуществить расчет, характеризующих упруго-пластические свойства исследуемых объектов.

В работе [3.99] также представлена методика расчета приформовываемости верха обуви к стопе, позволяющая на стадии конструкторско-технологической подготовки производства осуществлять оценку качества обуви по данному показателю. Задавшись необходимым значением приформовываемости верха обуви к стопе можно определить время, в течение которого будет достигнута данная величина в процессе эксплуатации обуви.

Авторами вышеуказанных работ получены новые данные об упруго-пластических свойствах современных материалов для верха, подкладки и межподкладки обуви с использованием различных методик, основанных на различных видах деформации и определены наиболее информативные показатели упруго-пластических свойств.

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- актуальность проблемы улучшения эксплуатационных свойств обуви определяет практическую важность и необходимость широкого исследования и оценки формоустойчивости обуви. Острота этой проблемы усиливается в настоящее время, во-первых, в связи с возрастающими требованиями потребителей к качеству приобретаемых ими товаров, во-вторых, в связи с применением новых технологий и материалов в обувном производстве;

- различают статическую и динамическую формоустойчивость обуви, которая оценивается изменением формы и размеров верха обуви после снятия с колодки и в процессе носки обуви соответственно;

- оценкой формоустойчивости занимался ряд исследователей, однако единой методики оценки формоустойчивости до сих пор не существует. Наблюдается некоторое многообразие предполагаемых методов и средств оценки;

- большее количество исследований посвящено оценке свойств систем материалов верха обуви и в, частности, упруго-пластическим свойствам, и влиянию технологических факторов на их формоустойчивость;

– следует отметить, что известные методы оценки эксплуатационных свойств систем верха, в том числе формоустойчивости, недостаточно приближены к реальным условиям носки обуви, что вносит элемент недостоверности в результаты исследований. Данные ряда исследований несопоставимы, так как получены различными методами, кроме того, они либо вообще не отражают формоустойчивость в процессе эксплуатации, либо отражают ее не в полной мере;

– разработка методов и средств оценки формоустойчивости обуви и ее узлов практически прекратилась в странах СНГ с середины 80-х годов прошлого столетия, хотя проблема осталась актуальной до сегодняшнего дня;

– в большинстве литературных источников содержатся сведения о формоустойчивости верха обуви из материалов, которые по ряду причин уже не применяются в производстве обуви. Только в последние годы проводились некоторые работы по исследованию статической и динамической формоустойчивости систем верха с новыми материалами. Существует необходимость активизации работ по исследованию свойств новых материалов и формоустойчивости обуви;

– остается открытый вопрос, связанный с установлением критериев оценки формоустойчивости систем и готовой обуви.

3.2 Разработка методов оценки формоустойчивости систем материалов и обуви при эксплуатационных воздействиях

Как отмечалось ранее, перечень стандартных показателей, по которым проводится оценка качества обуви, не включает показатели формоустойчивости. Тем не менее, важность оценки этого свойства доказывается многочисленными исследованиями, проведенными учеными в разные годы и которые кратко изложены в п. 3.1.

В п. 3.2 настоящей работы авторами осуществлены выбор, усовершенствование и разработка методов оценки формоустойчивости систем и готовой обуви, которые легли в основу реальных исследований, результаты которых будут представлены в п. 3.2 и п. 3.3. При выборе существующих методов оценки исходили из принципа их оптимальности, что, с одной стороны, заключается в получении достоверных, воспроизводимых результатов, а с другой – в отсутствии значительных затрат на исследование.

Для оценки статической формоустойчивости систем материалов чаще применяются устройства и приспособления, с помощью которых образцам сообщается двухосное растяжение. Наиболее совершенен прибор, разработанный Адигезаловым Л. И. и Шварцем А. С. [3.20],

предназначенный для измерения релаксаций. Однако воспроизведение данного прибора вызывает определенные сложности технического плана. Более простым в изготовлении и удобным при работе является приспособление для двухосного растяжения, разработанное Буркиным А. Н., Калитой А. Н., Клобуковым С. И. [3.70,] и представленное в главе 2 настоящей монографии (рисунок 2.2).

С помощью вышеуказанного приспособления проведены исследования статической формоустойчивости различных систем материалов верха обуви, результаты которой нашли отражение в п. 3.3 настоящей работы. Перед испытанием на приспособлении образцы подвергались технологической обработке в соответствии с режимами, действующими в производственных условиях.

При испытаниях величину деформации для систем материалов с верхом из натуральной кожи выбирали равной 20 %, так как в процессе затяжки обуви на колодку заготовка испытывает деформацию от 10 до 30 % в различных направлениях. Системы с верхом из нетканого материала растягивали на 10 %, так как при растяжении на 20 % происходил их разрыв, что связано с особенностями структуры нетканого полотна.

После десятиминутной выдержки образцов в деформированном состоянии (что примерно соответствует времени прохождения обуви по обтяжно-затяжному участку) приспособления с образцами с верхом из кожи помещали в термошкаф, где они находились в течение 20 минут при температуре 100 °С. Образцы сушили согласно нормируемым требованиям до конечной влажности 16–18 %. Применяли температурные режимы обработки кожи, не вызывающие снижения ее механических свойств. Данный этап отсутствовал при испытании образцов из нетканого материала, так как в технологическом процессе производства обуви из текстильных материалов не предусмотрена операция «увлажнение заготовок», а следовательно, и сушка обуви.

После сушки обойму с образцами выдерживали при нормальных условиях 30 минут, что, примерно, соответствует времени от операции «фиксация формы обуви» до «снятия обуви с колодки», а затем их освобождали от зажимов и вновь выдерживали в нормальных климатических условиях с относительной влажностью воздуха 60–70 % и температурой 18–22 °С не менее 24 часов. Через 7 суток проводили замеры остаточных деформаций. В течение этого времени, согласно данным работы [3.70], после комплекса технологических воздействий в образцах полностью происходят релаксационные процессы.

Деформационные характеристики материала при двухосном растяжении являлись критериями для оценки статической формоустойчивости, определяемой коэффициентом формоустойчивости. Коэффициент формоустойчивости K_{ϕ} рассчитывался по формуле

$$K_{\phi} = (h_i / h_n) \times 100 \%, \quad (3.1)$$

где h_n – высота образца, достигнутая при деформировании, мм; h_i – высота образца через 7 суток после деформирования, мм.

В п. 3.2 представлены полученные значения коэффициентов устойчивости всех исследуемых систем.

Параллельно проводили испытания на известном приспособлении для одноосного растяжения образцов, общий вид которого представлен на рисунке 2.1 главы 2 монографии. Образцы выкраивали размером 20×180 мм с рабочей длиной 100 мм.

Испытания проводились в режимах увлажнения, формования и сушки, описанных выше.

После пролежки образцов определялось относительное остаточное удлинение, которое рассчитывалось по формуле

$$\varepsilon_{\text{ост}} = (l_2 - l_0 / l_1 - l_0) \times 100 \%, \quad (3.2)$$

где $\varepsilon_{\text{ост}}$ – относительное остаточное удлинение, %; l_0 – рабочая длина образца, мм; l_1 – длина образца при растяжении, мм; l_2 – длина образца после растяжения и 7 суток пролежки, мм.

Для оценки динамической формоустойчивости систем материалов верха обуви, при непосредственном участии авторов настоящей работы, разработан способ и устройство, где образцы систем материалов подвергались комплексному воздействию механических и физико-химических факторов эксплуатации. [3.100, 3.101]. Механические факторы – растяжение с изгибом. Физико-химические – действие биологической жидкости, имитирующей пот человека, и воздействие температуры и влажности воздуха. Принципиальное отличие разработанного устройства от известных заключается в возможности действия на образцы эксплуатационных факторов различного характера, а также в возможности регулирования температурных и скоростных режимов испытания.

Подготовка и порядок проведения испытаний при оценке формоустойчивости систем материалов в динамике заключались в следующем: образцы материалов, размером 190×180 мм, собирали в системы и подвергали ряду технологических воздействий, отражающих процесс формования и фиксации верха обуви. Вначале осуществлялось увлажнение (для образцов с верхом из натуральной кожи), а затем растяжение с помощью приспособления для одноосного растяжения и фиксации формы. Режимы увлажнения, деформирования, фиксации образцов аналогичны режимам обработки, описанным выше. После снятия образцов с приспособления и выдерживания 1–2 суток в нормальных условиях

образцы сшивали в виде «чулка» для дальнейших эксплуатационных испытаний. Образец надевали на пластину объемной формы, изготовленной из резины, которая в определенной мере отражала во время испытаний упругое действие стопы. Подготовленные описанным способом образцы закреплялись в зажимах устройства для эксплуатационных испытаний верха обуви. Общий вид устройства показан на рисунке 3.3.

Устройство состоит из камеры 1. Под камерой установлен электродвигатель 2 с клиноременной передачей 3 и редуктором 4. Механизм деформации включает кривошипы 5, связанные с ними шатуны 6 и ползуны 7, на которых укреплены нижние (подвижные) зажимы 8, имеющие форму пластин с рифленой внутренней поверхностью. На четырех стойках 9 крепится неподвижная плита 10 с верхними (неподвижными) зажимами 11. При изменении длины образцов плиту можно поднимать и опускать, меняя положение шайб 12. Ход подвижных зажимов регулируется винтом 13.

Система подачи биологической жидкости состоит из резервуара 14, насоса 15, электродвигателя 16 и трубок 17. Система установления повышенной влажности в зоне испытаний включает расположенные внутри камеры трубки 18 с форсунками, сообщающимися с резервуаром 19, в который вмонтирован насос 20 с электродвигателем 21.

В камере установлен вентилятор 22, обеспечивающий подачу теплого воздуха.

Включение устройства в работу осуществляется с помощью клавиатуры 23 на панели управления.

Устройство работает следующим образом: образцы материала закрепляются в верхних 11 и нижних 8 зажимах. Нажатием клавиши «пуск» на панели управления 24 включается электродвигатель 2, который приводит во вращение через клиноременную передачу 3 редуктор 4 с кривошипами 5. Через шатуны 6 движение передается ползунам 7 с зажимами 8, совершающими возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости.

Температурные режимы воздуха в зоне испытаний устанавливаются и поддерживаются терморегулятором. Терморегулятор состоит из блока управления 25, который находится на панели управления 24 и датчика, размещенного в камере. Регулировочным винтом на блоке управления устанавливается задаваемая температура, а датчик осуществляет ее контроль.

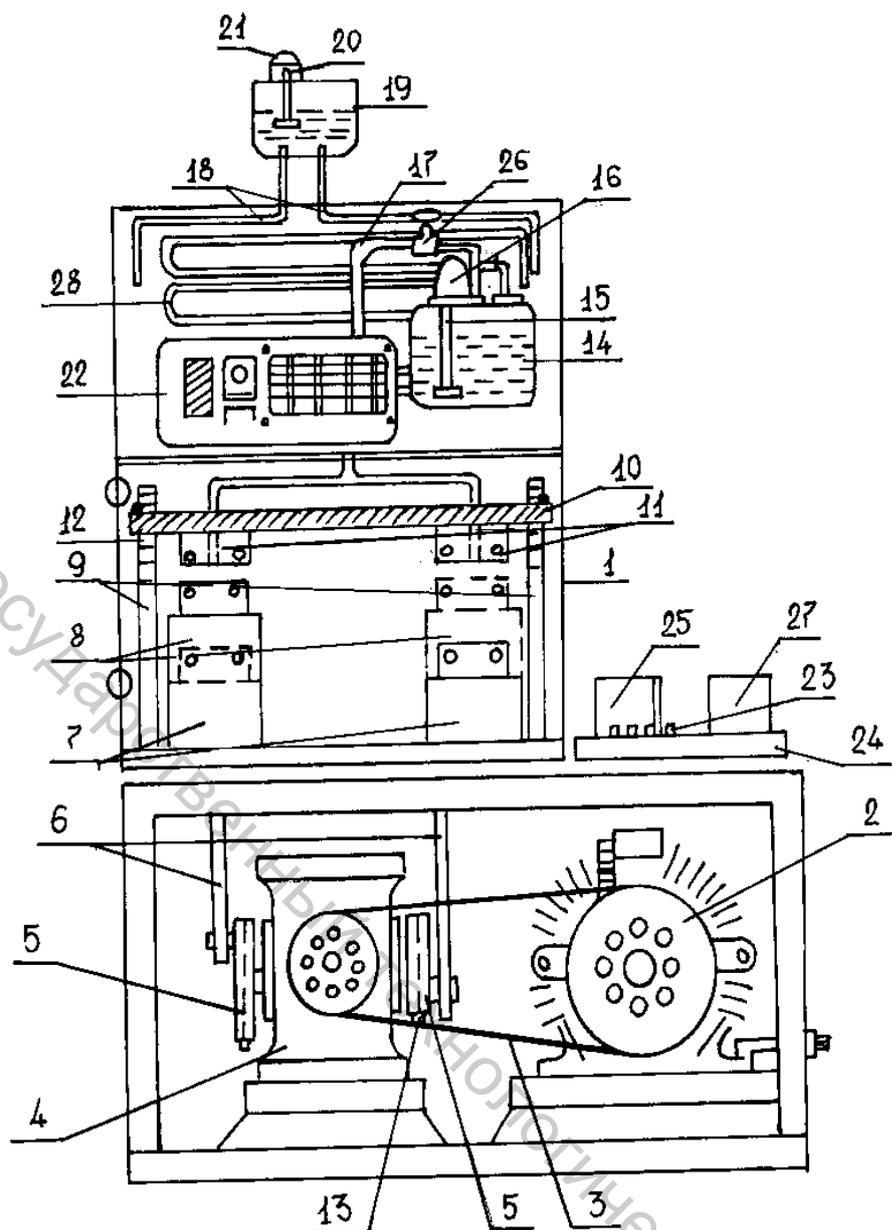


Рисунок 3.3 – Устройство для эксплуатационных испытаний материалов и систем верха обуви

Биологическая жидкость подается из резервуара 14 при помощи насоса 15, работающего от электродвигателя 16, через плиту 10 по каналам внутри неподвижных зажимов 11 через перфорированную резиновую колодку на внутреннюю поверхность образцов в количестве эквивалентном количеству пота, выделяемому стопой человека. Регулировка подачи жидкости осуществляется дросселем 26. Включение электродвигателя производится на панели управления 24.

В устройстве предусмотрена система охлаждения воздуха, состоящая из трубок с фреоном 28, расположенным в верхней части камеры, работающая автономно от двигателя 27.

Частота нагружения образцов от 50 до 200 цик/мин, что соответствует различной скорости ходьбы. Основная частота нагружения при испытаниях – 100 цик/мин или 6000 цик/час. Согласно данным, опубликованным в работе [3.53], такому количеству циклов изгиба подвергается в среднем обувь за один день носки. В связи с этим один час работы на устройстве приравнивается к одному дню условной эксплуатации обуви. Образцы деформировали в течение 7, 15, 30, 45, 60, 90 дней условной эксплуатации, что соответствовало 42 тыс., 90 тыс., 180 тыс., 270 тыс., 360 тыс. и 540 тыс. циклов изгиба. При изгибе образцы могут растягиваться в продольном направлении на величину до 15 %. Принятое в работе растяжение составляло 7 %. Схема нагружения образца показана на рисунке 3.4.

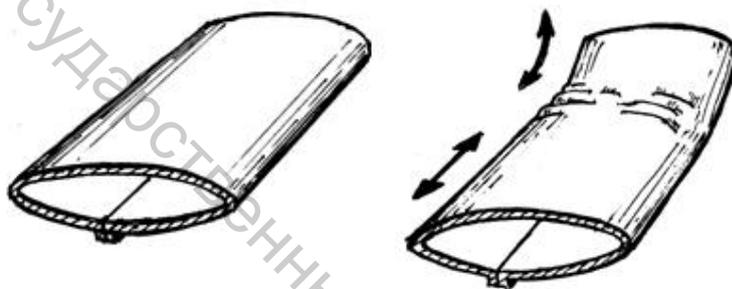


Рисунок 3.4 – Схема нагружения образца

Существующая методика количественной оценки формоустойчивости верха обуви предполагает до проведения эксплуатационных испытаний нанесение на поверхность верха геометрической фигуры – квадрата с заданной стороной. В процессе многоцикловых нагружений, вследствие деформации верха обуви, происходит смещение вершин квадрата и превращение его в общем случае в неравносторонний четырехугольник. В качестве меры формоустойчивости верха принимается разность площадей исходного квадрата и четырехугольника, в который квадрат переходит по мере носки обуви.

Величина площади четырехугольника не может быть однозначно выражена через его стороны. Это не трудно показать, проведя в нем одну из диагоналей. Любая из двух диагоналей делит четырехугольник на два треугольника, сумма площадей которых и есть площадь четырехугольника. Как известно, площадь треугольника S равна произведению двух его сторон на синус угла между ними. Отсюда ясно, что изменение площади четырехугольника зависит от изменения величины его углов. Для того чтобы избежать необходимости измерения углов, можно применить следующий прием. Кроме измерения сторон четырехугольника измерять одну из его диагоналей. Пусть, например, сторона исходного

квадрата равна a , а величина сторон четырехугольника после деформации квадрата и диагонали – соответственно a', b', c', d' и g' . Условимся, что отрезки a', b', g' образуют один треугольник с площадью S_1 , а отрезки c', d', g' – второй треугольник с площадью S_2 (рисунок 3.5).

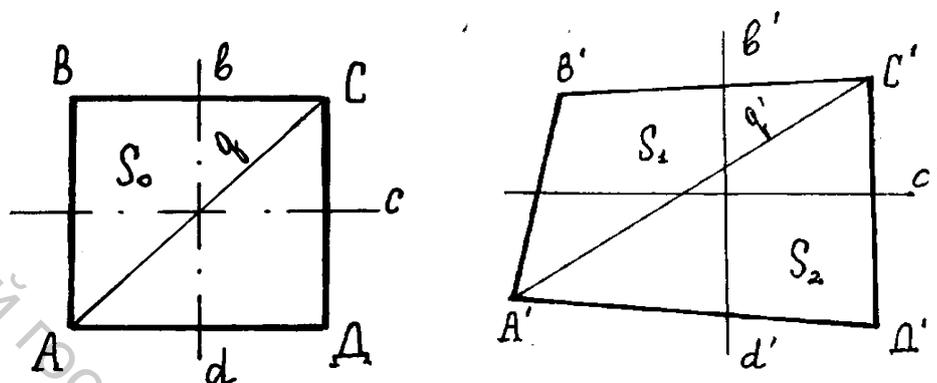


Рисунок 3.5 – Схема изменения геометрической фигуры после многоциклового нагружения

Тогда, используя формулу Герона, можно написать, что

$$S_1 = \sqrt{p_1 (p_1 - a') \times (p_1 - b') \times (p_1 - g')}, \quad (3.3)$$

$$\text{где } p_1 = 1/2 (a' + b' + g');$$

$$S_2 = \sqrt{p_2 (p_2 - c') \times (p_2 - d') \times (p_2 - g')}, \quad (3.4)$$

$$\text{где } p_2 = 1/2 (c' + d' + g').$$

Так как площадь исходного квадрата равна $S = a^2$, то абсолютное изменение площади $\Delta S = |S - (S_1 + S_2)|$, а относительное изменение площади, выраженное в процентах, составит:

$$\Delta S_0 = (\Delta S / S) \times 100 \%. \quad (3.5)$$

Предложенный подход связан всего с одним дополнительным измерением, однако он дает возможность повысить информативность показателя формоустойчивости систем верха.

Как отмечалось ранее, одним из показателей формоустойчивости готовой обуви является «внутренний объект носочно-пучковой части». Он считается одним из наиболее информативных показателей, характеризующих внешний вид обуви при ее эксплуатации.

Автором настоящей работы в соавторстве с другими учеными

был предложен способ определения формоустойчивости изделий из деформируемого материала, который обеспечивает возможность одновременного контроля изменений формы и размеров носочно-пучковой части обуви [3.28]. Поставленная цель достигается тем, что при измерении изменений объемов изделия во времени после его изготовления и определения соотношения этих объемов, измеряют внутренний объем обуви в носочно-пучковой части после изготовления или эксплуатации путем заполнения его рабочим телом с давлением, определяемым средней величиной давления стопы человека на обувь, а первоначальный объем определяют объемом носочно-пучковой части затяжной колодки.

Измерение объема внутреннего пространства обуви позволяет характеризовать изменение ее формы даже при неизменности линейных размеров и толщины верха и низа обуви. При этом определение объема внутреннего пространства за один прием измерений повышает точность и быстроту получаемых результатов. Кроме того, измерение объема внутреннего пространства носочно-пучковой части обуви при давлении $0,1-0,2 \text{ кг/см}^2$, определяемого средней величиной давления стопы на верх обуви, позволяет имитировать связь «изделие – часть тела человека», что приближает условия эксперимента к условиям носки изделия и уменьшает процент ошибки при оценке формоустойчивости.

Способ осуществляется следующим образом: после изготовления или эксплуатации обуви измеряют внутренний объем ее носочно-пучковой части. При этом рабочее тело в виде мягкой тонкостенной резиновой оболочки 1 вставляют в носочно-пучковую часть обуви 2 (рис. 3.6). Оболочка 1 прикреплена к пластине 3, которая выполнена по форме сечения соответствующей затяжной колодки, находящегося на заданном расстоянии по длине стельки. Пластины 3 фиксируют на стельке обуви с помощью штифтов 4 и прижимного упора 5. В пластине 3 имеется отверстие 6, которое посредством системы шлангов 7 и клапанов 8 соединено с гидравлическим насосом 9. Насосом 9 жидкость нагнетают в мягкую оболочку 1 до заданного давления ($0,1-0,2 \text{ кг/см}^2$), определяемого по манометру 10. Внутренний объем носочно-пучковой части обуви измеряют расходомером 11. После измерений жидкость из оболочки 1 сливают в поддон 12.

Далее определяют изменения первоначального объема обуви во времени. При этом объем носочно-пучковой части затяжной колодки предварительно измеряется любым известным способом, например, погружением ее в жидкость.

Если изменения первоначального объема происходят в пределах изменения одной полноты обуви (колодки), то формоустойчивость считается удовлетворительной, в противном случае – неудовлетворительной.

Данный способ позволяет быстро (в течение 2–3 мин) и нетрудо-

емко получить достоверные данные об изменении одного из важнейших показателей качества обуви – ее формоустойчивости при производстве, хранении носке и ремонте, а также при оценке эффективности различных способов формования, фиксации форма, новых материалов, конструкций обуви и разработанных режимов формования.

Далее определяют изменения первоначального объема обуви во времени. При этом объем носочно-пучковой части затяжной колодки предварительно измеряется любым известным способом, например, погружением ее в жидкость.

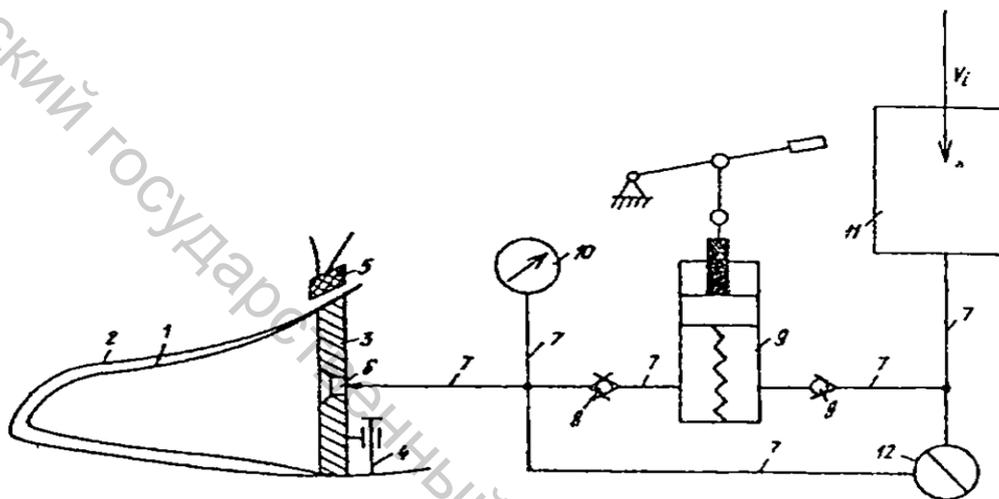


Рисунок 3.6 – Графическое изображение способа оценки внутреннего объема обуви

Если изменения первоначального объема происходят в пределах изменения одной полноты обуви (колодки), то формоустойчивость считается удовлетворительной, в противном случае – неудовлетворительной.

Данный способ позволяет быстро (в течение 2–3 мин) и нетрудоемко получить достоверные данные об изменении одного из важнейших показателей качества обуви – ее формоустойчивости при производстве, хранении носке и ремонте, а также при оценке эффективности различных способов формования, фиксации форма, новых материалов, конструкций обуви и разработанных режимов формования.

Данный способ с определенной модификацией нашел отражение в работе [3.102] как экспресс-метод оценки формоустойчивости. На рисунке 3.7 представлено устройство для его реализации.

Устройство состоит из основания 1 и жестко прикрепленной к нему вертикальной стойки 2. На вертикальной стойке закреплена измерительная система, которая включает ползун 3, имеющий возможность вертикального перемещения за счет червячного и реечного ме-

ханизмов по стойке 2. Причем механизмы состоят из маховика 4, жестко посаженного на одном валу с червяком 5, червячного колеса 6, жестко посаженного на одном валу с зубчатым колесом 7, которое связано с зубчатой рейкой 8, зафиксированной на стойке 2. В измерительную систему также входят измерительная линейка 9 и цилиндрический резервуар 10 постоянного диаметра, заполненный жидкостью. При этом резервуар 10 винтами 11 прикреплен к ползуну 3 и содержит измерительный патрубок 12, показывающий объемный расход жидкости в резервуаре 10, а также выводной патрубок 13, соединенный с системой отвода жидкости в виде шланга 14, свободный конец которого содержит кран 15. Свободный конец шланга 14 может соединяться со штуцером 16 приспособления для заполнения объема носочно-пучковой части обуви.

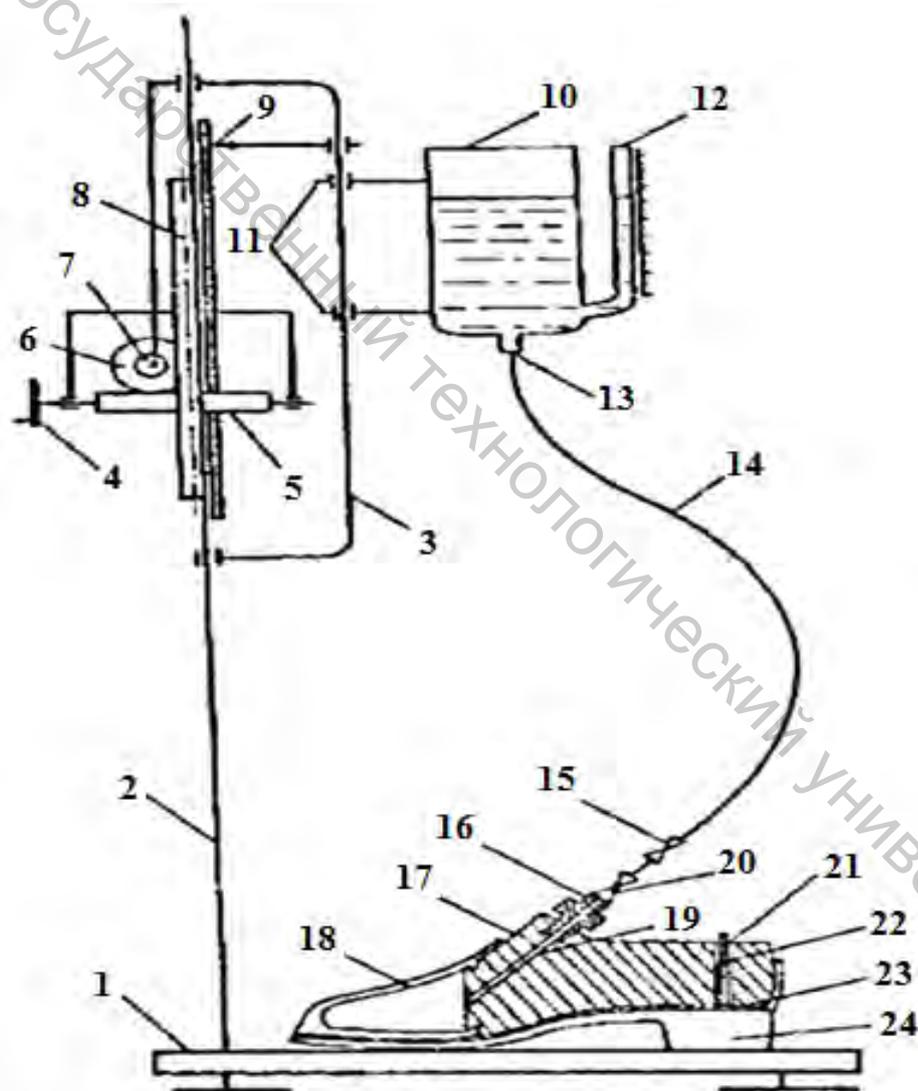


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема устройства для определения формоустойчивости обуви экспресс-методом

Указанное приспособление состоит из колодки 17 без носочно-пучковой части (до сечения $0,62 D_{ст}$) и приклеенной к ней тонкостенной резиновой оболочки 18 толщиной $0,2-0,3$ мм. В гребне колодки 17 выполнено наклонное отверстие 19, служащее для прохода жидкости из резервуара 10 по шлангу 14 в оболочку 18. В верхний участок отверстия 19 ввинчен штуцер 16 с краном 20. Кроме этого, в сквозное штуцерное отверстие 21 пяточной части колодки 17 вставлен остроконечный стержень 22, который служит для фиксирования колодки 17 на стельке 23 испытываемой полупары обуви 24.

Измерение на данном устройстве заключается в следующем. Предварительно, для заполнения оболочки 18 жидкостью, из нее удаляется воздух при открытом кране 20 по отверстию 19 колодки 17, за счет сжатия оболочки 18 в направлении к передней части колодки 17. После чего кран 20 штуцера 16 ставится в положение «закрывается». Штуцер 16 соединяется со свободным концом шланга 14, открываются краны 15, 20 и жидкость подается в оболочку 18 для ее предварительного заполнения. Если небольшая часть воздуха все же попадает в оболочку 18, то колодка 17 наклоняется в вертикальное положение и воздух из оболочки 18 через отверстие 19, шланг 14, резервуар 10 окончательно удаляется, а кран 20 ставится в положение «закрывается».

Подготовленное таким образом приспособление для заполнения объема носочно-пучковой части обуви вставляется в испытываемую полупару обуви 24 и фиксируется с помощью цилиндрического остроконечного стержня 22 на стельке 23. Испытуемая полупара 24, с расположенным в ней приспособлением для заполнения объема обуви, устанавливается на основании 1. Вращая маховик 4, посредством червячного и реечного механизмов, передвигается ползун 3, а следовательно, и резервуар 10 на нужную высоту. С помощью такой регулировки создается возможность возникновения в тонкостенной резиновой оболочке 18 необходимого давления. После этого кран 20 ставится в положение «открыто» и по измерительному патрубку 12 фиксируется объем жидкости, который заполняет тонкостенную резиновую оболочку 17. Учитывая заранее известный объем материала резиновой оболочки 18 и объем отверстия 19, определяется внутренний объем ΔV_v контролируемого участка испытываемой полупары обуви 24. Сравнивая данный объем с первоначальным (объемом соответствующей затяжной колодки до сечения $0,62 D_{ст}$), определяется абсолютное ΔV_v , относительное Φ_{vB} или процентное P_{vB} изменение внутреннего объема обуви, которое и характеризует ее формоустойчивость. При этом объем носочно-пучковой части затяжной колодки V_o предварительно измеряется любым известным способом, например, погружением ее в жидкость.

Затем производится подготовка приспособления для заполнения объема носочно-пучковой части обуви и определению формоустойчи-

вости следующей полупары обуви. Для этого осуществляется частичный отвод жидкости из оболочки 18 в резервуар 10 посредством надавливания на союзочную часть обуви 24. После чего кран 20 штуцера 16 ставится в положение «закрыто». Колодка 17 с оболочкой 18 удаляется из испытываемой полупары обуви 24 и тем самым устройство становится подготовленным для следующего измерения. Причем после первого измерения все последующие осуществляются в течение 20–30 с.

Определение абсолютного ΔV_B , относительного Φ_{VB} и процентного P_{VB} изменения внутреннего объема носочно-пучковой части обуви не представляет трудностей и рассчитывается по следующим формулам:

$$\Delta V_B = |V_O - V_B|, \quad (3.6)$$

$$\Phi_{VB} = \frac{|V_O - V_B|}{V_O}, \quad (3.7)$$

$$P_{VB} = \frac{|V_O - V_B|}{V_O} \cdot 100, \quad (3.8)$$

где V_O – объем носочно-пучковой части затяжной колодки; V_B – внутренний объем носочно-пучковой части обуви через определенный промежуток изготовления (хранения) или эксплуатации.

В предлагаемом устройстве измерение объема носочно-пучковой части обуви осуществляется до сечения 0,62 Дст. Данное расстояние было взято на основании информации, полученной из работы [3.103].

Следует отметить, что форма и объем носочной части обуви до сечения 0,9 Дст может существенно повлиять на сопоставимость результатов исследований различных видов и фасонов обуви. Кроме того, потеря формы происходит в основном в пучковой части. В связи с этим авторами настоящей работы предложено в случае, когда необходимо сравнить внутренний объем обуви, конструктивно отличающейся между собой, проводить измерения между сечениями 0,62 Дст–0,9 Дст. Этого можно достичь путем рассекания колодки в указанных сечениях с последующим склеиванием отсеченных частей с тонкой резиновой оболочкой. При этом жидкость будет поступать в колодку только до сечения 0,9 Дст, и тем самым, будет исключаться влияние формы и объема носочной части.

Так как в исследованиях, результаты которых будут отражены далее, не ставилась задача сравнения объема носочно-пучковой части

обуви различных видов и фасонов, то необходимость измерять описанным образом колодку не возникало.

С целью повышения точности определения формы и размеров носочно-пучковой части обуви и достоверности получаемых результатов испытаний на формоустойчивость, проводимых в лабораторных условиях, предлагается способ, учитывающий реальное силовое взаимодействие стопы с обувью, практически точно имитируя связь «обувь – стопа» и используя многоцикловое изгибание испытуемого образца, что приближает условия эксперимента к условиям носки изделия [3.104].

Как известно, в соответствии с фазами ходьбы, под влиянием давления стопы детали верха в носочно-пучковой части наряду с растяжением и сжатием в продольном направлении при изгибании стопы подвергаются растяжению в поперечном направлении. При этом средняя часть носочно-пучковой части обуви испытывает максимальное растяжение в области внутреннего и наружного края стопы, а в продольном направлении – сокращение. Следовательно, стопа оказывает разное давление на определенные участки носочно-пучковой части обуви: в носке, где находится жесткий подносок, давление наименьшее, а в пучках – наибольшее.

Внутренний объем носочно-пучковой части обуви после многоцикловых изгибаний определяется путем заполнения ее рабочим телом, разделенным, например, на три или n -ое количества зон, с давлением, определяемым средней величиной давления стопы на каждую из n -го количества зон.

Техническая сущность изобретения поясняется рисунком 3.8, где 1 – держатель носочной части обуви; 2 – вкладыш (рабочее тело); 3 – обувь; 4 – прижимная скоба; 5 – каблучный зажим.

На рисунке 3.9 показано рабочее тело (вкладыш), разделенное на n -ое количество зон, где 1 – тонкостенная оболочка; 2 – трубки для нагнетания жидкости.

Способ осуществляется следующим образом: рабочее тело (вкладыш) в виде мягкой тонкостенной оболочки, разделенной на три или n -ое количество зон, вставляют в носочно-пучковую часть обуви. Оболочка прикреплена к пластине, которая выполнена по форме сечения соответствующей затяжной колодки, находящейся на заданном расстоянии по длине стельки. Пластины фиксируют на стельке обуви с помощью штифтов, и в ней имеется отверстие, через которое нагнетается жидкость в каждую зону до заданного давления. Величина давления в зависимости от расположения каждой зоны составляет 0,196–0,692 МПа. Внутренний объем каждой зоны носочно-пучковой части после многоциклового изгибания измеряют расходомером.

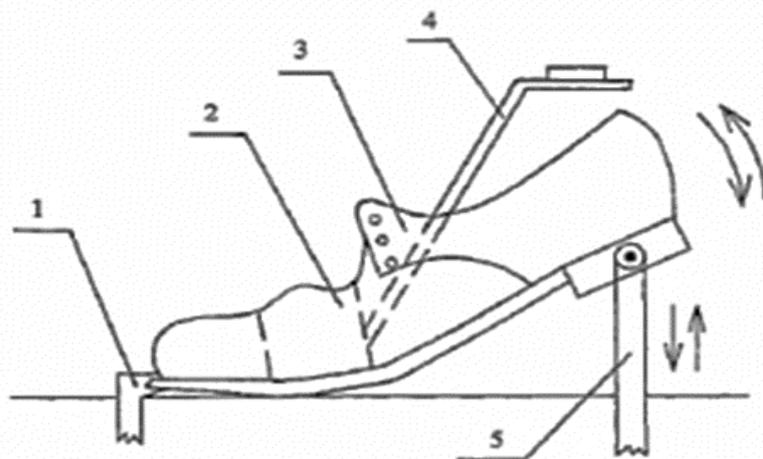


Рисунок 3.8 – Общий вид устройства для определения формоустойчивости носочно-пучковой части обуви в лабораторных условиях

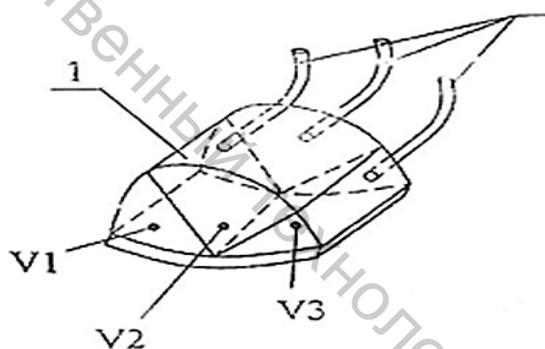


Рисунок 3.9 – Виды рабочего тела для замера пучковой части обуви

Для снятия контуров продольных и поперечных сечений обуви в настоящей работе использовалось устройство, по конструкции и принципу действия аналогичное представленному в работе [3.105] и отображенное на рисунке 3.10.

Устройство для определения формы сечений обуви состоит из стола 1, приводимого в движение по продольным горизонтальным направляющим 2 от микродвигателя 3 через привод винт 4 – гайка 5. Ось вращения 6 сбалансированного рычага 7 закреплена на ведомом колесе 8 зубчатой передачи по линии его хорды. Ось вращения ведомого колеса 8 параллельна направлению перемещения стола 1. Ведомое колесо 8 зубчатой передачи приводится в движение от привода 9 через червяк 10. На ведомом колесе 8 закреплён датчик положения 11, подвижный элемент 12 которого прикреплен к рычагу 7. На противоположном плече двуплечего рычага 7 закреплён следящий щуп 13. К имеющему сле-

дящий щуп плечу рычага 7 укреплен отвес 14 на гибкой связи 15, проходящей через направляющую 16 с отверстием, установленную под двуплечим рычагом 7 таким образом, что ее поверхность, обращенная к рычагу, находится на уровне оси ведомого колеса 8. Двуплечий рычаг 7 сбалансирован балансиром 17.

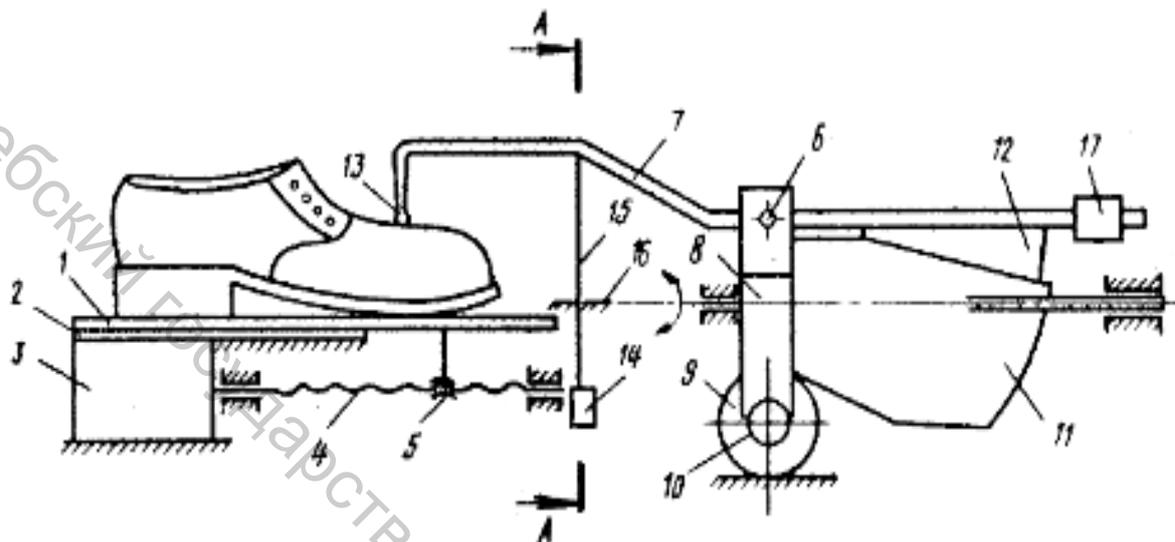


Рисунок 3.10 – Устройство для снятия контуров сечений обуви

Устройство работает следующим образом. Обувь устанавливают на стол 1 таким образом, чтобы ее ось проходила над средней продольной линией стола. На обувь опускают следящий щуп 13, ведомое колесо поворачивают до тех пор, пока щуп не коснется ранта обуви. С этого положения начинается снятие контура сечения обуви путем реверсирования микродвигателя 3. Следящий щуп 13, касаясь верха обуви, следит за контуром сечения и через двуплечий рычаг 7 передает значение радиус-вектора датчику положения 11, который позволяет получить электрический сигнал, отображающий контур сечения обуви в полярных координатах.

Так как двуплечий рычаг 7 сбалансирован, то прижимное усилие создается только отвесом 14, а вследствие того, что направление им создаваемого прижимного усилия совпадает с радиус-вектором, проходящим от оси ведомого колеса 8 через двуплечий рычаг 7, то прижимное усилие по направлению радиус-вектора остается постоянным по всему контуру. При достижении следящим щупом 13 противоположного ранта обуви микродвигатель 3 выключают. Снятие контура сечения закончено. Включением микродвигателя 3 обувь устанавливается в новое положение для снятия следующего контура сечения.

На рисунке 3.11 изображена траектория движения щупа и отвеса (разрез А – А).

Для снятия продольных сечений двулучий рычаг 7 со следящим щупом 13 путем вращения ведомого колеса 8 ставят над контуром сечения. Контур снимается аналогичным способом только в полупрямоугольных координатах.

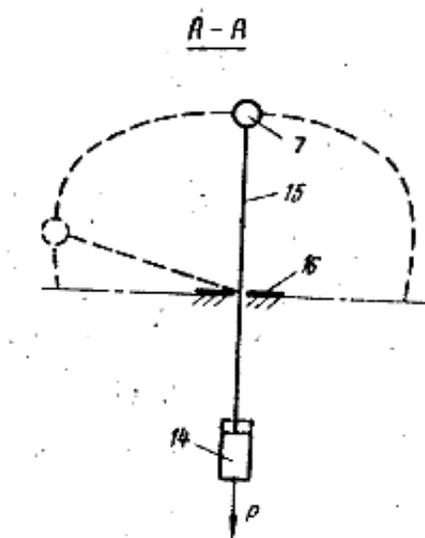
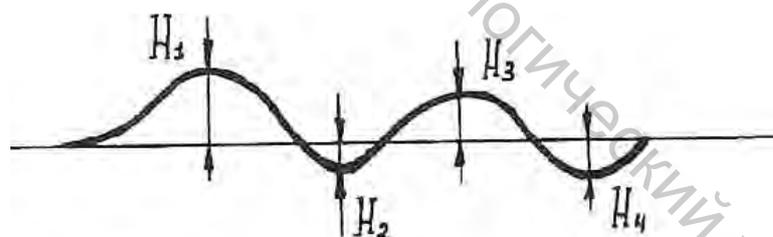


Рисунок 3.11 – Траектория движения щупа и отвеса

Представленное устройство обеспечивает постоянное прижимное усилие щупа к поверхности обуви, что позволяет повысить точность снятия контура сечения обуви.

По вычерченному контуру продольного сечения определяется суммарная высота складок (рисунок 3.12).



$$\sum H = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Рисунок 3.12 – Определение суммарной высоты складок

С использованием представленных в настоящем разделе приспособлений и устройств была осуществлена оценка формоустойчивости систем материалов верха и в целом готовой обуви, изготовленной в производственных условиях и прошедшей реальную носку. Результаты этих исследований отражены в последующих пунктах раздела.

3.3 Исследование формоустойчивости систем материалов

В настоящей подразделе представлены результаты комплексных лабораторных исследований статической и динамической формоустойчивости систем верха обуви, отличающихся целевым назначением и видами применяемых материалов.

Необходимо отметить, что в последнее время в обувной промышленности наметилась тенденция замены тканых подкладочных материалов трикотажными и неткаными полотнами, которые характеризуются более высокой деформационной способностью, что является ценным технологическим свойством. Кроме того, нетканые полотна, как правило, имеют меньшую стоимость из-за высокопроизводительной технологии их производства и возможности использования отходов текстильного производства. Применение трикотажных и нетканых полотен позволяет также расширять ассортимент применяемых материалов и получать обувь с лучшими потребительскими свойствами [3.106, 3.107].

Следует указать, что приоритетным материалом верха отечественной обуви является натуральная кожа, способная создать комфортную с точки зрения гигиенических свойств, а также прочную обувь. Однако натуральная кожа является природным сырьевым материалом, отличается высокой стоимостью. Кроме того, сокращение объемов производств кожевенных предприятий, вызванное рядом причин, в том числе нехваткой сырьевых ресурсов, переводит натуральную кожу в разряд дефицитных. В связи с этим перед обувщиками стоит задача поиска и замены натуральной кожи как материала для наружных деталей верха обуви другими материалами, например, текстильными. И в этом случае перспективными являются нетканые материалы по вышеперечисленным причинам.

На необходимость и целесообразность расширения рынка текстильной обуви указывает ряд публикаций [3.82, 3.108–3.116]. Однако работы по изучению свойств перспективных текстильных материалов, предназначенных для верха обуви и подкладки, немногочисленны. При этом формоустойчивость либо вообще не рассматривается, либо изучается предельно узко [3.82, 3.114–3.116].

Объектами настоящих исследований являлись системы с верхом из натуральной кожи и подкладкой из текстильных материалов различных структур, предназначенные для применения в обуви осенне-весеннего периода носки, а также системы с верхом из нетканого иглопробивного полотна, которые могут быть использованы при изготовлении зимней обуви.

В таблице 3.1 представлены показатели физико-механических свойств натуральной эластичной кожи, которая применялась в качестве верха исследуемых систем.

Таблица 3.1 – Показатели физико-механических свойств натуральной кожи

Наименование показателя	Значение показателя
Толщина, мм	1,3
Предел прочности при растяжении, Мпа	28
Удлинение при растяжении 10 Мпа, %	37
Жесткость, Н	0,1

Системы собирались с учетом реально существующих технологических режимов производства.

На кожу наклеивалась межподкладка из нетканого клеевого полотна с термоклеевым точечным покрытием арт. 935589 поверхностей плотностью 96 г/м². В качестве подкладочных материалов использовались:

- хлопчатобумажная ткань тик-саржа поверхностной плотностью 265 г/м²; поверхностная плотность пряжи по основе 42 текс, по утку – 50 текс;

- трикотажное основовязанное полотно арт. 846 поверхностной плотности 205 г/м², выработанное переплетением трико-сукно на однофантурной основовязальной машине, изготовленное из полиэфирных текстурированных нитей линейной плотностью 12 текс (54,8 %) и хлопчатобумажная пряжи 11,8 текс (45,2 %);

- и нетканое холстопрощивное полотно арт. ОП-17-4220-78 поверхностной плотности 212 г/м², выработанное на агрегате Бефама-Маливатт 22 кл.

В качестве сырья при производстве нетканого полотна применялись вискозные (55,5 %) и полиамидные матированные волокна (44,5 %), а также полиамидная комплексная нить 15,6 текс. Как известно, вискозные волокна обеспечивают улучшенные гигиенические свойства полотна, а использование полиамидного волокна повышает устойчивость полотна к истиранию.

Важным показателем систем верха обуви является удлинение при напряжении 10 МПа (ϵ при $\sigma = 10$ МПа, %), характеризующее технологические особенности материала при формовании. В таблице 3.2 представлены значения данного показателя для изучаемых систем.

Как видно, системы с подкладкой из тик-саржи значительно уступают по этому показателю системам, где в качестве подкладки использовано трикотажное и нетканое полотно

Таблица 3.2 – Физико-механические свойства систем материалов с верхом из натуральной кожи

Наименование системы	ε при $\sigma = 9,8$ МПа, %
Эластичная кожа + нетканое клеевое полотно + трикотажное полотно	46,6
Эластичная кожа + нетканое клеевое полотно + холстопрощивное полотно	40,5
Эластичная кожа + нетканое клеевое полотно + тиксаржа	20,3

В качестве альтернативного материала верха утепленной детской обуви и обуви для пожилых людей может быть рассмотрен иглопробивной материал, характеристика которого дана в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики иглопробивного материала

Наименование показателя	Направление раскроя	
	по длине	по ширине
Разрывная нагрузка, Н	280	260
Удлинение при разрыве, %	50	65
Устойчивость к истиранию, циклы	Более 10 000	
Поверхностная плотность, г/м ²	310	
Волокнистый состав, %	ПЭ – 70 ; ПАН – 30	
Толщина, мм	3,0	

Системы верха, предназначенные для утепленной обуви, исследовались по двум вариантам:

- иглопробивной нетканый материал + термобязь + искусственный мех;
- натуральная кожа + иглопробивной нетканый материал + термобязь + искусственный мех.

Второй вариант системы получался путем настрачивания натуральной кожи в виде полосок на систему первого варианта с целью повышения формоустойчивости, эстетических свойств и упрочнения верха будущей обуви.

Термобязь с точечным полиамидным покрытием использовалась в качестве межподкладки, искусственный мех на трикотажной основе – в качестве утепляющей подкладки. Эти материалы традиционно применяются в обувном производстве.

Перед испытанием на формоустойчивость все исследуемые системы подвергались технологической обработке в соответствии с режимами, действующими в производственных условиях.

Статическую формоустойчивость систем оценивали показателями, определяемыми при одноосном и двухосном растяжении. В качестве таких показателей выступали относительное остаточное удлинение при одноосном растяжении $\mathcal{E}_{ост}$ и коэффициент статической

формоустойчивости K_ϕ при двухосном растяжении, методика определения которых представлена в п. 3.2. Коэффициент K_ϕ является характеристикой остаточного удлинения, но при более сложном радиальном растяжении.

Данные исследований систем материалов по показателям статической и динамической формоустойчивости нашли отражение в работах [3.117–3.121].

Как отмечалось ранее, статическая формоустойчивость характеризует способность верха обуви сохранять принятую в процессе обтяжно-затяжных операций форму носочно-пучковой части.

После ряда технологических мероприятий, преследующих цель воссоздания в лабораторных условиях физико-химических, механических воздействий на систему материалов, которые аналогичны воздействиям на верх обуви в условиях производства, определяли абсолютное остаточное удлинение $\Delta l_{ост}$ при одноосном растяжении и высоту образца h_i и h_n при деформировании и 7-суточной пролежке соответственно при двухосном растяжении.

Экспериментально установлено, что в системах, имитирующих верх осенне-весенней обуви, наибольшую величину остаточных удлинений при одноосном растяжении имеет система с подкладкой из нетканого холстопрощивного полотна ($\mathcal{E}_{ост} = 84,5 \%$). Несколько меньшее остаточное удлинение в системе с трикотажным полотном ($\mathcal{E}_{ост} = 82,0 \%$). Более низкие значения данного показателя имеет система с подкладкой из тик-саржи ($\mathcal{E}_{ост} = 76,5 \%$). Известно, что увеличение относительных удлинений (деформаций) способствует сохранению формы изделий, а, значит, обувь с тканой подкладкой до начала носки будет в меньшей степени сохранять форму, приданную ей при затяжке на колодке.

Результаты исследований статической формоустойчивости по коэффициенту K_ϕ показали, что при двухосном растяжении показатели формоустойчивости системы верха обуви с традиционным подкладочным материалом – тик-саржей и перспективными материалами – трикотажным и нетканым полотном – менее отличаются между собой, однако числовое значение коэффициента формоустойчивости, как и в случае с $\mathcal{E}_{ост}$ при одноосном растяжении, ниже в системе с тик-саржей.

Результаты измерений и расчета статической формоустойчивости систем с верхом из натуральной кожи и различными материалами подкладки представлены в таблице 3.4.

Как отмечено в работах [3.36, 3.85], нижней границей относительных остаточных удлинений, обеспечивающей достаточную формоустойчивость обуви, принято считать 75 %. Это позволяет считать классическую систему верха с подкладкой из тик-саржи с точки зрения статической формоустойчивости удовлетворительной, но не лучшей.

В связи с тем, что системы отличались только материалами под-

кладки, то последние и определили разницу в значениях K_ϕ и $\mathcal{E}_{\text{ост}}$, которую можно объяснить релаксационными процессами. В текстильных полотнах процесс деформации складывается из деформации структуры полотна и непосредственно нитей. Релаксационные процессы свойственны лишь нитям, для структуры полотна они не характерны.

Таблица 3.4 – Статическая формоустойчивость систем с верхом из натуральной кожи (результаты эксперимента при двухосном растяжении, средние значения)

Материал подкладки	Высота образца, мм		Коэффициент формоустойчивости, K_ϕ , %
	При деформировании, мм, h_n	Через 7 суток пролежки, h_j	
Тик-саржа	14,04	11,54	82,3
Трикотажное полотно	13,99	11,75	84,0
Нетканое полотно	13,95	11,80	84,6

В тик-сарже преобладает деформация волокна, в трикотажном полотне – наоборот деформация самого полотна, этим и объясняется преимущество трикотажной подкладки над тканью. В нетканом полотне в процесс деформации вовлекаются в основном структурные элементы, поэтому система с данным материалом подкладки является наиболее формоустойчивой.

Между показателями формоустойчивости, полученными при одноосном и двухосном растяжении, обнаружена тесная взаимосвязь. Коэффициенты корреляции для линейных моделей в зависимости от вида системы составляют 0,726–0,824.

Уравнения регрессии, устанавливающие зависимость между коэффициентом формоустойчивости K_ϕ (y) и относительной остаточной деформацией, при одноосном растяжении $\mathcal{E}_{\text{ост}}$ (x) выглядят следующим образом:

– для системы с подкладкой из тик-саржи:

$$y = 0,46x + 46,99; \quad (3.9)$$

– для системы с подкладкой из трикотажного полотна:

$$y = 0,34x + 56,35; \quad (3.10)$$

– для системы с подкладкой из нетканого полотна:

$$y = 0,80x + 17,28. \quad (3.11)$$

Проверку адекватности уравнений проводили по критерию Фи-

шера для 5 % уровня значимости: $F_{рас} = 1,10$, $F_{Таб} = 3,50$; $F_{рас} = 1,05$, $F_{Таб} = 3,73$; $F_{рас} = 1,14$, $F_{Таб} = 3,5$.

Задача по оптимизации режимов формования обуви с целью обеспечения высокой ее формоустойчивости в процессе производства и носки послужила основанием для построения авторами работы [3.122] частной функции и шкалы желательности для $\mathcal{E}_{ост}$ в статике, приемлемой как для оценки формоустойчивости при одноосном, так и при двухосном растяжении. Для построения шкалы желательности применялся метод количественных оценок с интервалом значений от нуля до единицы. Была использована таблица соответствия между отношениями предпочтения в эмпирической и психологической системах [3.123]. В таблице 3.5 представлены расчетные данные для построения частной функции желательности.

Таблица 3.5 – Расчетные данные для построения частной функции желательности

Желательность, значение отклика	Оценка по шкале желательности	$\mathcal{E}_{ост}$
Очень хорошо	0,80–1,00	82–100
Хорошо	0,63–0,80	75–82
Удовлетворительно	0,37–0,63	65–75
Плохо	0,20–0,37	57–65
Очень плохо	0,00–0,20	>57

Функция желательности в данном случае описывалась уравнением вида $d = \exp \{-[1/35(100-y)]^{2,3}\}$. Она устанавливает соотношение между значением «у» ($\mathcal{E}_{ост}$ в статике) и соответствующим ему значением «d» (частная функция желательности). На рисунке 3.13 изображена шкала желательности для показателя $\mathcal{E}_{ост}$ в статике.

По аналогичным показателям осуществляли исследование статической формоустойчивости и для систем с верхом из нетканого материала. Коэффициент формоустойчивости K_{ϕ} при двухосном растяжении и относительное остаточное удлинение при одноосном растяжении $\mathcal{E}_{ост}$ определяли как для одиночного нетканого материала, так и для систем, полученных путем последовательного прикрепления к нетканому полотну материалов для промежуточных и внутренних деталей верха обуви. В связи с особенностью материала верха интерес представлял вопрос о влиянии каждого элемента системы утепленной обуви на показатели статической формоустойчивости.

Как отмечалось ранее, одна из систем с верхом из нетканого материала представляла собой пакет, на верх которой нашивались полоски из натуральной кожи.

Результаты расчета коэффициента формоустойчивости представлены в таблице 3.6.

Эксперимент при двухосном растяжении образцов показал, что значение K_f даже в случае с одиночным материалом превосходит установленную нижнюю границу данного показателя (75 %) более, чем на 15 %. Превышение значения коэффициента формоустойчивости 3-слойной системы по сравнению с аналогичным показателем одиночного материала составляет 4,2 %, а абсолютное значение коэффициента равно 94,3 %. Дополнительные элементы из натуральной кожи несущественно изменяют статическую формоустойчивость верха.

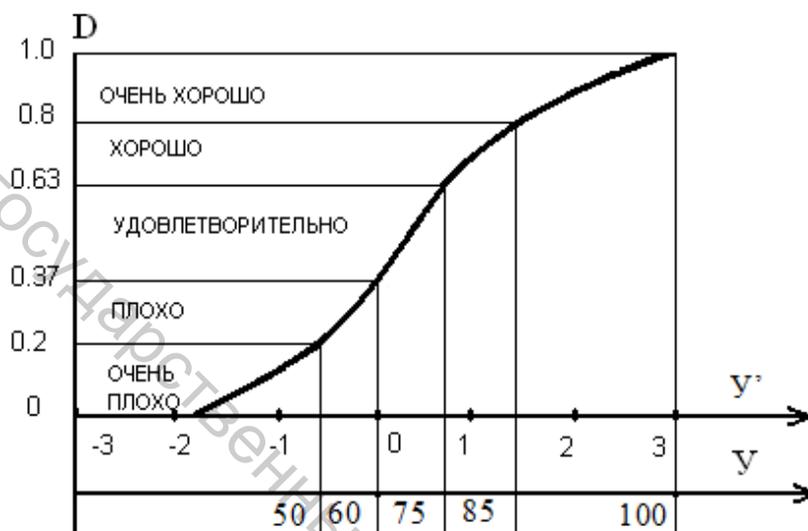


Рисунок 3.13 – Шкала желательности для показателей $\epsilon_{ост}$

Таблица 3.6 – Статическая формоустойчивость систем с верхом из нетканого материала (результаты эксперимента при двухосном растяжении, средние значения)

Вид материала или системы	Высота образца, мм		Коэффициент формоустойчивости, K_f , %
	При деформировании, мм, h_n	Через 7 суток пролежки, h_i	
Нетканый иглопробивной материал	10,46	9,42	90,1
Нетканый иглопробивной материал + термобязь	11,01	10,1	91,7
Нетканый иглопробивной материал + термобязь + искусственный мех	12,55	11,84	94,3
Натуральная кожа + нетканый иглопробивной материал + термобязь + искусственный мех	14,08	13,46	95,6

Исследование $\epsilon_{ост}$ при одноосном растяжении материалов и систем с верхом из нетканого полотна дало следующие результаты: одиночный

нетканый материал имеет $\mathcal{E}_{\text{ост}}$ равное 55 %, а каждая последующая система с добавлением нового элемента характеризуется более высоким $\mathcal{E}_{\text{ост}}$ (вид систем указан в таблице 3.6), равным соответственно 74 %, 82 % и 91,5 %. Использование укрепляющих элементов из натуральной кожи увеличивает $\mathcal{E}_{\text{ост}}$ с 82 % до 91,5 %.

Как указывалось в п. 3.2, в силу особенности структуры нетканого материала деформацию системы с верхом из него осуществляли на величину, равную 10 %. При таком подходе выявлено практически полное отсутствие разницы в численных значениях исследуемого показателя в системах с верхом из нетканого полотна, межподкладки из термобязи и искусственным мехом в качестве материала подкладки и классической системой зимней обуви с верхом из натуральной эластичной кожи и аналогичными материалами подкладки и межподкладки, которая широко применяется в производстве обуви. Так, в первой системе относительное остаточное удлинение ($\mathcal{E}_{\text{ост}}$) составляет 82 %, второй – 83,3 %.

Исследование классической системы осуществлялось с целью сравнительной оценки формоустойчивости. K_{ϕ} данной системы оказался равным 84,6 % (в аналогичной системе с нетканым полотном – 94,3 %).

Принимая во внимание полученное значение K_{ϕ} , можно сделать вывод о том, что зимняя обувь с верхом из натуральной кожи будет уступать по статической формоустойчивости обуви с нетрадиционным верхом из нетканого иглопробивного материала.

Выявлены зависимости, связывающие коэффициенты формоустойчивости (выходной параметр «у») с величиной относительного остаточного удлинения (входной параметр «х») в различных системах с верхом из нетканого материала. Математические модели, устанавливающие взаимосвязь K_{ϕ} и $\mathcal{E}_{\text{ост}}$, выглядят для трехслойной системы и системы с укрепляющими элементами следующим образом (соответственно формулы 3.12 и 3.13):

$$y = 0,27x + 72,05, \quad (3.12)$$

$$y = 0,13x + 83,34. \quad (3.13)$$

При этом коэффициенты корреляции варьируют от 0,88 до 0,96.

Проверку адекватности уравнений проводили по критерию Фишера для 5 % уровня значимости. При этом $F_{\text{рас}}$ во всех случаях не превышает $F_{\text{табл}}$ и соответственно равняется $F_{\text{рас}} = 1,08$; $F_{\text{табл}} = 3,5$; $F_{\text{рас}} = 1,14$; $F_{\text{табл}} = 3,5$.

Исследование динамической формоустойчивости систем осуществлялось с помощью устройства и по методике, описанных в п. 3.2. Определялись абсолютные значения изменения площади геометрической фигуры, нанесенной на образец (рис. 3.5), после заданного числа циклов многократных деформаций, приравниваемых к конкретному

числу дней условной эксплуатации (7-ми, 15-ти, 30-ти, 45-ти, 60-ти, 90-та дням). Один день условной эксплуатации соответствует, как указывалось ранее, 6000 циклам изгиба с растяжением.

Результаты исследований систем верха осенне-весенней обуви с различными подкладочными материалами представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Изменение площади образцов систем с верхом из натуральной кожи после эксплуатационных воздействий (средние значения)

Материал подкладки	Количество дней условной эксплуатации	Площадь, мм ²			
		So	Si	$\Delta S, (S_{i+1}-S_i)$	$\Delta S, (S_i-S_0)$
Тик-саржа	7	11238,5	11249,3	10,8	10,8
	15		11261,3	12,0	22,8
	30		11273,4	12,1	34,9
	45		11286,3	12,9	47,8
	60		11295,1	8,8	56,6
	90		11299,9	4,8	61,4
Трикотаж	7	11238,5	11284,3	45,8	45,8
	15		11360,5	76,2	122,0
	30		11429,9	69,4	191,4
	45		11452,1	22,2	213,6
	60		11468,7	16,6	230,2
	90		11471,9	3,2	233,4
Нетканое полотно	7	11238,5	11266,4	27,9	27,9
	15		11300,0	33,6	61,5
	30		11338,9	38,9	100,4
	45		11361,5	22,6	123,0
	60		11369,0	7,5	130,5
	90		11373,4	4,4	134,9

Примечание: So – первоначальная площадь образца; Si – площадь образца после i-го количества дней условной эксплуатации; ΔS – изменение площади.

Как видно, изменения во времени не являются величинами постоянными в пределах одной системы, а также между системами в фиксированный момент времени. Наибольшее изменение наблюдается в системе с подкладкой из трикотажного полотна, наименьшее – в системах с тик-саржей. Так, к 90-та дням условной эксплуатации изменение площади в системах с тик-саржей, нетканым и трикотажным полотном по отношению к первоначальной площади составило соответственно 61,4 мм, 134,9 мм, 233,4 мм.

Из-за неоднородности материалов, а также влияния случайных факторов, рассмотренный показатель представляет собой случайную величину. Причем для каждого момента времени значению показателя соответствует не определенное числовое значение, а определенная числовая функция, то есть имеет место случайный процесс. Данные из

таблицы 3.7, преобразованные в относительные единицы, представлены графически на рисунке 3.14. В графиках ряд 1 отражает динамику $\Delta S_i/S_0$ для системы с подкладкой из тик-саржи, ряд 2 – для системы с нетканым полотном, ряд 3 – для системы с трикотажным полотном. Анализируя графики, можно сделать вывод о том, что на начальной стадии испытаний (в период от 0 до 45 дней условной эксплуатации) наблюдается интенсивное изменение этой величины, а затем изменения происходят почти линейно. Наиболее выражен такой характер изменения площади в системах с трикотажным и нетканым полотном.

Математические зависимости изменения данного показателя с течением времени эксплуатации имеют вид:

для системы с тик-саржей:

$$y = 0,00191 \ln(x) - 0,0028; \quad (3.14)$$

для системы с нетканым полотном:

$$y = 0,0041 \ln(x) - 0,0051; \quad (3.15)$$

для системы с трикотажным полотном:

$$y = 0,00691 \ln(x) - 0,008. \quad (3.16)$$

Установленные коэффициенты корреляции, равные 0,95–0,98, свидетельствуют о высокой степени взаимосвязи отклика (y) и входного параметра (x).

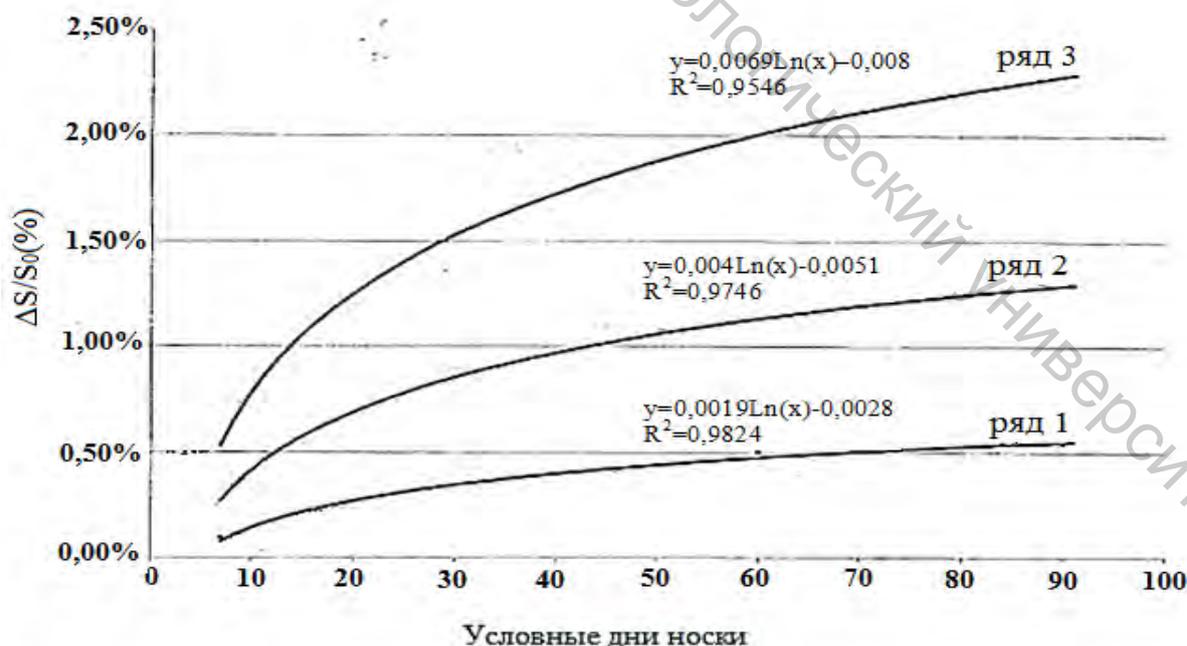


Рисунок 3.14 – Изменение площади систем с верхом из натуральной
КОЖИ
220

Аналогичным образом проводилось исследование динамической формоустойчивости систем материалов для зимней обуви, результаты которого представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Изменение площади образцов систем с верхом из нетканого материала после эксплуатационных воздействий

Материал или система	Количество дней условной эксплуатации	Площадь, мм ²			
		S ₀	S _i	ΔS _i (S _{i+1} -S _i)	ΔS _i (S _i -S ₀)
Нетканый иглопробивной материал	7	11238,5	11352,3	113,8	113,8
	15		11386,0	33,7	147,5
	30		11410,6	24,6	172,1
	45		11433,4	22,8	194,9
	60		11454,5	21,1	216,0
	90		11469,9	15,4	231,4
Нетканый иглопробивной материал + термобязь	7	11238,5	11339,1	100,6	100,6
	15		11364,8	25,7	126,3
	30		11384,2	19,4	145,7
	45		11401,0	16,8	162,5
	60		11415,7	14,7	177,2
	90		11430,4	14,7	191,9
Нетканый иглопробивной материал + термобязь + искусственный мех	7	11238,5	11250,3	11,8	11,8
	15		11264,8	14,5	26,3
	30		11283,9	19,1	45,4
	45		11297,9	14,0	59,4
	60		11308,1	10,2	69,6
	90		11317,2	9,1	78,7
Натуральная кожа + нетканый иглопробивной материал + термобязь + искусственный мех	7	11238,5	11244,4	5,9	5,9
	15		11255,3	10,9	16,8
	30		11267,0	11,7	28,5
	45		11280,5	13,5	42,0
	60		11289,2	8,7	50,7
	90		11296,3	7,1	57,8

Данные таблицы 3.8 свидетельствуют о существенном изменении величины ΔS в сторону ее уменьшения в случае применения в системах укрепляющих элементов в виде полосок натуральной кожи. Так, на начальной стадии нагружения (7 дней условной эксплуатации) ΔS, определяемое как (S_i-S₀) в 3-слойной системе равно 11,8 мм², в 4-слойной – 5,9 мм, то есть в 2 раза меньше. К 90-тя дням условной эксплуатации, соответствующей 540 тыс. циклов изгиба и растяжения, разница между ΔS значительно сокращается и в целом процесс «расшатывания верха» затармаживается.

Следует отметить, что полная система верха, включающая в себя

подкладку, способна к значительно меньшим изменениям площади, достигающим 4-кратного уменьшения.

Принимая во внимание допустимое изменение объема обуви [3.26], равное в среднем 5 %, и экспериментально установленную авторами работы [3.124] межполнотную разницу в площади верха, была определена верхняя граница относительного изменения площади систем, равная 3,5 %. Обоснованность выбора этой величины была подтверждена несложными математическими выкладками. Распространение этих ограничений на исследуемые образцы систем позволяет сделать вывод о пригодности исследуемых систем в качестве верха обуви.

Получены математические модели динамики $\Delta S_i/S_0$ во времени, позволяющие осуществлять прогнозирование данного показателя.

Математическая модель для 3-слойной системы с верхом из нетканого материала имеет вид

$$y = 0,0024 \ln(x) - 0,0039. \quad (3.17)$$

Математическая модель для 4-слойной системы с верхом из нетканого материала имеет вид

$$y = 0,0019 \ln(x) - 0,0034. \quad (3.18)$$

Изменение площади образцов классической системы верха зимней обуви в фиксированных временных точках (табл. 3.9) занимает промежуточное положение между аналогичными эксплуатационными параметрами 3- и 4-слойной системы с верхом из нетканого материала.

Таблица 3.9 – Изменение площади классической системы верха зимней обуви после эксплуатационных воздействий

Вид системы	Количество дней условной эксплуатации	Площадь, мм ²			
		S ₀	S _i	$\Delta S, (S_{i+1}-S_i)$	$\Delta S, (S_i-S_0)$
Эластичная кожа + термобязь + искусственный мех	7	11238,5	11248,1	9,6	9,6
	15		11261,0	12,9	22,5
	30		11277,8	16,8	39,3
	45		11291,8	14,0	53,3
	60		11301,5	9,7	63
	90		11310,1	8,6	71,6

Данные таблицы 3.9 свидетельствуют о несколько ином характере интенсивности изменения ΔS . Однако как и в случае с предыдущими системами (табл. 3.8), можно говорить о значительном уменьшении изменения площадей к 90-та дням условной носки.

3.4 Исследование формоустойчивости обуви в процессе ее носки

Формоустойчивость готовой обуви исследовалась посредством эксплуатационных испытаний в реальных условиях носки.

Для этой цели по действующим технологиям на обувных предприятиях малыми партиями были изготовлены мужские полуботинки клеевого метода крепления осенне-весеннего периода носки размеров 255–285 (рис. 3.15). Применялись те же материалы верха, которые являлись объектами исследования в п. 3.2.



Рисунок 3.15 – Внешний вид мужских полуботинок

Носка обуви осуществлялась в течение 90 календарных дней с промежуточным снятием эксплуатационных характеристик после 7-ми, 15-ти, 30-ти, 45-ти и 60-ти дней.

Формоустойчивость обуви оценивали показателями изменения внутреннего объема V , периметром $P_{пр}$ в сечении $0,68/0,72 D_{ст}$, смещением верха S , подъемом носочной части на угол ϕ и суммарной величиной складкообразования ΣH .

В готовой обуви, аналогично как и в образцах, с течением времени эксплуатации происходили изменения показателей формоустойчивости (табл. 3.10).

Как отмечалось ранее, одним из информативных показателей является внутренний объем обуви. Его изменение в мужских полуботинках с верхом из натуральной кожи происходило примерно до 45 дней носки, а в последующие дни этот показатель оставался без изменений.

Известно из [3.124], что в количественном выражении условие удовлетворительной формоустойчивости обуви по изменению показателя V в процессе носки должно удовлетворять следующим требованиям:

$$\Delta V_{доп} \leq 0,5 \Delta V, \quad (3.19)$$

где $\Delta V_{\text{доп}}$ – допустимое изменение внутреннего объема обуви на контролируемом участке; ΔV – разность во внутреннем объеме между смежными полнотами контролируемого участка затяжной колодки.

Такое условие объясняется тем, что межполнотная разность размеров обуви ΔV представляет собой интервал безразличия, величина которого заложена в основу массового изготовления обуви в заданном полнотном ассортименте. Если размеры верха обуви в процессе ее эксплуатации превышают межполнотную полуразность, то стопа будет чрезмерно свободно располагаться в обуви.

Определение объемов контролируемого участка колодок различных полнот и размеров осуществлялось погружением колодок в мерный стакан с жидкостью до контролируемых сечений. Было установлено, что межполнотные интервалы объема ΔV на участке $[0,62 - (1,0+P)] D_{\text{ст}}$ (где P – припуск в носочной части колодок) были равны для всех исследуемых размеров от 255 до 285, а их численное значение составляло $20 \times 10^{-6} \text{ м}^3$. Следовательно, $\Delta V_{\text{доп}}$ не должно превышать $10 \times 10^{-6} \text{ м}^3$.

Анализируя полученные в ходе эксперимента значения внутреннего объема можно отметить, что средние значения изменения данного эксплуатационного показателя не выходят за рамки допустимого.

Таблица 3.10 – Средние значения показателей формоустойчивости обуви с верхом из натуральной кожи

Материал подкладки	7	15	30	45	60	90
	дней	дней	дней	дней	дней	дней
	Внутренний объем носочно-пучковой части обуви (до сечения 0,62 $D_{\text{ст}}$), см^3					
Тик-саржа	203,6	204,4	205,3	205,9	206,1	206,1
Нетканое полотно	204,2	205,6	207,6	208,6	208,8	208,9
Трикотажное полотно	204,7	207,5	208,8	209,6	209,9	210,5
	Суммарная высота складок ΣH , мм					
Тик-саржа	4,0	5,3	5,5	5,6	5,8	5,9
Нетканое полотно	3,1	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7
Трикотажное полотно	3,2	4,3	8,5	4,4	4,5	4,5
	Величина смещения обуви S , мм					
Тик-саржа	2,0	2,7	3,1	3,3	3,5	3,6
Нетканое полотно	3,0	5,0	5,9	6,1	6,2	6,2
Трикотажное полотно	4,0	5,2	5,7	6,0	6,2	6,3
	Угол подъема носочной части обуви, φ°					
Тик-саржа	4,2	5,4	6,8	7,3	8,1	8,9
Нетканое полотно	3,7	4,9	5,9	6,9	7,6	8,1
Трикотажное полотно	3,8	4,9	6,0	6,9	7,7	8,1
	Периметр $P_{\text{пр}}$, мм					
Тик-саржа	159,9	161,4	161,9	162,2	162,5	162,5
Нетканое полотно	161,2	162,6	163,3	163,7	163,9	163,9
Трикотажное полотно	162,0	163,4	164,0	164,5	164,7	164,8

Однако, как видно из таблицы, обувь с различными подкладками неодинаково изменяет внутренние размеры. К концу экспериментальной носки (90 дням) обувь с подкладкой из тик-саржи имеет объем, равный $206,1 \text{ см}^3$, с подкладкой из нетканого полотна – $208,9 \text{ см}^3$, с подкладкой из трикотажного полотна – $210,5 \text{ см}^3$. Значения ΔV соответственно равны $5,1 \text{ см}^3$, $7,9 \text{ см}^3$, $9,5 \text{ см}^3$.

На рисунке 3.16 представлено графическое изображение относительного изменения объема обуви, рассчитываемое как $\Delta V_i/V_0$, где V_i – средний объем обуви в конкретно рассматриваемой временной точке. Для усредненного значения целесообразно рассмотрение текущего объема на фоне первоначального. Сравнение же полученных результатов внутреннего объема между обувью разных размеров следует проводить по абсолютному значению ΔV . На рисунке 3.16 ряду 1 соответствует динамика изменения объема обуви с тик-саржей, ряду 2 – с нетканым полотном, ряду 3 – с трикотажным полотном.

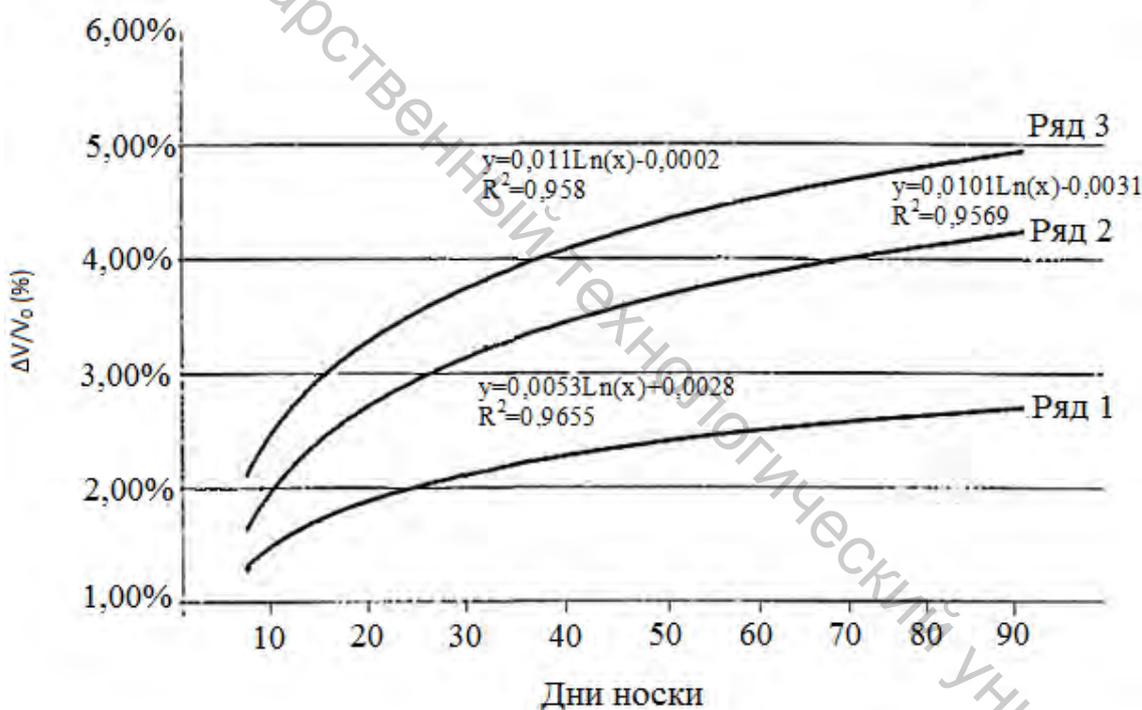


Рисунок 3.16 – Изменение объема готовой обуви с верхом из натуральной кожи

Зависимости, отражающие изменение относительного показателя объема от времени носки, описаны уравнениями вида:
 верх с тик-саржей:

$$y = 0,0053 \ln(x) + 0,0028; \quad (3.20)$$

верх с нетканым полотном:

$$y = 0,01011n(x) - 0,0031; \quad (3.21)$$

верх с трикотажным полотном:

$$y = 0,011 \ln(x) - 0,0002. \quad (3.22)$$

Изменение внутреннего объема и, как следствие, периметра в сечении 0,68/0,72Д_{ст} в готовой обуви в большей степени определяется процессами формования при производстве и связано в эксплуатации как с приформовываемостью, так и ухудшением внешнего вида. Процесс складкообразования является неотъемлемой составляющей носки. В случае интенсивного увеличения суммарной высоты складок или значительной ее величины существенно ухудшается внешний вид и качество обуви.

Рассмотрим более подробно случайный процесс складкообразования. В первые дни носки наблюдается резкое увеличение суммарной величины складок, затем процесс стабилизируется и далее изменяется почти линейно. Начальное значение суммарной высоты складок равно нулю, из множества зависимостей наиболее подходящей является степенная зависимость вида $y = a \times x^b$, где x – время, y – суммарная высота складок, a и b – константы.

Данные таблицы свидетельствуют о практически одинаковых величинах суммарной высоты складок в обуви с различными подкладочными материалами. Однако периодический осмотр обуви в процессе эксплуатации показал, что верх с подкладкой из тик-саржи в большинстве случаев уступает по внешнему виду обуви с другими подкладочными материалами вследствие образования одной крупной складки. В обуви с трикотажными и неткаными полотнами в качестве материалов подкладки процесс складкообразования сопровождается появлением нескольких складок меньшего радиуса кривизны. Поэтому формоустойчивость такой обуви с позиции данного показателя удовлетворительная.

Значения величины суммарной высоты складок в исследуемой обуви не выходят за пределы, установленные в работы [3.124]. Предельные значения, начиная с которых обувь имеет неудовлетворительную формоустойчивость, несут в себе элементы субъективизма, так как получены путем опроса экспертов с последующей усредненной оценкой мнений без выявления их согласованности. Однако, принимая во внимание пределы суммарной величины складкообразования, которые в зависимости от размера обуви варьируют от 5,96 мм (245 размер) до 7,53

мм (270 размер), можно утверждать о том, что опытные пары характеризуются приемлемой формоустойчивостью. Допустимые величины складкообразования для других размеров могут быть получены интерполированием.

Можно отметить, что процесс складкообразования на поверхности союзки обуви зависит как от условий эксплуатации, так и физико-механических свойств систем материалов, из которых она изготовлена. Среди этих свойств наиболее существенными в этой связи является жесткость на изгиб. При ходьбе верх обуви испытывает продольное сжатие, вызванное действиями сил, направленных вдоль продольной оси изделия. Эти силы, вызывая потерю устойчивости оболочки, которым является верх обуви, приводят к образованию складок на поверхности. При этом, чем жестче система верха на изгиб, тем крупнее складки, что и наблюдается на практике. Из таблицы 3.10 видно, что суммарная высота складок в обуви с тик-саржей, верх которой наиболее жесткий, существенно больше, чем в обуви с другими подкладочными материалами, у которых жесткость на изгиб меньше и приблизительно одинакова. Это объясняет близость значений ΣH для обуви с подкладками из трикотажного и нетканого полотна. Таким образом, приведенные соображения в принципе полностью объясняют соотношения средних значений высоты складок для трех исследуемых материалов.

Величины смещения верха выше в обуви с высокорастяжимыми материалами практически в 2 раза и находятся практически на границе допустимых пределов, установленных авторами вышеупомянутой работы. Как и в случае с суммарной высотой складок, использовался метод экспертного опроса. Следует отметить, что в отличие от суммарной высоты складок определить допустимые величины смещения является весьма сложной задачей, так как этот показатель менее выразителен при органолептической оценке формоустойчивости.

Смещение обусловлено, с одной стороны, расширяющим действием стопы, с другой, свойствами материалов. К этим свойствам следует отнести, прежде всего, жесткость на растяжение и изгиб. Показатели этих свойств выше в обуви, где в качестве подкладки использовалась тик-саржа. Как свидетельствуют данные таблицы 3.2 п. 3.3, соотношение между \mathcal{E} при $\sigma = 9,8$ МПа приблизительно равно 2, что соответствует отношению величин смещения верха с тик-саржей и более деформационными материалами – трикотажным и нетканым полотном.

В результате проведенных испытаний установлено, что угол подъема носочной части обуви в начальный период эксплуатации несколько выше в обуви с подкладкой из тик-саржи, но к 90-та дням носки значения выравниваются. Хотя материал подкладки оказывает влияние на значения анализируемого показателя, что подтверждается при-

близительно одинаковыми данными по обуви с трикотажными и неткаными полотнами и несколько отличающимися данными исследований обуви с тик-саржей, это влияние сглаживается действием подошвы, которая в конкретном случае одинакова. Известно, что влияние свойств материала подошвы превосходит влияние свойств материалов верха.

Вполне очевидна небольшая положительная корреляция между суммарной высотой складок и углом подъема носочной части. Понятно, что чем больше ΣH , тем меньше верх обуви препятствует стремлению носочной части к подъему. Так как в обуви с тик-саржей, как показано выше, ΣH превышает этот же показатель в обуви с трикотажными и неткаными полотнами, то и угол подъема можно было ожидать несколько более высоким, что и видно из таблицы 3.10. В статистическом же плане эти различия в условиях проведенного эксперимента оказались незначительными.

С течением времени эксплуатации происходит изменение периметра в сечении 0,68/0,72 $D_{ст}$ (табл. 3.10). В обуви с более жесткой системой верха (подкладка из тик-саржи) значения периметра ниже, что свидетельствует о меньшей способности верха такой обуви приформовываться к стопе в начальный период носки, но лучше сохранять размеры, приданные в процессе затяжки обуви в период носки. Необходимо отметить, что периметры верха обуви с различными подкладками в меньшей мере отличаются по численным значениям, чем «смещение», хотя такие факторы, как действие стопы и свойства материалов, также оказывают влияние на анализируемый показатель. При оценке смещения принимается во внимание только та часть сечения, которая наиболее подвержена растягивающим действиям стопы и находится на крайних участках сечения. Периметр определяется по контуру всего сечения (за исключением следа), где сочетаются области сжатия и растяжения, что и приводит к менее существенной разнице в численных значениях.

С целью подтверждения общих выводов, сделанных по результатам лабораторных испытаний систем с верхом из нетканого материала, была изготовлена и прошла эксплуатационную носку детская зимняя обувь допдельно-клеевого метода крепления. Оценка формоустойчивости обуви проводилась по показателям, аналогичным тем, которые анализировались выше. Часть обуви имела верх, представляющий собой систему «нетканый иглопробивной материал + термобязь + искусственный мех», на верх другой обуви в области обсоюзки нашивались детали из натуральной кожи. Этим, как отмечалось ранее, можно повысить прочность материала верха и формоустойчивость переднего раздела обуви, а также эстетически усовершенствовать модель (рис. 3.17).

Результаты исследования формоустойчивости детской обуви отражены в таблице 3.11. Из таблицы видно, что обувь, на верх которой

нашиваются кожаные детали, в процессе эксплуатации меньше изменяет внутренний объем обуви. Причем если в начале опытной носки, например, после 7 дней эксплуатации, разница не столь очевидна, то к 90-та дням объем обуви с верхом без кожаных деталей равен $139,2 \text{ см}^3$, с кожаными деталями – $135,2 \text{ см}^3$ (в этой и последующих таблицах приводятся средние значения показателей). Однако при визуальном осмотре пар обуви экспертами из числа квалифицированных специалистов обувной отрасли не было отмечено негативного изменения формы носочно-пучковой части. Ввиду выпуска предприятием детской обуви данной модели одной полноты не представлялось возможным экспериментальным путем определить разницу между объемом колодок смежных полнот. Учитывая тот факт, что согласно ГОСТ 3927–75 обхват обуви в сечении $0,68/0,72 \text{ Д}_{\text{ст}}$ при переходе от одной полноты к другой независимо от половозрастной группы обуви изменяется на одну и ту же величину, равную 8 мм, можно условно принять $\Delta V_{\text{доп}} = 10 \text{ см}^3$.



Рисунок 3.17 – Модель детской обуви с верхом из нетканого материала (после двух сезонов носки)

Характер изменения объема обуви в течение носки схож с изменениями аналогичного показателя кожаной обуви, описанными выше в настоящем пункте данной работы. Разница заключается в более резком увеличении этого показателя на начальной стадии испытаний, равной не 45, а 30 дням. В последующее время носки изменения происходят почти линейно.

По установленным зависимостям (3.23, 3.24), представляющим собой математическую модель связи рассматриваемого показателя со временем эксплуатации, можно прогнозировать формоустойчивость обуви: для системы без кожаных деталей:

$$y = 0,0156 \ln(x) + 0,007; \quad (3.23)$$

для системы с кожаными деталями:

$$y = 0,013 \ln(x) - 0,013. \quad (3.24)$$

Таблица 3.11 – Средние значения показателей формоустойчивости обуви с верхом из нетканого материала

Система верха	Внутренний объем носочно-пучковой части обуви (до сечения 0,62 Дст), V см ³					
	7 Дней	15 дней	30 дней	45 дней	60 дней	90 дней
Нетканый материал + термо- бязь + искусственный мех	133,9	137,2	138,5	139,0	139,1	139,2
Натуральная кожа + нетка- ный материал + термобязь + искусственный мех	131,1	133,0	134,8	135,1	135,2	135,2
Периметр, P, в сечении 0,68/0,72 Дст, мм						
Нетканый материал + термо- бязь + искусственный мех	106,5	108,3	109,2	109,5	109,6	109,6
Натуральная кожа + нетка- ный материал + термобязь + искусственный мех	103,9	104,5	104,9	105,0	105,0	105,0
Суммарная высота складок, ΣН, мм						
Нетканый материал + термо- бязь + искусственный мех	4,5	5,0	5,3	5,5	5,6	5,6
Натуральная кожа + нетка- ный материал + термобязь + искусственный мех	3,5	4,1	4,5	4,6	4,7	4,7
Смещение, S, мм						
Нетканый материал + термо- бязь + искусственный мех	5,0	6,0	6,8	7,5	7,7	7,8
Натуральная кожа + нетка- ный материал + термобязь + искусственный мех	2,0	2,8	3,3	3,5	3,7	3,7
Угол подъема носочной части, φ						
Нетканый материал + термо- бязь + искусственный мех	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Натуральная кожа + нетка- ный материал + термобязь + искусственный мех	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0

Данные таблицы 3.11 позволяют увидеть, как, помимо внутренне-го объема обуви, изменяются во времени значения всех остальных по-казателей формоустойчивости. Наибольшая разница между значениями наблюдается в таких показателях, как смещение верха и периметр попе-речного сечения, более тесным образом связанных с изменением внут-

ренного объема.

Следует также отметить, что применение в конструкции верха укрепляющих элементов из кожи с позиции формоустойчивости обуви является целесообразным.

Таким образом, представленные результаты исследований дают полную картину формоустойчивости обуви, которая прошла эксплуатацию и на которую воздействовали реальные факторы носки, часть из которых имела случайный характер.

3.5. Установление взаимосвязи между формоустойчивостью систем материалов и обувью

Актуальным и целесообразным с экономической точки зрения является использование лабораторных испытаний вместо реальных. Поэтому важно оценить насколько согласуются испытания на разработанном устройстве для многоцикловых испытаний с испытаниями в эксплуатационной носке.

Анализ результатов исследований позволяет сделать предположение о тесной корреляционной связи между показателями формоустойчивости, определяемыми лабораторными испытаниями и испытаниями в носке. Как отмечалось ранее, наиболее информативным показателем формоустойчивости систем является отношение изменения площади образца ΔS_i в i -й момент времени условной эксплуатации к первоначальной площади образца S_0 . Показателем формоустойчивости готовой обуви является отношение изменения объема ΔV_i в i -й момент реальной эксплуатации к первоначальному объему обуви V_0 .

Для различных вариантов верха получены линейные уравнения регрессии, имеющие вид:

для верха из натуральной кожи и подкладкой из тик-саржи –

$$y = 4,129x + 0,0058; \quad (3.25)$$

для верха из натуральной кожи и подкладкой из нетканого полотна –

$$y = 3,0463x + 0,0044; \quad (3.26)$$

для верха из натуральной кожи и подкладкой из трикотажного полотна –

$$y = 1,9902x + 0,0058; \quad (3.27)$$

для верха из нетканого иглопробивного полотна без накладных кожаных деталей –

$$y = 9,0947x + 0,0179; \quad (3.28)$$

для верха из нетканого иглопробивного полотна с накладными кожаными деталями –

$$y = 7,771x + 0,0069. \quad (3.29)$$

В уравнениях входным параметром является отношение $\Delta S_i / S_0$, выходным – $\Delta V_i / V_0$. Выявлена хорошая корреляция между лабораторными испытаниями и испытаниями в носке. Коэффициент корреляции находится в пределах 0,80–0,96.

Однако данные математические зависимости не устанавливают взаимосвязь между критериями формоустойчивости систем S/S_0 и обуви V/V_0 , разработанные в главе 1. Для их определения осуществлены математические преобразования вышеуказанных формул, которые в общем виде имеют вид

$$V/V_0 = a \times S/S_0 - b. \quad (3.30)$$

После определенных преобразований зависимости, связывающие критерий готовой обуви $K (V/V_0)$ и критерий формоустойчивости систем $K_f (S/S_0)$, можно записать следующим образом:
для обуви с подкладкой из тик-саржи:

$$K = 4,129K_f - 3,1232; \quad (3.31)$$

для обуви с подкладкой из нетканого полотна:

$$K = 3,0463K_f - 2,0419; \quad (3.32)$$

для обуви с подкладкой из трикотажного полотна:

$$K = 1,9902K_f - 0,9844; \quad (3.33)$$

для обуви с верхом из нетканого материала без укрепляющих элементов:

$$K = 9,0947K_f - 8,0768; \quad (3.34)$$

для обуви с верхом из нетканого материала и укрепляющими элементами:

$$K = 7,771K_f - 6,7641. \quad (3.35)$$

Полученные зависимости позволяют рассчитать критерий формоустойчивости обуви K , не проводя длительных эксплуатационных испытаний с последующим определением значительного количества показателей формоустойчивости обуви, а зная только исходные характеристики систем материалов верха.

С целью осуществления психологической оценки формоустойчивости по выбранным критериям, а также для случая, когда требуется проводить сравнительную оценку качества по обобщенному показателю, построены шкалы желательности для V/V_0 и S/S_0 .

Для получения шкалы желательности пользовались готовыми разработанными таблицами соответствий между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой системах (см. табл. 3.5).

Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение $d_u = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому уравнению данного свойства, а значение $d_u = 1$ – самому лучшему значению свойства.

Для построения функции желательности необходимо определить интервал варьирования отношения V/V_0 . Принимаем идеальным отношение V/V_0 , равное единице, то есть форма обуви не изменяется, а приформовываемость к стопе в процессе эксплуатации происходит за счет перераспределения нагрузок в материалах верха, межподкладки и подкладки, заданных в процессе формования обуви, при этом значение $d_u = 1$.

Допустимый предел ΔV для всех и размеров обуви постоянный, однако, отношение V/V_0 несколько варьирует в зависимости от размера обуви (табл. 3.12). В связи с этим функция желательности строилась для каждого размера. Значения соотношений V/V_0 указаны в таблице 3.12 и являются границей допустимых значений при $d_u = 0,37$.

Таблица 3.12 – Влияние размера обуви на соотношение V/V_0

Размер обуви	Первоначальный объем колодки до сечения $0,62D_{ст}$, V_0 , $см^3$	Предельно допустимый объем обуви до сечения $0,62D_{ст}$, V_0 , $см^3$	Отношение V/V_0
25,5	145	155	1,069
26,0	165	175	1,061
27,0	205	215	1,049
27,5	225	235	1,044
28,5	265	275	1,038

Итак, определено пять интервалов варьирования отношения V/V_0 : $[1; 1,069]$; $[1; 1,061]$; $[1; 1,049]$; $[1; 1,044]$; $[1; 1,038]$.

Для построения кривой функции желательности преобразовывали значения отношений V/V_0 в безразмерную равномерную шкалу y' . Для этого были выбраны значения y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 , соответствующие двум базовым отметкам на шкале желательности (табл. 3.13).

Таблица 3.13 – Базовые значения отношения V/V_0 , соответствующие базовым отметкам на шкале желательности

Значения соотношения V/V_0 (отклики)	Y_1		Y_2		Y_3		Y_4		Y_5	
	1	1,069	1	1,061	1	1,049	1	1,044	1	1,038
Числовые отметки по шкале желательности, d_u	0,99	0,37	0,99	0,37	0,99	0,37	0,99	0,37	0,99	0,37

Преобразование отклика «у» в частную функцию желательности имеет вид

$$d = \exp [-\exp (-y)]. \quad (3.36)$$

Подставляя данные таблицы 3.13 в формулу (3.36) и производя определенные преобразования, получаем значения величин, необходимых для построения функции желательности (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Сводная таблица для построения кривой функции желательности

Числовые отметки по шкале желательности	Числовые коды по кодированной шкале y'	Значения соотношения V/V_0				
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1,00–0,80	3,0	1	1	1	1	1
0,80–0,63	1,5	1,047	1,041	1,033	1,030	1,026
0,63–0,37	0,85	1,056	1,050	1,040	1,036	1,031
0,37–0,20	0,00	1,069	1,061	1,049	1,044	1,038
0,20–0,00	-0,50	1,077	1,068	1,054	1,049	1,042

Частные функции желательности будут иметь вид:

$$d_1 = \exp [-\exp (-71,16855 + 66,56855 y_1)]; \quad (3.37)$$

$$d_2 = \exp [-\exp (-79,89885 + 75,29885 y_2)]; \quad (3.38)$$

$$d_3 = \exp [-\exp (-98,339 + 93,739 y_3)]; \quad (3.39)$$

$$d_4 = \exp [-\exp (-108,99 + 104,39 y_4)]; \quad (3.40)$$

$$d_5 = \exp [-\exp (-125,47447 + 120,87447 y_5)]. \quad (3.41)$$

Используя данные таблицы 3.14 построены частные функции желательности (рис. 3.18). Подставляя в уравнения (3.37–3.41) любое значение «у», можно найти показатель желательности d , который может быть использован при расчете обобщенного показателя качества.

По аналогии определялась функция и строилась шкала желательности для S/S_0 . Идеальным принималось отношение S/S_0 равное единице. Вторая граница интервала варьирования соответствовала 3,5 % изменению площади. При этом значение S/S_0 равнялось 1,035. Используя уравнение (3.36), получены данные для построения кривой функции желательности (табл. 3.15).

Частная функция желательности имеет вид

$$d = \exp [-\exp (-135,835 + 131,235y)]. \quad (3.42)$$

Таблица 3.15 – Данные для построения кривой функции желательности

Числовые отметки по шкале желательности, d_u	Числовые коды по кодированной шкале y'	Значения соотношения $S/S_0, y$
1,00–0,80	4,6	1
0,80–0,63	1,5	1,019
0,63–0,37	0,77	1,025
0,37–0,20	0,006	1,030
0,20–0,00	–0,5	1,034

По данным таблицы построена частная функция желательности (рис. 3.19).

Из вышеизложенного видно, что функции желательности отражают зависимость оценок, или показателей желательности (d), от безразмерных показателей (y), в которые переводят размерные (натуральные) показатели качества.

Частные функции желательности могут быть построены для любого показателя качества и в дальнейшем использованы при расчете обобщенного показателя желательности.

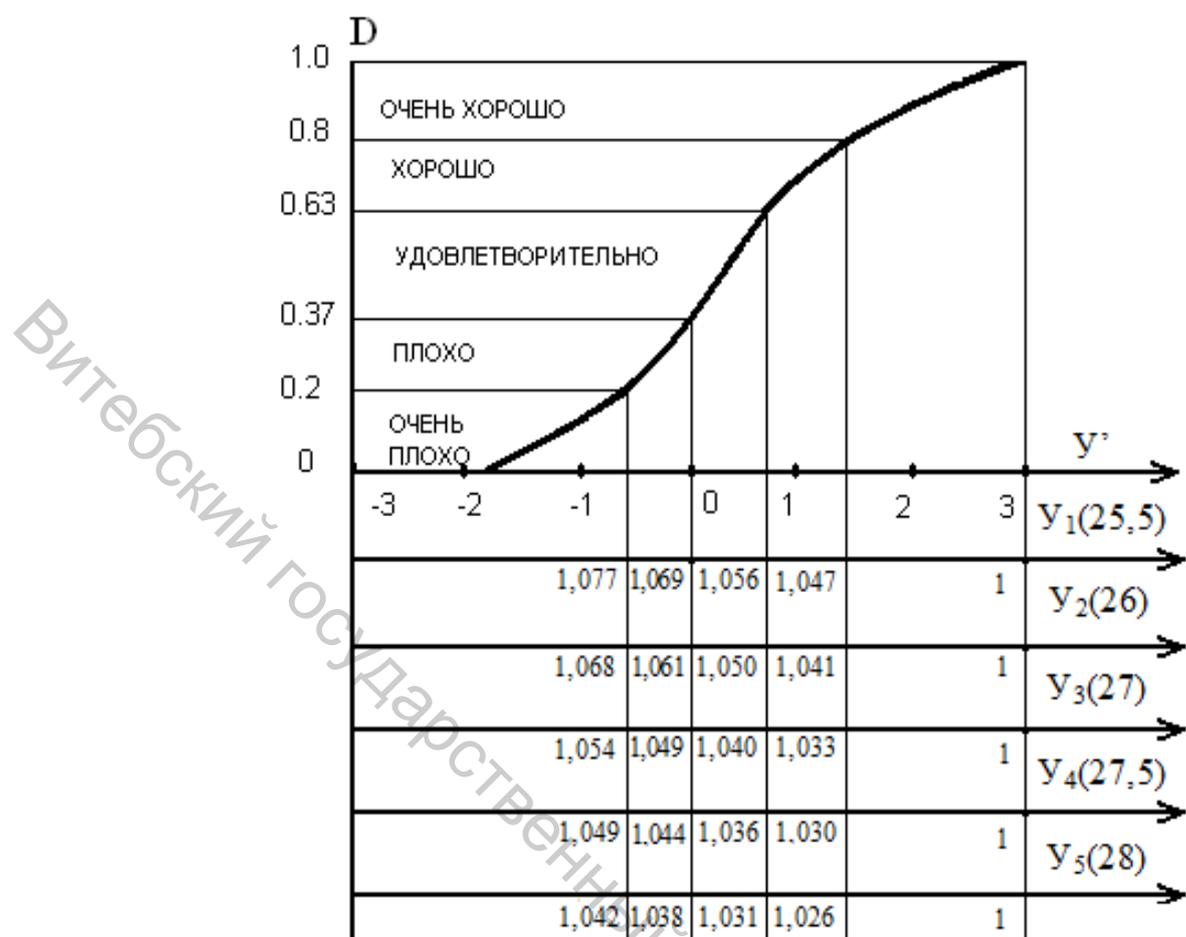


Рисунок 3.18 – Шкала желательности для оценки формоустойчивости готовой обуви

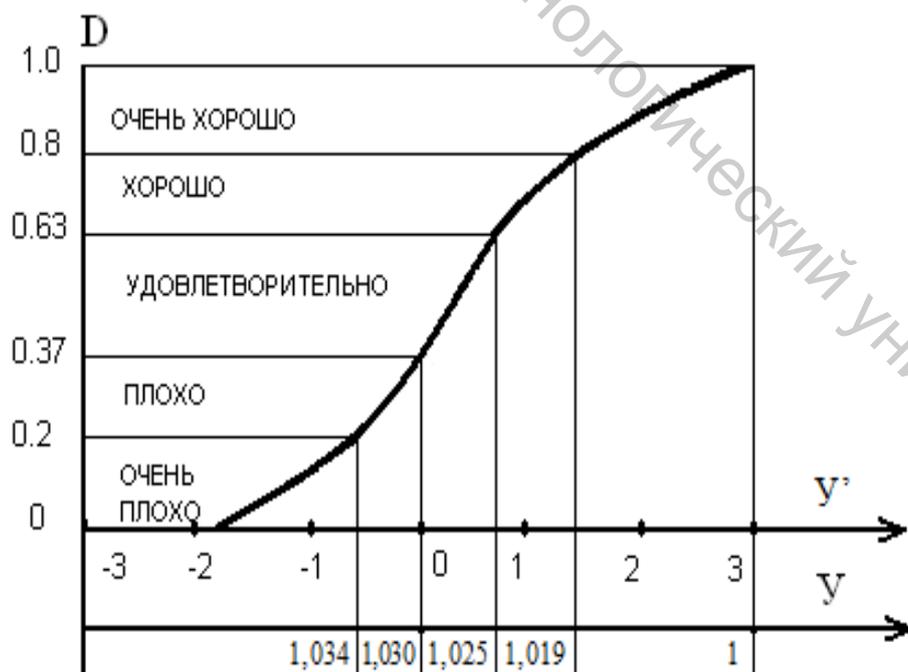


Рисунок 3.19 – Шкала желательности для оценки формоустойчивости систем материалов верха обуви

Формула для расчета обобщенного показателя желательности (D) с учетом коэффициентов весомости показателей качества выглядит следующим образом:

$$D = \prod_{i=1}^n (d_i)^{m_i}. \quad (3.43)$$

В целом методический подход определения обобщенного показателя желательности заключается в следующем:

- определяются натуральные значения показателей качества и при целесообразности их относительные значения (например V/V_0);
- переводятся натуральные значения показателей качества (или относительные) в безразмерные (y);
- определяется показатель желательности (d);
- рассчитывается обобщенный показатель желательности (D).

Обобщенный показатель желательности по сути выступает как комплексный и может быть использован при сравнительной оценке качества однородной продукции.

Следует отметить, что основные результаты настоящего исследования прошли апробацию и были внедрены на предприятиях обувной отрасли Республики Беларусь [3.125], что дает основание судить об их практической значимости. Кроме того, результаты исследований имеют и теоретическую значимость при прогнозировании качества готовой обуви.

В целом на основании изложенного в главе 3 материала можно отметить:

- научные исследования по проблеме формоустойчивости обуви в разные годы осуществлялись в направлениях разработки приборной базы и методов оценки формоустойчивости систем материалов верха и готовой обуви; непосредственных исследований формоустойчивости материалов, систем и готовой обуви по показателям, напрямую или косвенно характеризующим формоустойчивость; исследований влияния технологических и эксплуатационных факторов, вида применяемых материалов на формоустойчивость;
- различают методы оценки статической и динамической формоустойчивости материалов и систем; последние дают возможность повысить объективность оценки и прогнозирования формоустойчивости обуви по результатам лабораторных испытаний материалов и систем;

– существующие лабораторные методы оценки эксплуатационных свойств материалов и систем, и в частности формоустойчивости, классифицируются в зависимости от характера деформации и воспроизведения складок;

– для оценки динамической формоустойчивости систем материалов верха обуви авторами настоящей монографии разработан метод и устройство, позволяющие приблизить характер эксплуатационных воздействий на системы верха к реальным условиям носки обуви. Кроме циклических нагрузжений на устройстве можно имитировать воздействие пота, выделяемого стопой при носке, а также регулировать температурные режимы окружающей среды и скоростные режимы деформирования;

– предложен усовершенствованный метод оценки формоустойчивости носочно-пучковой части обуви, позволяющий исключить влияние объема носочной части на результаты измерений и получать сопоставимые результаты при исследовании обуви с разной формой и объемом носочной части;

– проведенное комплексное исследование систем материалов по показателям статической формоустойчивости показало, что верх обуви с более растяжимыми материалами подкладки способен лучше сохранять форму обуви на этапе, предшествующем носке. Статическая формоустойчивость систем с нетканым материалом несколько выше, чем с натуральной кожей;

– при динамическом нагружении наблюдается интенсивное изменение площади систем в первые 45 дней условной эксплуатации. Наиболее выражен такой характер изменения в системах с трикотажным и нетканым полотном;

– оценка формоустойчивости готовой обуви, осуществленная по ряду показателей, свидетельствует о более быстрой приформовываемости к стопе кожаной обуви с растяжимыми подкладочными материалами и неткаными полотнами в качестве материала верха. Абсолютные величины изменения показателей такой обуви в процессе носки выше, чем в обуви с традиционными материалами.

– выявлена высокая согласованность между результатами испытаний в лабораторных условиях и опытной носки. Коэффициенты корреляции варьируют от 0,8 до 0,96;

Представленная в настоящей главе приборная база исследования формоустойчивости и методика её оценки показали свою жизнеспособность как практический и теоретический инструментарий, который можно использовать при входном контроле качества материалов, поступающих на предприятия обувной отрасли и в научных исследованиях эксплуатационных свойств обуви.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

3.1 Михеева, Е. Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Е. Я. Михеева, Л. С. Беляев. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.

3.2 ГОСТ 9135–2004. Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноски и задника. Введ. впервые ; введ. 01 – 10 – 06. – Минск : Госстандарт, 2006. – 12 с.

3.3 Любич, М. Г. Деформация заготовки при обтяжке и затяжке // Вестник кожевенной промышленности и торговли. – 1930. – № 6. – С. 334–337.

3.4 Любич, М. Г. Продольное и поперечное расположение моделей при раскрое верхней кожи // Кожевенно-обувная промышленность СССР. – 1932. – № 3. – С. 155–159.

3.5 Любич, М. Г. Продольное и поперечное расположение моделей при раскрое верхней кожи // Кожевенно-обувная промышленность СССР. – 1932. – № 4. – С. 213–217.

3.6 Ключев, В. М. Усадка верхнего кожматериала в готовой обуви : сб. трудов ; сост. В. М. Ключев. – Москва : ЦНИИКП, 1935. – Т. 2, вып. 1. – С. 151–199.

3.7 Сумарова, Т. М. Исследование деформации внутренней формы обуви / Т. М. Сумарова, Ю. А. Карагезян, Н. В. Яковлева: сб. науч. трудов. – Ленинград : ЛИТИЛП, 1990. – С. 19–21.

3.8 Акулова, Т. Е. Измерение деформаций при помощи ртутного датчика / Т. Е. Акулова, В. А. Ульяницкий, Ю. П. Зыбин // Технология легкой промышленности. Легкая промышленность. – 1958. – № 6. – С. 23–26.

3.9 Кушнир, Н. К. Эластичный угольно-графитно-сажевый тензодатчик // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1958. – № 6. – С. 23–26.

3.10 Акулова, Т. Е. Исследование деформации верха обуви при носке / Т. Е. Акулова, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. Легкая промышленность. – 1958. – № 6. – С. 90–100.

3.11 Ратаутас, А. С. Профилографический метод определения формоустойчивости обуви / А. С. Ратаутас // Материаловедение и технология изделий из кожи : материалы конф. 1978 г. Развитие технических наук в республике и использование их результатов / Каунасский политехнический институт им. А. Снечкусас. – Вильнюс, 1978. – С. 28–30.

3.12 Кедров, Л. В. О формоустойчивости беззатяжной обуви / Л. В. Кедров, И. Л. Качко, З. В. Козлова // Обувная промышленность : научно-технический сб. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, – 1961. – № 4. – С. 8–13.

3.13 Акимова, Е. В. О деформации систем материалов верха обуви в процессе носки. Кожевенно-обувная промышленность / Е. В. Акимова, А. Ю. Зыбин. – 1979. – № 10. – С. 50–52.

3.14 Щербаков, В. В. Исследование формоустойчивости обуви с верхом из синтетических кож : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.19.06 «Технология обувных, кожевенно-галантерейных и шорных изделий» / В. В. Щербаков ; МТИЛП. – Москва, 1981. – 17 с.

3.15 Перельмитер, В. И. Способ исследования деформаций верха обуви / В. И. Перельмитер, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1960. – № 5. – С. 64–69.

3.16 Калита, А. Н. Исследование деформации систем материалов верха обуви в процессе носки : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.06 / А. Н. Калита – Москва, 1966. – 215 с.

3.17 Калита, А. Н. Исследование факторов, влияющих на складкообразование в обуви / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1966. – № 2. – С. 108–112.

3.18 Исследование кожи для верха обуви при многократном изгибе : сб. науч. трудов ; сост. А. Н. Калита [и др.]. – Москва : МТИЛП, 1972. – № 38. – С. 254–265.

3.19 Цибизова, Е. М. Определение эксплуатационных факторов, влияющих на формоустойчивость верха обуви / Е. М. Цибизова, М. А. Клякотко, А. Н. Калита // Изв. Вузов. Технология легкой промышленности. – 1985. – № 1. – С. 69–72.

3.20 Адигезалов, Л. И. Интенсифицированные методы сушки обуви / Л. И. Адигезалов, А. С. Шварц. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 134 с.

3.21 Patent 83705. Przyrzad do dokonywania pomiaru stopia stabilizacji oraz trwalosci ksztaltu cholewek obuwia / Trzesniowski, W, 1977, kl g p 33–44.

3.22 Воронов, Н. Г. Изменение механических свойств синтетических кож в процессе формования обуви / Н. Г. Воронов [и др.]. // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1977. – № 6. – С. 98–102.

3.23 Щербаков, В. В. Формоустойчивость системы материалов для верха обуви / В. В. Щербаков, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 12. – С. 19–21.

3.24 Щербаков, В. В. Влияние режимов формования на формоустойчивость систем материалов / В. В. Щербаков [и др.]. // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 1. – С. 31–40.

3.25 Щербаков, В. В. О формоустойчивости обуви с верхом из СК-8 при хранении / В. В. Щербаков, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 2. – С. 46–47.

3.26 Щербаков, В. В. Разработка режимов формования верха обуви из СК-8 / В. В. Щербаков, А. Н. Калита // Экспресс-информация. Обувная промышленность. – 1981. – № 5. – С. 1–26.

3.27 Щербаков, В. В. Экспресс-метод определения формоустойчивости обуви / В. В. Щербаков, А. Н. Калита // Обувная и кожгалантерейная промышленность : РС. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1981. – № 1. – С. 31–40.

3.28 А.с. 791371 СССР, МКИ А 43 D 1/08, А 43 D 11/12, А 43 D 13/00, G 01 B 13/00. Способ определения формоустойчивости изделий из деформируемого материала / В. В. Щербаков, А. Н. Калита, А. Н. Буркин, Г. В. Сипаров (СССР). – № 2750848/28-12 ; заявл. 11.04.79 ; опуб. 30.12.80, Бюл. № 48. – 3 с.

3.29 Щербаков, В. В. Комплексная оценка формоустойчивости обуви / В. В. Щербаков, А. А. Калита, Г. В. Сипаров // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1980. – № 4. – С. 54–56, – № 5. С. 67–69.

3.30 Procédé et dispositif de mesure du volume interne d'un article chaussant. Заявка 2 674 731-A1. Франция ; заяв, 05.04.91 ; опуб. 09.10.92. МКП А 43 D 1/06.

3.31 Цибизова, Е. М. Системный подход к проблеме формоустойчивости обуви / Е. М. Цибизова, А. Н. Калита // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1985. – № 6. – С. 61–64.

3.32 Цибизова, Е. М. Анализ эксплуатационных факторов, влияющих на формоустойчивость обуви / Е. М. Цибизова, А. Н. Калита // Совершенствование методов конструирования и технологии изделий из кожи : сб. науч. трудов. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1983. – С. 72–75.

3.33 Кушнир, Н. К. Исследование деформации верха обуви при ходьбе / Н. К. Кушнир // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1965. – № 1. – С. 105–114.

3.34 Калита, А. Н. Исследование складкообразований и разрушения верха обуви при изгибе / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1966. – № 1. – С. 83–90.

3.35 Любич, М. Г. Свойства обуви. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 256 с.

3.36 Файбишенко, М. А. Технологические требования к конструированию верха обуви из синтетических и искусственных кож / М. А. Файбишенко, С. В. Шардаков, Г. К. Рухадзе // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 2. – С. 22–27.

3.37 Зурабян, К. М. Материаловедение изделий из кожи : учебник для вузов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, М. М. Бернштейн. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 416 с.

3.38 Акимова, Е. В. Об устойчивости к повторным механическим воздействиям материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 12. – С. 45–48.

3.39 Закатова, Н. Д. Эксплуатационные свойства обувных материалов и изделий / Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева. – Москва : Легкая индустрия, 1966. – 214 с.

3.40. Акулова, Т. Е. Исследование деформации верха обуви / Т. Е. Акулова, Ю. П. Зыбин // Сб. науч. трудов. – Москва : МТИЛП, 1962. – № 22. – С. 221–229.

3.41 Кутянин, Г. И. Исследование физико-механических свойств кожи / Г. И. Кутянин. – Москва : Гизлегпром, 1956. – 196 с.

3.42 Бартенев, Г. М. Физика и механика полимеров : учебное пособие для студентов вузов / Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев. – Москва : Высшая школа, 1983. – 391 с.

3.43 Школьник, Л. М. Методика усталостных испытаний : справочник / Л. М. Школьник, – Москва : Металлургия, 1978. – 302 с.

3.44 Лабораторный практикум по материаловедению изделий из кожи / под общ. ред. А. П. Жихарева. – Москва : Легпромбытиздат, 1993. – 384 с.

3.45 Ульяницкий, В. А. О пространственной деформации кожи для верха обуви / В. А. Ульяницкий, К. М. Платунов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1960. – № 4. – 106 с.

3.46 Голубятникова, А. Г. Исследование стойкости кожевенных материалов к действиям многократных деформаций : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.06 / А. Г. Голубятникова. – Москва, 1969. – 212 с.

3.47 Полякова, Л. Г. Новый прибор для исследования на устойчивость к многократным механическим воздействиям материалов для верха обуви / Л. Г. Полякова // Совершенствование техники и технологии производства кожи, обуви и дубильных экстрактов : сб. статей. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – № 1. – С. 112–116.

3.48 Калита, А. Н. Исследование кожи для верха обуви при многократном изгибе / А.Н. Калита, А.Ю. Зыбин : Труды института // Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1974. – Вып. 39. – С. 89–93.

3.49 Posnanski, I. Komfort obuwia brosc. 11. Badonia smian Wlasciwosei lepkospsusystuck materialow na wiezschy; obuwia w prezesach zmazeniowych oraz okreslnie jh wpluwu na Komfort obuwia / Posnanski I., Rudska B., Kowakowski K. // Praseglad skrzany. – 1978. – № 2. – P. 48–52.

3.50 New performance class for material, component and function testing: UTS Universal Testing Machines with CNC Technische Information. – 1988. – № 102. – P. 32.

3.51 Ябко, Я. М. Использование прибора 6-24-1 для испытания искусственной кожи / Я. М. Ябко, С. Л. Полинский, Г. Н. Смольникова // Кожевенно-обувная промышленность. – 1974. – № 1. – С. 55–59.

3.52 Панасюк, Л. Г. Роторный пульсатор для утомления тканей, пленок и мягких кож / Л. Г. Панасюк [и др.]. / Респ. науч. конф. «Интенсификация производства создания новых технологий материалов» : сб. тех. докладов. – Вильнюс, 1984. – С. 22–25.

3.53 Кругляков, В. М. Ускоренный метод исследования устойчивости материалов для верха обуви к многократным механическим воздействиям : сборник статей / В. М. Кругляков, В. К. Смелков, А. Г. Воронин // Товароведение и легкая промышленность. – Минск : Высшая школа, 1982. – № 9. – С. 156–160.

3.54 Акимова, Е. В. Об износостойкости систем материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1979. – № 11. – С. 56–59.

3.55 Островский, В. С. О свойствах кож для верха обуви из шкур крупного рогатого скота / В. С. Островский, Л. А. Ягода // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 12. – С. 45–47.

3.56 Беднарчук, Н. С. Исследование деформационных свойств обувных многослойных текстильных материалов / Н. С. Беднарчук, И. С. Галык, Б. Д. Семак // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1991. – № 5. – С. 28–34.

3.57 Белокуров, В. Н. Теоретическое обоснование взаимосвязи показателей деформации материалов, определяемых в статическом и динамическом режимах / В. Н. Белокуров, Б. А. Бузов // Формование и формоустойчивость материалов и изделий легкой промышленности : сб. трудов / ЦНИИлегпром. – Москва, 1996. – С. 23–26.

3.58 Куприянов, М. П. Деформационные свойства кожи для верха обуви / М. П. Куприянов. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 250 с.

3.59 Щербаков, В. В. Формоустойчивость систем материалов верха обуви / В. В. Щербаков, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1980. – № 12. – С. 19–21.

3.60 Акимова, Е. В. Исследование деформационно-прочностных свойств материалов, определяемых в статическом и динамическом режимах / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева, А. Ю. Зыбин : сб. трудов / ЦНИИ легпром. – Москва, 1979. – С. 37–46.

3.61 Буркин, А. Н. Формование обуви с верхом из полужокольника / А. Н. Буркин, А. Н. Калита // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 1. – С. 45.

3.62 Рохлин В. П. О методе оценки формоустойчивости материалов и систем материалов для верха обуви / В. П. Рохлин, Е. Я. Михеева, Е. В. Акимова // Совершенствование технологии производства обуви : сб. трудов / ЦНИИлегпром. – Москва, 1982. – С. 11–18.

3.63 Горюшкина, Л. А. Исследование свойств материалов и систем материалов для верха обуви при двухосном растяжении / Л. А. Горюшкина, Л. С. Беляев, Е. Я. Михеева // Исследования, направленные на экономическое исследование ресурсов в обувной промышленности : сб. трудов / ЦНИИлегпром. – Москва, 1983. – С. 66–72.

3.64 Макарышева, Т. С. Методика определения формоустойчивости обувных дублированных текстильных материалов на приборе ПОИК / Т. С. Макарышева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1985. – № 9. – С. 21–24.

3.65 Смелков, В. К. Пути повышения формоустойчивости обуви с верхом из свиных хромовых кож / В. К. Смелков, К. А. Загайгора, С. В. Смелкова // Формование и формоустойчивость материалов и изделий легкой промышленности : сб. науч. трудов / ЦНИИлегпром. – Москва, 1996. – С. 23–26.

3.66 Веселова, Л. Е. Исследование свойств новых текстильных материалов и их систем для верха обуви : сб. науч. трудов / Московский текстильный институт. – Москва, 1988. – С. 50–56.

3.67 Горюшина, Л. А. О методе оценки формоустойчивости материалов и систем материалов в динамических условиях / Л. А. Горюшина [и др.] // Кожевенно-обувная промышленность. – 1985. – № 9 – С. 21–24.

3.68 Адегизалов, Л. И. Увлажнение, сушка и влажно-тепловая обработка в обувном производстве. / Л. И. Адегизалов. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 186 с.

3.69 Цибалко, Е.С. Исследование упруго-релаксационных свойств натуральной кожи с целью повышения формоустойчивости обуви / Е. С. Цибалко // Межвузовская НТК «Современные проблемы текстильной и легкой промышленности» : сб. ст. – Москва, 1998. – С. 82–85.

3.70 Буркин, А. Н. Рациональные режимы формования верха обуви / А. Н. Буркин, А. Н. Калита, С. И. Клобуков // Экспресс-информация. Обувная промышленность в СССР. – 1978. – № 1. – 25 с.

3.71 Яшкова, А. А. Влияние различных способов влажно-тепловой обработки на величину остаточной деформации образцов хромовой кожи / А. А. Яшкова, М. Н. Попова, Н. В. Чалочкина // Обувная промышленность». – 1977. – № 1. – С. 6–13.

3.72 Воронов, Н. Ф. Исследование закономерностей изменения физико-механических свойств синтетических кож в процессе формования верха обуви : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.06. – Москва, 1978. – 232 с.

3.73 Файбишенко, М. А. Технология производства обуви с верхом из синтетических и искусственных кож. // Обувная промышленность. – Москва, 1976. – № 1. – С. 5–11.

3.74 Буркин, А. Н. Влияние режимов формования на остаточное удлинение кожи / А. Н. Буркин, А. Н. Калита // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1978. – № 4. – С. 57–59.

3.75 Буркин, А. Н. Исследование влияния основных технологических процессов на стабилизацию формы верха обуви в радиационной и радиационно-вакуумных сушках / А. Н. Буркин, А. Н. Калита, С. И. Клобуков // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1978. – № 12. – С. 96–101.

3.76 Воронов, Н. Ф. Исследование кинетики термоусадки системы синтетической кожи с подкладкой с целью прогнозирования формоустойчивости / Н. Ф. Воронов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1987. – № 2. – С. 69–72.

3.77 Луцык, Р. В. Влияние влаги на релаксационные процессы, происходящие в обувных материалах при формовании / Р. В. Луцык, Н. Е. Хомяк, В. П. Холод // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1987. – № 3. – С. 38–41.

3.78 Загайгора, К. А. Выбор рациональных композиций для верха обуви / К. А. Загайгора // Совершенствование методов конструирования и технологии изделий из кожи : сб. науч. трудов К. А. Загайгора. – Москва, 1987. – С. 25–29.

3.79 О применении трикотажных материалов в качестве подкладки при изготовлении детской обуви / А. Н. Буркин [и др.] // Товары народного потребления : сб. ст. – Минск, 1988. – № 15. – С. 67–69.

3.80 Гривцова, Л. А. Влияние термообработки заготовок для верха обуви на формуемость и формоустойчивость / Л. А. Гривцова, Н. С. Репина, Е. Д. Яхнин // Кожевенно-обувная промышленность. – 1989. – № 7. – С. 13–16.

3.81 Сумарова Т. М. Исследование деформации внутренней формы обуви / Т. М. Сумарова [и др.] // Сб. науч. трудов ЛИТЛП / ЛИТЛП. – Ленинград, 1990. – С. 19–21.

3.82 Гронская, Э. В. Новый текстильный материал для деталей верха бесподкладочной обуви / Э. В. Гронская, В. А. Браславский // Кожевенно-обувная промышленность. – 1992. – № 8. – С. 9–11.

3.83 Александров, А. Исследование формоустойчивости обувных материалов / А. Александров, В. Грознова, Е. Еленкова // Год. Вышш. химико-технол. инст., София. – 1991. – № 2. – С. 218–224.

3.84 Васильев, М. А. Направленная комплектация материалов верха обуви / М. А. Васильев, В. В. Щербаков : сб. тр. ВГТУ. Часть 1. – 1995. – С. 117–119.

3.85 Буркин, А. Н. Исследование конструкции и технологии изготовления обуви с целью улучшения ее формоустойчивости : диссертация ... кандидата технических наук. – Москва, 1978. – 190 с.

3.86 Полуэктов, В. Д. Исследование возможности применения нетканых полотен различных структур для производства обуви / В. Д. Полуэктов, Я. Н. Лейнов, Г. В. Баштыркова // Исследования в области производства обуви, направленные на интенсификацию технологических процессов и расширение ассортимента : сб. науч. трудов. – Москва, 1986. – С. 16–20.

3.87 Титова, Э. А. Исследование эксплуатационных свойств новых обувных материалов / Э. А. Титова [и др.] // Трудо- и ресурсосберегающие технологии производства обуви и кожи, повышающие надежность изделий : сб. науч. трудов. – Москва, 1987. – С. 87–90.

3.88 Павлова, Л. Р. Эксплуатационные свойства обуви / Л. Р. Павлова, Т. В. Логвиненко // Совершенствование технологии кожевенной и обувной промышленности на основе малоотходных технологических процессов и снижение материалоемкости изделий : сб. науч. трудов ЦНИИ кож.-обув. пром. / под. ред. О. О. Баблюяна. – Москва : ЦНИИ-ТЭИлегпром, 1990. – С. 90–93.

3.89 Исследование комплексного влияния режимов формования на формоустойчивость систем из искусственных кож / С. Л. Фурашова [и др.] // Техническое регулирование : базовая основа качества материалов, товаров и услуг : Международный сборник научных трудов / ИСО и П (филиал) ДГТУ. – Шахты, 2012. – С. 71–73.

3.90 Горбачик, В. Е. Исследование жесткости материалов верха обуви и их систем / В. Е. Горбачик, А. И. Линник, В. А. Фукин // Кожевенно-обувная промышленность. – 1998. – № 3. – С. 33–35.

3.91 Формоустойчивость верха обуви из различных материалов / К. А. Загайгора, З. Г. Максина // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов междунауч.-тех. Конференции. – Витебск, 2014. – С.147–149.

3.92 Фурашова, С. Л. Установление оптимальных режимов формования заготовки верха обуви из натуральных кож / С. Л. Фурашова, В. Е. Горбачик // Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается» : сб.ст. / ФГБОУВПО «МГУДиТ». – Москва, 2014. – С. 169–169.

3.93 Тихонова Н. В. Исследование формоустойчивости обуви с верхом из низкосортной натуральной кожи / Н. В. Тихонова // Кожевенно-обувная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 31, – 2012. – № 2. – С. 35–36.

3.94 Томашева, Р. Н. Анализ методов оценки упруго-пластических свойств обувных материалов / Р. Н. Томашева, В. Е. Горбачик // Техническое регулирование : базовая основа качества материалов, товаров и услуг : Международный сборник научных трудов / ИСО и П (филиал) ДГТУ. – Шахты, 2015. – С. 342–348.

3.95 Гребенцова, Э. А. Исследование формоустойчивости систем материалов с верхом из современных синтетических кож / Э. Я. Гребенцова [и др.] // Материалы докладов 49 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2016. – С. 103–105.

3.96 Горбачик, В. Е. Методика определения приформовываемости верха обуви к стопе / В. Е. Горбачик, Р. Н. Томашева // Сборник статей международной научной конференции «Текстиль, одежда, обувь: дизайн и пр-во» / УО «ВГТУ»; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2002. – С. 165–167.

3.97 Томашева, Р. Н. Исследование приформовываемости верха обуви к стопе / Р. Н. Томашева // Молодежь и наука в XXI веке : сборник статей молодых ученых. Вып. 1. / Отдел по делам молодежи администрации Октябрьского района г. Витебска; под общ. редакцией М. И. Конорева, А. Е. Герашенко, И. А. Солодовникова. – Витебск, 2004. – С. 73–77.

3.98 Горбачик, В. Е. Методика исследования упруго-пластических свойств материалов и систем в динамических условиях / В. Е. Горбачик, Р. Н. Томашева // Проблемы создания гибких технологических линий пр-ва изделий из кожи : междунар. сб. науч. тр. / ЮРГУЭС; редкол.: В. Т. Прохоров [и др.]. – Шахты, 2004. – С. 107–110.

3.99 Томашева, Р. Н. Оценка и прогнозирование приформовываемости верха обуви к стопе : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.06 : защищена 28.05.08 : утверждена 23.11.2008 / Рита Николаевна Томашева. – Витебск, 2008. – 252 с.

3.100 Шеремет, Е. А. Устройство для исследования эксплуатационных характеристик верха обуви / Е. А. Шеремет // Актуальные проблемы науки, техники и экономики легкой промышленности : тез. докладов Международной науч.-тех. конф. // Московский гос. университет дизайна и технологии. – Москва, 2000. – С. 265–266.

3.101 Пат. 6798 Республики Беларусь, G 01 N 33/36, 33/34 (BY). Способ определения эксплуатационных свойств материалов для верха обуви и устройство для его осуществления / Е. А. Шеремет, В. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ», Промышленно-торговая фирма «Футра». - № а 20000678 ; заявл. 13.07.2000 ; опубл. 30.03.2005, Бюллетень № 7. – 4 с.

3.102 Щербаков, В. В. Исследование формоустойчивости обуви с верхом из синтетических кож : Дис. ... на соискание ученой степени кандидата технических наук : Спец. 05.19.06 «Технология обувных, коженно-галантерейных и шорных изделий» / В. В. Щербаков. – Москва : МТИЛП, 1981. – 285 с.

3.103 Калита, А. Н. О деформации стопы в плюсно-фаланговом сочленении при подъеме пятки / А. Н. Калита, Т. С. Кочеткова, Ю. П. Зыбин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1963. – № 2. – С. 75–82.

3.104 Пат. 5984 Республики Беларусь, МПК7 А 43 D 1/08 / (ВУ). Способ определения формоустойчивости обуви / А. Н. Буркин, А. Л. Сидорков, М. В. Шевцова, Е. А. Шеремет; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет». – № а 20000284; заявл. 27.03.2000; опубл.30.03.2004, Бюллетень № 1(40). – 3 с.

3.105 А.с. 1047462 А СССР, МКИ А 43 D 1/04. Устройство для определения формы сечений обуви / Б. А. Юодяле, В. Л. Раяцкас, А-С. С. Ратаутас, П. И. Раудонасис (СССР). – № 3385903/28-12 ; заявл. 12.01.82; опуб. 15.10.83, Бюл. № 38. –3 с.

3.106 Разработка ресурсосберегающей технологии применения новых материалов для обуви (с учетом расширения обувной фабрики до 2 млн. пар в год) : отчет о НИР 1991-ХД-252 / ВТИЛП ; рук. В. В. Щербаков. –Витебск, 1991. – 143 с. – № ГР 01.90.0005629.

3.107 Щербаков В. В. Исследование и применение нетрадиционного подкладочного материала для верха обуви / В. В. Щербаков, Е. А. Шеремет: сб. науч. трудов ВГТУ в 2-х частях (часть 1) . – Витебск : УО «ВГТУ», 1995. – С. 94–100.

3.108 Воробьева, Т. А. Характеристика рынка текстильной обуви г. Москвы / Т. А. Воробьева, В. В. Костылева, В. А. Фукин // Кожевенно-обувная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 9–11.

3.109 Бирюков, А. А. Проблемы текстильных материалов для обуви / А. А. Бирюков, В. А. Браславский // Вестник СПГУТД. – 1997. – № 1. – С. 139–142.

3.110 Иванова, Ю. В. В поисках сенсаций (обзор зарубежной моды 1999–2000 г.) // Кожевенно-обувная промышленность. – 1999. – № 5. – С. 22–25.

3.111 Иванова, Ю. В. О новых художественно-конструкторских решениях текстильной обуви / Ю. В. Иванова // Кожевенно-обувная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 18–19.

3.112 Хакимова, Г. В Обувь из льна, готовая к производству / Г. В. Хакимова // Кожевенно-обувная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 16–17.

3.113 Горбачик, В. Е.Разработка трикотажных полотен для верха обуви / В. Е. Горбачик [и др.] // Совершенствование конструкции и технологии изделий из кожи : сб. науч. трудов / под ред. С. М. Литовского. – Витебск. – 1996. – С. 18–21.

3.114 Горбачик, В. Е. Новые тканевые материалы для подкладки обуви / В. Е. Горбачик [и др.] // Совершенствование конструкции и технологии изделий из кожи : сб. науч. трудов / под ред. С. М. Литовского. – Витебск, 1996. – С. 26–28.

3.115 Смелков, В. К. Прогнозирование эксплуатационных свойств текстильных материалов для верха обуви / В. К. Смелков [и др.] // Совершенствование конструкции и технологии изделий из кожи : сб. науч. трудов / под ред. С. М. Литовского. – Витебск, 1996. – С. 79–81.

3.116 Смелкова, С. В. Исследование влияния составленного пакета верха обуви внутреннего способа формования на его формоустойчивость / С. В. Смелкова, В. К. Смелков, И. И. Яцинина // Совершенствование конструкции и технологии изделий из кожи : сб. науч. / под ред. С. М. Литовского. – Витебск, 1996. – С. 130–133.

3.117 Шеремет, Е. А. Формирование качества обуви на стадии разработки / Е. А. Шеремет // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества : сб. докладов Международной научной конференции – Витебск, 2001. – С. 457–459.

3.118 Щербаков, В. В. Нетрадиционные материалы для промежуточных деталей верха обуви / В. В. Щербаков [и др.] // Кожевенно-обувная промышленность. – Москва, 1995. – № 9. – С. 18–19.

3.119 Шеремет, Е. А. Исследование формоустойчивости нетканого материала / Е. А. Шеремет // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы в текстильной и легкой промышленности : тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Прогресс – 2001». – С. 201–202.

3.120 Шеремет, Е. А. Исследование возможности применения иглопробивных материалов для заготовок верха обуви / Е. А. Шеремет, А. Н. Буркин // Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества : тезисы докладов международной научно-практической конференции «Материаловедение-99». – Черкизово, 1999. – С. 54–56.

3.121 Щербаков, В. В. Исследование взаимосвязи эксплуатационных и лабораторных испытаний верха обуви / В. В. Щербаков, Е. А. Шеремет : тезисы докладов 28-й научно-технической и научно-практической конференции преподавателей и студентов ВГТУ. – Витебск, 1995. – С. 54.

3.122 Буркин, А. Н. Обобщенная функция желательности для оценки формоустойчивости / А. Н. Буркин, М. А. Васильев, А. Н. Калита // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1981. – № 2. – С. 84–86.

3.123 Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 279 с.

3.124 Калита, А. Н. Определение допустимых изменений формоустойчивости обуви / А. Н. Калита, В. В. Щербаков // Экспресс-информация. Обувная промышленность в СССР. – 1982. – Вып. 11. – 16 с.

3.125 Шеремет, Е. А. Оценка эксплуатационных свойств верха обуви по показателям формоустойчивости : автореферат диссертации... кандидата технических наук : Спец. 05.19.08 «Товароведение промышленных товаров и сырья легкой промышленности» / Е. А. Шеремет ; Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации. – Гомель, 2001. – 21 с.

ГЛАВА 4

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ ОБУВИ

В настоящей главе приводятся подходы к расчету элементов конструкции обуви, позволяющие осуществлять рациональный выбор материалов для обеспечения необходимого уровня качества изделий. Предлагаемая в работе методология может быть основой для расчета элементов конструкций обуви, а также прогнозирования ее свойств в процессе носки.

Качественное выполнение режимов формования нельзя оценить только по способности обуви сохранять форму после снятия с затяжной колодки. Оценкой режимов формования является главным образом формоустойчивость обуви в носке. Причем формоустойчивость можно прогнозировать. Цель прогноза – посредством подбора режимов формования определить оптимальную формоустойчивость обуви при производстве и носке.

Для реализации цели прогноза возможны два вида испытаний: опытная носка и проведение испытаний в моделируемых условиях. Проведение испытаний в моделируемых условиях хотя и обладает недостаточной точностью [4.1], но требует значительно меньших затрат времени и средств по сравнению с опытной ноской. Создание моделируемых условий испытаний позволит дать качественную оценку формоустойчивости обуви в носке. Опытная носка, несмотря на некоторые достоинства (в основном адекватность оценки свойств обуви), имеет весьма существенные недостатки – длительность и дороговизну испытаний.

В связи с вышеизложенным настоящая глава посвящена:

- разработке методов имитационного моделирования эксплуатационных свойств материалов, систем и обуви;
- выбору методики исследования, обеспечивающей условия испытаний образцов, близкие к реальным процессам, происходящим в верхе обуви при носке;
- нахождению зависимостей, связывающих режимы формования с лабораторными исследованиями процесса носки;
- построению лабораторной модели, оценивающей формоустойчивость обуви при производстве и носке;
- прогнозированию формоустойчивости материалов, систем и обуви;
- проверке результатов прогноза в экспериментальной и опытной носках обуви.

В пункте 4.1 главы приведен краткий экскурс в основы имитационного моделирования, разработанного и достаточно хорошо систематизированного американским ученым и практиком Робертом Шенноном [2.101].

4.1 Имитационное моделирование процессов и систем в приложении к обувному производству

Имитационное моделирование – один из самых эффективных методов анализа для исследования и разработки сложных процессов и систем. Это моделирование дает возможность пользователю экспериментировать с системами в тех случаях, когда делать это на реальном объекте невозможно или нецелесообразно. Имитационное моделирование основано на математике, теории вероятности и статистике. В то же время имитационное моделирование и экспериментирование во многих случаях остаются интуитивными процессами. Это связано с тем, что такие процессы, как отбор существующих факторов для построения модели, введение упрощающих допущений и принятие правильных решений на основе моделей ограниченной точности, опираются в значительной мере на интуицию исследователя и практический опыт того или иного руководителя.

Имитационное моделирование по своей сути – это процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы. Таким образом, процесс имитационного моделирования понимаем как процесс, включающий и конструирование модели, и аналитическое применение модели для изучения некоторой проблемы. Под моделью реальной системы понимаем представление группы объектов или идей в некоторой форме, отличной от их реального воплощения; отсюда термин «реальный» используется в смысле «существующий или способный принять одну из форм существования». Следовательно, системы, существующие еще только на бумаге или находящиеся в стадии планирования, могут моделироваться так же, как и действующие системы.

Согласно определению, термин «имитационное моделирование» может также охватывать стохастические модели и эксперименты с использованием метода Монте-Карло. Иными словами, входы модели и (или) функциональные соотношения между различными ее компонентами могут содержать, а могут и не содержать элемент случайности,

подчиняющийся вероятностным законам. Имитационное моделирование является поэтому экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью:

- описать поведение систем;
- построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение;
- использовать эти теории для предсказания будущего поведения системы, то есть тех воздействий, которые могут быть вызваны изменениями в системе или изменениями способов ее функционирования.

В отличие от большинства технических методов, которые могут быть классифицированы в соответствии с научными дисциплинами, в которые они уходят своими корнями (например, с физикой или химией), имитационное моделирование применимо в любой отрасли науки и техники. Его применяют в коммерческой деятельности, экономике, маркетинге, в системе образования, политике, обществоведении, науке о поведении, международных отношениях, на транспорте, в кадровой политике, в области соблюдения законности, в исследовании проблем городов и глобальных систем, а также во многих других областях.

Перейдем теперь к основному понятию – модель. Модель является представлением объекта, системы или понятия (идеи) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования. Модель служит обычно средством, помогающим нам в объяснении, понимании или совершенствовании системы. Модель какого-либо объекта может быть или точной копией этого объекта (хотя и выполненной из другого материала и в другом масштабе), или отображать некоторые характерные свойства объекта в абстрактной форме. Вследствие того, что имитация является лишь одним из видов моделирования, рассмотрим вначале моделирование в его общей форме. Обычно считается, что модель – это используемый для предсказания и сравнения инструмент, позволяющий логическим путем спрогнозировать последствия альтернативных действий и достаточно уверенно указать, какому из них отдать предпочтение. По существу, прогресс и история науки и техники нашли свое наиболее точное выражение в развитии способности человека создавать модели естественных явлений, понятий и объектов.

Почти все исследователи утверждают, что одним из главных элементов, необходимых для эффективного решения сложных задач, является построение и соответствующее использование модели. Такая модель может принимать разнообразные формы, но одна из наиболее полезных и определенно наиболее употребительных форм – это математическая, выражающая посредством системы уравнений существенные признаки изучаемых реальных систем или явлений. При изучении большинства промышленных систем мы можем определить цели, указать ограничения и предусмотреть, чтобы наша конструкция подчиня-

лась техническим и (или) экономическим законам. При этом могут быть вскрыты и представлены в той или иной математической форме существенные связи в системе. Следовательно, определение модели должно включать в себя как количественные, так и качественные характеристики модели.

Известно пять наиболее часто встречаемых функций применения моделей, таких как:

- средства осмысления действительности,
- средства общения,
- средства обучения и тренажа,
- инструмента прогнозирования,
- средства постановки экспериментов.

Полезность модели как средства осмысления реальных связей и закономерностей очевидна. Модели могут помочь нам упорядочить наши нечеткие или противоречивые понятия и несообразности. Например, представление работ по проектированию сложных систем в виде сетевой модели побуждает нас продумать, какие шаги и в какой последовательности необходимо предпринимать. Такая модель помогает нам выявить взаимозависимости, необходимые мероприятия, временные соотношения, требуемые ресурсы и т. п. Уже сама попытка представить наши словесные формулировки и мысли в какой-то иной форме часто выявляет противоречия и неясности. Правильно построенная модель вынуждает нас организовать наши замыслы, оценить и проверить их обоснованность.

Как средство общения хорошо продуманная модель не имеет себе равных. Все языки, в основе которых лежит слово, в той или иной мере оказываются неточными, когда дело доходит до сложных понятий и описаний. Правильно построенные модели могут помочь нам устранить эти неточности, предоставляя в наше распоряжение более действенные, более успешные способы общения. Преимущество модели перед словесными описаниями – в сжатости и точности представления заданной ситуации. Модель делает более понятной общую структуру исследуемого объекта и вскрывает важные причинно-следственные связи.

Модели применялись и продолжают широко применяться в качестве средств профессиональной подготовки и обучения. Психологи давно признали важность обучения человека профессиональному мастерству в условиях, когда у него нет к этому сильных побудительных мотивов. Если человек практикуется в чем-то, то на него не должно оказываться давление. Критическая ситуация возникает здесь при выборе неподходящего времени и места обучения человека новым профессиональным приемам. Поэтому модели часто применяются как средство обучения лиц, которые должны уметь справляться с всевозможными случайностями до возникновения реальной критической ситуации.

Большинство уже знакомо с такими применениями моделей, как натурные макеты обуви и деталей, выполненные на 3D принтерах, тренажеры для обучения высококвалифицированных рабочих и деловые игры для обучения административного персонала фирм.

Одним из наиболее важных применений моделей и в практическом, и в историческом аспектах является прогнозирование поведения моделируемых объектов. Создавать новый процесс или образец технологического оборудования для определения технических характеристик экономически нецелесообразно, однако они могут быть предсказаны средствами моделирования.

Наконец, применение моделей также позволяет проводить контролируемые эксперименты в ситуациях, где экспериментирование на реальных объектах было бы практически невозможным или экономически нецелесообразным. Непосредственное экспериментирование с системой обычно состоит в варьировании ее некоторых параметров; при этом, поддерживая все остальные параметры неизменными, наблюдают результаты эксперимента. Для большинства систем, с которыми приходится иметь дело исследователю, это или практически недоступно, или слишком дорого, или и то и другое вместе. Когда ставить эксперимент на реальной системе слишком дорого и (или) невозможно, зачастую может быть построена модель, на которой необходимые эксперименты могут быть проведены с относительной легкостью и недорого. При экспериментировании с моделью сложной системы мы часто можем больше узнать о ее внутренних взаимодействующих факторах, чем могли бы узнать, манипулируя с реальной системой; это становится возможным благодаря измеряемости структурных элементов модели, благодаря тому, что мы можем контролировать ее поведение, легко изменять ее параметры и т. п. Об этом достаточно подробно было изложено в главе 2 настоящей монографии.

Таким образом, модель может служить для достижения одной из двух основных целей: либо описательной, если модель служит для объяснения и (или) лучшего понимания объекта, либо предписывающей, когда модель позволяет предсказать и (или) воспроизвести характеристики объекта, определяющие его поведение. Модель предписывающего типа обычно является и описательной, но не наоборот. Это означает, что предписывающая модель почти всегда является описательной по отношению к моделируемому объекту, но описательная модель не всегда полезна для целей планирования и проектирования. В технике модели служат в качестве вспомогательных средств при разработке новых или более совершенных систем.

Модели вообще и имитационные модели в частности можно классифицировать различными способами. Укажем некоторые типовые

группы моделей, которые могут быть положены в основу системы классификации:

- статические (например, поперечный разрез объекта) и динамические (временные ряды);
- детерминистские и стохастические;
- дискретные и непрерывные;
- натурные, аналоговые, символические.

Имитационные модели удобно представлять в виде системы от точных моделей или макетов реальных объектов до совершенно абстрактных математических моделей: физические – масштабированные – аналоговые – управленческие игры – моделирование на ЭВМ – математические. Модели, находящиеся в начале, часто называются физическими или натурными, потому что они внешне напоминают изучаемую систему. Статические физические модели, такие, например, как макеты расположения фабричных сооружений, помогают нам наглядно представить себе пространственные соотношения. Примером динамической физической модели может служить модель обувной фабрики (в уменьшенном масштабе), предназначенная для изучения нового производства до перехода к рассчитанному на его полную мощность. Отличительной особенностью физической модели является то, что она в некотором смысле «выглядит» подобно моделируемому объекту. Физические модели могут иметь вид полномасштабных макетов (например, образцов обуви). Они могут быть двумерными и трехмерными, их можно использовать для демонстрационных целей или для проведения косвенных экспериментов. Градуированные шаблоны, применяемые при изучении планировки фабричных сооружений, являются примером двумерной физической модели в уменьшенном масштабе, используемой для целей экспериментирования.

Аналоговыми моделями являются модели, в которых свойство реального объекта представляется некоторым другим свойством аналогичного по поведению объекта. Задача иногда решается путем замены одного свойства другим, после чего полученные результаты надо истолковывать применительно к исходным свойствам объекта. Например, изменение напряжения в сети определенной конфигурации может отображать поток товаров (обуви) в некоторой системе и является хорошим примером аналоговой имитационной модели. График представляет собой аналоговую модель другого типа: здесь расстояние отображает такие характеристики объекта, как время, срок службы, количество единиц и т. д. График может также показывать соотношение между различными количественными характеристиками и может предсказывать, как будут изменяться некоторые величины при изменении других величин. Из графика, например, можно получить кривую изменения предельной себестоимости изделия, например, обуви.

Отличающиеся от графиков модели, которые представляют собой различного рода схемы, также являются полезными аналоговыми моделями; обычным примером такого рода схем может служить структурная схема какой-либо организации. Соединенные линиями «квадратики» в такой схеме отражают взаимоподчинение между членами организации ко времени составления схемы, а также каналы информационного обмена между ними. В системных исследованиях также широко применяются схемы технологических процессов, в которых такие разнообразные события, как операции, задержки, проверки, образующиеся запасы и так далее, представлены отображающими движение линиями и символами. Последнее достаточно подробно изложено в п. 2.5 монографии.

По мере продвижения по спектру моделей мы достигнем тех из них, где во взаимодействие вступают люди и машинные компоненты. Такое моделирование часто называется играми (управленческими, планировочными). В так называемых управленческих (деловых) играх человек взаимодействует с информацией, поступающей с выхода вычислительной машины (которая моделирует все другие свойства системы), и принимает решения на основе полученной информации. Решения человека затем снова вводятся в машину в качестве входной информации, которая используется системой. Продолжая этот процесс дальше, мы приходим к полностью машинному моделированию, которое обычно и понимается под термином «моделирование». Примеры, решение подобного рода задач приведены в главе 2 монографии.

К символическим, или математическим, моделям относятся те, в которых для представления процесса или системы используются символы, а не физические устройства. Обычным примером представления систем в этом случае можно считать системы дифференциальных уравнений. Поскольку последние представляют собой наиболее абстрактные и, следовательно, наиболее общие модели, математические модели находят широкое применение в системных исследованиях. Символическая модель является всегда абстрактной идеализацией задачи, и, если хотят, чтобы эта модель позволяла решить задачу, необходимы некоторые упрощающие предположения. Поэтому особое внимание должно быть обращено на то, чтобы модель служила действительным представлением данной задачи.

Все имитационные модели представляют собой модели типа так называемого черного ящика. Это означает, что они обеспечивают выдачу выходного сигнала системы, если на ее взаимодействующие подсистемы поступает входной сигнал. Поэтому для получения необходимой информации или результатов необходимо осуществлять «прогон» имитационных моделей, а не «решать» их. Имитационные модели не способны формировать свое собственное решение в том виде, в каком это имеет место в аналитических моделях, а могут лишь служить в качестве

средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором. Следовательно, имитационное моделирование – не теория, а методология решения проблем. Более того, имитационное моделирование является только одним из нескольких имеющихся в распоряжении системного аналитика важнейших методов решения проблем.

Исходя из изложенного выше, исследователь должен рассмотреть целесообразность применения имитационного моделирования при наличии любого из следующих условий:

- не существует законченной математической постановки данной задачи, либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной математической модели;
- аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;
- аналитические решения существуют, но их реализация невозможна, вследствие недостаточной математической подготовки имеющегося персонала;
- кроме оценки определенных параметров желательно осуществить на имитационной модели наблюдение за ходом процесса в течение определенного периода;
- имитационное моделирование может оказаться единственной возможностью вследствие трудностей постановки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях;
- для долговременного действия систем или процессов может понадобиться сжатие временной шкалы, что позволяет сделать имитационное моделирование.

Дополнительным преимуществом имитационного моделирования можно считать возможности его применения в сфере образования и профессиональной подготовки. Разработка и использование имитационной модели позволяют экспериментатору видеть и «разыгрывать» на модели реальные процессы и ситуации. Это в свою очередь должно в значительной мере помочь ему понять и прочувствовать проблему, что стимулирует процесс поиска инноваций.

Прежде чем начать разработку модели, необходимо понять, что собой представляют структурные элементы, из которых она строится. В самом общем виде структуру модели можно представить математически в виде (4.1):

$$E = f(x_i, y_i), \quad (4.1)$$

где E – результат действия системы; x_i – переменные и параметры, которыми мы можем управлять; y_i – переменные и параметры, которыми мы управлять не можем; f – функциональная зависимость между x_i и y_i , которая определяет величину E .

Это упрощение полезно тем, что оно показывает зависимость функционирования системы как от контролируемых нами, так и от неконтролируемых переменных. Почти каждая модель представляет собой некоторую комбинацию таких составляющих как:

- компоненты,
- переменные,
- параметры,
- функциональные зависимости,
- ограничения,
- целевые функции.

Под компонентами понимают составные части, которые при соответствующем объединении образуют систему. Иногда считают компонентами также элементы системы или её подсистемы.

Параметры – это величины, которые можно выбирать произвольно, в отличие от переменных, которые принимают только значения, определяемые видом данной функции. Параметры, после того как они установлены, являются постоянными величинами, не подлежащими изменению.

В модели системы различают переменные двух видов – экзогенные и эндогенные. Экзогенные переменные называются также входными; это значит, что они порождаются вне системы или являются результатом воздействия внешних причин. Эндогенными переменными называются переменные, возникающие в системе или в результате воздействия внутренних причин. Мы также называем эндогенные переменные переменными состояния (когда они характеризуют состояние или условия, имеющие место в системе) либо выходными-переменными (когда речь идет о выходах системы). Статистики иногда называют экзогенные переменные независимыми, а эндогенные – зависимыми.

Функциональные зависимости описывают поведение переменных и параметров в пределах компонента или выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения, или операционные характеристики, по своей природе являются либо детерминистскими, либо стохастическими. Детерминистские соотношения – это тождества или определения, которые устанавливают зависимость между определенными переменными или параметрами в тех случаях, когда процесс на выходе системы однозначно определяется заданной информацией на входе. В отличие от этого стохастические соотношения представляют собой такие зависимости, которые при заданной входной информации дают на выходе неопределенный результат. Оба типа соотношений обыч-

но, выражаются в форме математического уравнения, которое устанавливает зависимость между эндогенными и экзогенными переменными. Обычно эти соотношения можно строить лишь на основе гипотез или выводить с помощью статистического или математического анализа.

Ограничения представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия распределения и расходования тех или иных средств (ресурсов, запасов времени и т. д.). Они могут вводиться либо разработчиком (искусственные ограничения), либо самой системой вследствие присущих ей свойств (естественные ограничения). Примерами искусственных ограничений могут быть заданные максимальный и минимальный уровни занятости рабочих обувного предприятия или установленная максимальная сумма денежных средств, предназначенных на разработку новой технологии. Большинство технических требований к системам представляет собой набор искусственных ограничений. Естественные ограничения обусловлены самой природой системы. Например, нельзя продать больше обуви, чем предприятие может изготовить.

Целевая функция, или функция критерия – это точное отображение целей или задач системы и необходимых правил оценки их выполнения. Обычно указывают на два типа целей: сохранение и приобретение. Цели сохранения связаны с сохранением или поддержанием каких-либо ресурсов (временных, энергетических, творческих и т. д.) или состояний (комфорта, безопасности, уровня занятости и т. д.). Цели приобретения связаны с приобретением новых ресурсов (прибыли, персонала, заказчиков и т. п.) или достижением определенных состояний, к которым стремится организация или руководитель (расширение рынка, достижение более высокого рейтинга организации и т. п.). Выражение для целевой функции должно быть однозначным определением целей и задач, с которыми должны соизмеряться принимаемые решения. Функция критерия (целевая функция) обычно является органической составной частью модели, и весь процесс манипулирования с моделью направлен на оптимизацию или удовлетворение заданного критерия.

Сходство модели с объектом, который она отображает, называется степенью изоморфизма. Для того чтобы быть изоморфной (т. е. идентичной или сходной по форме), модель должна удовлетворять двум условиям. Во-первых, должно существовать взаимно однозначное соответствие между элементами модели и элементами представляемого объекта. Во-вторых, должны быть сохранены точные соотношения или взаимодействия между элементами. Степень изоморфизма модели относительна, и большинство моделей скорее гомоморфны, чем изоморфны. Под гомоморфизмом понимают сходство по форме при различии основных структур, причем имеет место лишь поверхностное подобие между различными группами элементов модели и объекта.

Для разработки гомоморфной модели обычно разбивают систему на некоторое число более мелких частей. Это делается для того, чтобы должным образом интерпретировать их, то есть произвести требуемый анализ задачи. Такой способ действий зависит от наличия частей или элементов, которые в первом приближении не зависят друг от друга или взаимодействуют между собой относительно простым образом. Так, мы можем сначала проанализировать эксплуатационные свойства материалов (деталей) обуви, проверяя последовательно детали верха и низа, хотя эти узлы не полностью независимы.

С такого рода анализом при построении модели близко связан процесс упрощения реальной системы. Например, мы часто предполагаем, что между двумя переменными имеет место линейная зависимость, хотя можем подозревать или даже знать, что истинная зависимость между ними нелинейна. Мы предполагаем, что по крайней мере в ограниченном диапазоне значений переменных такое приближение будет удовлетворительным. В большинстве практических случаев такие приближения или упрощения достаточно хороши и дают полезные результаты.

Другим аспектом анализа является абстракция – понятие, которое в отличие от упрощения не так легко объяснить и осмыслить. Абстракция содержит или сосредоточивает в себе существенные качества или черты поведения объекта (вещи), но не обязательно в той же форме и столь детально, как это имеет место в оригинале. Большинство моделей – это абстракции в том смысле, что они стремятся представить качества и поведение моделируемого объекта в форме или способом, отличающимися от их действительной реализации. Так, в схеме организации работ сборочного цеха обувного предприятия мы пытаемся в абстрактной форме отразить трудовые взаимоотношения между различными группами работающих или отдельными членами таких групп.

После того как мы проанализировали и промоделировали части или элементы системы, мы приступаем к их объединению в единое целое. Иными словами, мы можем путем синтеза относительно простых частей сконструировать некоторое приближение к сложной реальной ситуации. Здесь важно предусмотреть два момента. Во-первых, используемые для синтеза части должны быть выбраны корректно, и, во-вторых, должно быть корректно предсказано их взаимодействие. Если все это выполнено должным образом, то эти процессы анализа, абстракции, упрощения и синтеза в итоге приведут к созданию модели, которая аппроксимирует поведение изучаемой реальной системы. Необходимо помнить, однако, что модель является только приближением (аппроксимацией), а поэтому не будет себя вести в точности, как реальный объект. Мы оптимизируем модель, но не реальную систему. Вопрос о том, существует ли действительно взаимосвязь между характери-

ками нашей модели и реальностью, зависит от того, насколько правильно и корректно мы провели наши процессы анализа, абстракции, упрощения и синтеза.

До тех пор, пока модель поддастся математическому описанию, аналитик может добиваться все больших ее улучшений или усложнять исходные предположения. Когда же модель становится «непослушной», то есть неразрешимой, разработчик прибегает к её упрощению и использованию более глубокой абстракции.

Таким образом, искусство моделирования состоит в способности анализировать проблему, выделять из нее путем абстракции ее существенные черты, выбирать и должным образом модифицировать основные предположения, характеризующие систему, а затем отрабатывать и совершенствовать модель до тех пор, пока она не станет давать полезные для практики результаты. Обычно формулируют это в виде семи указаний, согласно которым надлежит:

- разложить общую задачу исследования системы на ряд более простых задач;
- четко сформулировать цели;
- подыскать аналогии;
- рассмотреть специальный численный пример, соответствующий данной задаче;
- выбрать определенные обозначения;
- записать очевидные соотношения;
- если полученная модель поддается математическому описанию, расширить ее. В противном случае упростить.

Вообще говоря, упростить модель можно, выполнив одну из перечисленных ниже операций (в то время как для расширения модели требуется как раз обратное):

- превратить переменные величины в константы;
- исключить некоторые переменные или объединить их;
- предположить линейную зависимость между исследуемыми величинами;
- ввести более жесткие предположения и ограничения;
- наложить на систему более жесткие граничные условия.

Эволюционный характер процесса конструирования модели неизбежен и желателен, поэтому мы не должны думать, что этот процесс сводится к построению единственного базового варианта модели. По мере того как достигаются цели и решаются поставленные задачи, ставятся новые задачи либо возникает необходимость достижения большего соответствия между моделью и реальным объектом, что приводит к пересмотру модели и все лучшим ее реализациям. Этот процесс, при котором начинают с построения простой модели, а затем усложняют и от-

рабатывают ее, имеет ряд преимуществ с точки зрения успешного завершения разработки модели.

Поскольку имитация связана с решением реальных задач, мы должны быть уверены, что конечные результаты точно отражают истинное положение вещей. Следовательно, модель, которая может нам дать абсурдные результаты, должна быть немедленно взята под подозрение. Любая модель должна быть оценена по максимальным пределам изменений величины ее параметров и переменных. Если модель дает нелепые ответы на поставленные вопросы, то нам придется снова возвратиться к истокам. Модель также должна быть способна отвечать на вопросы типа «а что, если...», поскольку это именно те вопросы, которые для нас наиболее полезны, так как они способствуют более глубокому пониманию проблемы и поиску лучших способов оценки наших возможных действий.

Приняв во внимание отмеченное выше, можно сформулировать конкретные критерии, которым должна удовлетворять хорошая модель. Такая модель должна быть:

- простой и понятной пользователю;
- целенаправленной;
- надежной в смысле гарантии от абсурдных ответов;
- удобной в управлении и обращении, то есть общение с ней должно быть легким;
- полной с точки зрения возможностей решения главных задач; адаптивной, позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные;
- допускающей постепенные изменения в том смысле, что, будучи вначале простой, она может во взаимодействии с пользователем становиться все более сложной.

Исходя из того, что имитация должна применяться для исследования реальных систем, можно выделить следующие этапы этого процесса:

- определение системы – установление границ, ограничений и измерителей эффективности системы, подлежащей изучению;
- формулирование модели – переход от реальной системы к некоторой логической схеме (абстрагирование);
- подготовка данных – отбор данных, необходимых для построения модели, и представление их в соответствующей форме;
- трансляция модели – описание модели на языке, приемлемом для используемой ЭВМ;
- оценка адекватности – повышение до приемлемого уровня степени уверенности, с которой можно судить относительно корректности выводов о реальной системе, полученных на основании обращения к модели;

- стратегическое планирование – планирование эксперимента, который должен дать необходимую информацию;
- тактическое планирование – определение способа проведения каждой серии испытаний, предусмотренных планом эксперимента;
- экспериментирование – процесс осуществления имитации с целью получения желаемых данных и анализа чувствительности;
- интерпретация – построение выводов по данным, полученным путем имитации;
- реализация – практическое использование модели и (или) результатов моделирования;
- документирование – регистрация хода осуществления проекта и его результатов, а также документирование процесса создания и использования модели.

Перечисленные этапы создания и использования модели определены в предположении, что задача может быть решена наилучшим образом с помощью имитационного моделирования. Несомненно, что в том случае, когда задача может быть сведена к простой модели и решена аналитически, нет никакой нужды в имитации. Следует изыскивать все возможные средства, подходящие для решения данной конкретной задачи, стремясь при этом к оптимальному сочетанию стоимости и желаемых результатов. Прежде чем приступить к оценке возможностей имитации, следует убедиться, что простая аналитическая модель для данного случая не пригодна.

Эйнштейн как-то сказал, что правильная постановка задачи даже более важна, чем ее решение. Для того чтобы найти приемлемое или оптимальное решение задачи, необходимо сначала знать, в чем она состоит.

Важной частью постановки задачи является определение характеристик системы, подлежащей изучению. Все системы – это подсистемы других более крупных систем. Поэтому мы должны определить цели и ограничения, которые нам надлежит учитывать в процессе абстрагирования или построения формальной модели. Говорят, что проблема может быть определена как состояние неудовлетворенной потребности. Ситуация становится проблемной, когда действие какой-либо системы не дает желаемых результатов.

Если желаемые результаты не достигаются, возникает потребность модифицировать систему или окружающие условия, в которых она функционирует. Математически можно определить проблему следующим образом (4.2):

$$P_t = |D_t - A_t|, \quad (4.2)$$

где P_t – состояние проблемы в момент времени t ; D_t – желаемое состояние в момент времени t ; A_t – действительное состояние в момент времени t .

Поэтому первый шаг в определении характеристик системы, подлежащей изучению, состоит в проведении анализа потребностей той среды, для которой предназначается система. Этот анализ начинается с определения целей и граничных условий (то есть того, что является и что не является частью системы, подлежащей изучению). Нас интересуют здесь две функциональные границы, или два интерфейса: граница, отделяющая нашу проблему от всего остального мира, и граница между системой и окружающей средой (то есть что мы считаем составной частью системы и что составляет среду, в которой эта система работает). Мы можем описать, что происходит в пределах самой системы, разными способами. Если бы мы не остановились на каком-то наборе элементов и взаимосвязей, которые надлежит изучить, имея в виду вполне определенную цель, перед нами было бы бесконечное число связей и сочетаний.

Очертив цели и задачи исследования и определив границы системы, мы далее сводим реальную систему к логической блок-схеме или к статической модели. Мы хотим построить такую модель реальной системы, которая, с одной стороны, не будет столь упрощена, что станет тривиальной, а с другой – не будет столь детализирована, что станет громоздкой в обращении и чрезмерно дорогой. Опасность, которая подстерегает нас при построении логической блок-схемы реально действующей системы, заключается в том, что модель имеет тенденцию обрастать деталями и элементами, которые порой ничего не вносят в понимание данной задачи.

Поэтому почти всегда наблюдается тенденция имитировать избыточное число деталей. Во избежание такого положения следует строить модель, ориентированную на решение вопросов, на которые требуется найти ответы, а не имитировать реальную систему во всех подробностях. Закон Парето гласит, что в каждой группе или совокупности существует жизненно важное меньшинство и тривиальное большинство. Ничего действительно важного не происходит, пока не затронуто жизненно важное меньшинство. Вот почему модель должна отображать только те аспекты системы, которые соответствуют задачам исследования.

Во многих исследованиях моделирование может на этом закончиться. В большом числе случаев в результате точного и последовательного описания ситуаций становятся очевидны дефекты и «узкие места» системы, так что необходимость продолжать исследования с помощью имитационных методов отпадает.

Витебский государственный университет

Каждое исследование охватывает и сбор данных, под которым обычно понимают получение каких-то численных характеристик. Однако это только одна сторона сбора данных. Системного аналитика должны интересовать входные и выходные данные изучаемой системы, а также информация о различных компонентах системы, взаимозависимостях и соотношениях между ними. Поэтому он заинтересован в сборе как количественных, так и качественных данных; он должен решить, какие из них необходимы, насколько они соответствуют поставленной задаче и как собрать всю эту информацию.

Создавая стохастическую имитационную модель, всегда приходится решать, следует ли в модели использовать имеющиеся эмпирические данные непосредственно или целесообразно использовать теоретико-вероятностные или частотные распределения. Этот выбор имеет фундаментальное значение по трем причинам. Во-первых, использование необработанных эмпирических данных означает, что, как бы мы ни старались, можно имитировать только прошлое. Использование данных за один год отобразит работу системы за этот год и не обязательно скажет нам что-либо об ожидаемых особенностях работы системы в будущем. При этом возможными будут считаться только те события, которые уже происходили. Одно дело предполагать, что данное распределение в своей основной форме будет неизменным во времени, и совсем иное дело считать, что характерные особенности данного года будут всегда повторяться. Во-вторых, в общем случае применение теоретических частотных или вероятностных распределений с учетом требований к машинному времени и памяти более эффективно, чем использование известных данных для получения случайных вариационных рядов, необходимых в работе с моделью. В-третьих, обязательно, чтобы аналитик-разработчик модели определил ее чувствительность к изменению вида используемых вероятностных распределений и значений параметров. Иными словами, крайне важны испытания модели на чувствительность конечных результатов к изменению исходных данных. Таким образом, решения относительно пригодности данных для использования, их достоверности, формы представления, степени соответствия теоретическим распределениям и прошлым результатам функционирования системы – все это в сильной степени влияет на успех эксперимента по имитационному моделированию и не является плодом чисто теоретических умозаключений.

Проверка модели представляет собой процесс, в ходе которого достигается приемлемый уровень уверенности пользователя в том, что любой вывод о поведении системы, сделанный на основе моделирования, будет правильным. Невозможно доказать, что та или иная имитация является правильным или «правдивым» отображением реальной

системы. Нас волнует обычно не справедливость самой структуры модели, а ее функциональная полезность.

Проверка модели – этап чрезвычайно важный, поскольку имитационные модели вызывают впечатление реальности, и как разработчики моделей, так и их пользователи легко проникаются к ним доверием.

Такого процесса, как «испытание» правильности модели, не существует. Для этого могут быть использованы проверки трех видов. Применяя первую из них, мы должны убедиться, что модель верна, так сказать, в первом приближении. Например, следует поставить такой вопрос: не будет ли модель давать абсурдные ответы, если её параметры будут принимать предельные значения? Мы должны также убедиться в том, что результаты, которые мы получаем, по-видимому, имеют смысл. Последнее может быть выполнено для моделей существующих систем методом, предложенным Тьюрингом. Он состоит в том, что людей, непосредственно связанных с работой реальной системы, просят сравнить результаты, полученные имитирующим устройством, с данными, получаемыми на выходе реальной системы. Для того чтобы такая проверка была несколько более строгой в научном отношении, мы можем предложить экспертам указать на различия между несколькими выборками имитированных данных и аналогичными выборками, полученными в реальной системе.

Второй метод оценки адекватности модели состоит в проверке исходных предположений, и третий – в проверке преобразований информации от входа к выходу. Последние два метода могут привести к необходимости использовать статистические выборки для оценки средних значений и дисперсий, дисперсионный анализ, регрессионный анализ, факторный анализ, спектральный анализ, автокорреляцию, метод проверки с помощью критерия «хи-квадрат» и непараметрические проверки. Поскольку каждый из этих статистических методов основан на некоторых допущениях, то при использовании каждого из них возникают вопросы, связанные с оценкой адекватности. Некоторые статистические испытания требуют меньшего количества допущений, чем другие, но в общем эффективность проверки убывает по мере того, как исходные ограничения ослабляются.

Обычно делят способы оценки имитационной модели на три категории: верификацию, используя которую экспериментатор хочет убедиться, что модель ведет себя так, как было задумано; оценку адекватности – проверку соответствия между поведением модели и поведением реальной системы; проблемный анализ – формулирование статистически значимых выводов, на основе данных, полученных путем машинного моделирования. Для осуществления этой оценки часто бывает необходимо предпринять целый ряд действий, начиная от поэтапного испытания модели на компьютере до проведения испытаний. Как бы то ни

было, сами эти испытания связаны с трудностями, присущими эмпирическому исследованию; к числу таких трудностей относятся следующие ситуации: высокая стоимость получения данных вынуждает пользоваться небольшими выборками; данные чрезмерно разделены на различные группы и используются данные, достоверность которых сомнительна.

Таким образом, вопрос оценки адекватности модели имеет две стороны: приобретение уверенности в том, что модель ведет себя таким же образом, как и реальная система; установление того, что выводы, полученные из экспериментов с моделью, справедливы и корректны. Оба эти момента в совокупности сводятся к обычной задаче нахождения равновесия между стоимостью и временем каждого действия, связанного с оценкой адекватности модели, ценностью получаемой все в больших количествах информации и последствиями ошибочных заключений.

Не нужно также забывать о стратегическом планировании, то есть о том, как планировать эксперимент, который дает желаемую информацию. Планирование экспериментов достаточно широко представлено в настоящей монографии. Цель использования планируемых экспериментов двоякая: они обеспечивают экономию с точки зрения уменьшения числа требуемых экспериментальных проверок, и они задают структурную основу обучения самого исследователя.

Цель любого экспериментального исследования, включая моделирование, заключается в том, чтобы больше узнать об изучаемой системе. Эксперимент представляет собой процесс наблюдения и анализа, который позволяет получить информацию, необходимую для принятия решений. План эксперимента даст возможность выбрать метод сбора исходной информации, содержащей необходимые сведения о явлении или системе, которые позволяют сделать важные выводы о поведении изучаемого объекта. В экспериментальном исследовании можно выделить два типа задач: определение сочетания параметров, которое оптимизирует переменную отклика, и (или) объяснение соотношения между переменной отклика и контролируруемыми в системе факторами. Для обеих этих задач разработано и доступно для использования множество планов постановки экспериментов.

Далее, чтобы обучение было успешным, требуется полное использование накопленных ранее знаний, что в свою очередь необходимо при выдвижении возможных гипотез, подлежащих проверке, и стратегий, подлежащих оценке. Хороший план эксперимента позволяет разработать стратегию сбора исходных данных, полезных для такого синтеза и выдвижения гипотез. Существующие в настоящее время методы планирования экспериментов и аналитические методы очень хорошо удовлетворяют нашим потребностям. Математические описания, сопутствующие

щие планированию эксперимента, предоставляют нам много возможных альтернатив.

Методы извлечения информации, содержащейся в планах эксперимента, хорошо описаны и обычно легко осуществимы. Таким образом, планирование эксперимента может в значительной мере облегчить синтез новых сведений и выдвижение новых идей и в то же время уменьшить затраты времени, усилий и денежных средств.

Тактическое планирование, вообще говоря, связано с вопросами эффективности и определением способов проведения испытаний, намеченных планом эксперимента. Тактическое планирование прежде всего связано с решением задач двух типов: определением начальных условий в той мере, в какой они влияют на достижение установившегося режима, и возможно большим уменьшением дисперсии решений при одновременном сокращении необходимых размеров выборки.

Первая задача (то есть определение начальных условий и их влияния на достижение установившегося режима) возникает вследствие искусственного характера функционирования модели. В отличие от реального объекта, который представлен моделью, сама имитационная модель работает эпизодически. Это значит, что экспериментатор запускает модель, делает свои наблюдения и «останавливает» ее до следующего прогона. Всякий раз, когда начинается прогон, модели требуется определенное время для достижения условий равновесия, которые соответствуют условиям функционирования реальной системы. Таким образом, начальный период работы модели искажается из-за действия начальных условий запуска модели. Для решения задачи, во-первых, необходимо исключить из рассмотрения данные, относящиеся к некоторой части начального периода, и, во-вторых, следует выбирать такие начальные условия, которые уменьшают время, необходимое для достижения установившегося режима. Разумно выбранные начальные условия могут уменьшить, но не полностью свести к нулю время переходного процесса. Поэтому дополнительно необходимо определить время начала измерений.

Вторая задача тактического планирования связана с необходимостью оценить точность результатов эксперимента и степень надежности заключений или выводов. Это немедленно ставит нас лицом к лицу с такими вопросами, как изменяемость условий, размер выборки и повторяемость результатов. В любом эксперименте из ограниченного объема полученных данных мы стремимся извлечь как можно больше информации. Для уменьшения разброса характеристик было предложено несколько методов, которые могут существенно снизить требуемый размер выборки и число повторений эксперимента. Использование очень больших выборок может в конечном счете решить все тактические проблемы имитационного моделирования, но обычно ценой больших за-

трат времени, необходимого для последующего анализа результатов. Чем сложнее имитационная модель, тем более важен этап тактического планирования, выполняемого перед проведением экспериментов.

После завершения этапов разработки и планирования осуществляем прогон модели с целью получения желаемой информации. На этом этапе мы начинаем находить недостатки и просчеты в нашем планировании и повторяем наши усилия до тех пор, пока не достигнем первоначально поставленных целей.

Одним из наиболее важных понятий в имитационном моделировании является анализ чувствительности. Под ним мы понимаем определение чувствительности наших окончательных результатов к изменению используемых значений параметров. Анализ чувствительности обычно заключается в том, что величины параметров систематически варьируются в некоторых представляющих интерес пределах и при этом наблюдается влияние этих вариаций на характеристики модели. Почти в любой имитационной модели многие переменные рождаются на основании весьма сомнительных данных. Во многих случаях их значения могут быть определены только на основе предположений опытного персонала или с помощью весьма поверхностного анализа некоторого минимального объема данных. Поэтому чрезвычайно важно определить степень чувствительности результатов относительно выбранных для исследования величин. Если при незначительных изменениях величин некоторых параметров результаты меняются очень сильно, это может служить основанием для затраты большего количества времени и средств с целью получения более точных оценок. В то же время, если конечные результаты при изменениях величин параметров в широких пределах не изменяются, то дальнейшее экспериментирование в этом направлении неоправданно и не является необходимым.

Имитационное моделирование идеально подходит для анализа чувствительности благодаря тому, что экспериментатор здесь может успешно контролировать весь ход эксперимента. В отличие от экспериментирования с реальными системами пользователь модели, располагая возможностями абсолютного контроля над своей моделью, может варьировать по желанию любой параметр и судить о поведении модели по наблюдаемым результатам.

Последние два элемента, которые должны быть включены в любое задание по моделированию, – это реализация замысла и документирование. Никакое задание на моделирование не может считаться завершенным до тех пор, пока оно не будет принято, понято и использовано. Наибольшие неудачи, постигавшие специалистов, занимающихся проблемами управления, были связаны с восприятием и использованием их работ.

Известно, что распределение времени проектирования модели представляется следующим образом: 25 % на постановку задачи, 20 % на сбор и анализ данных, 30 % на разработку модели и 25 % на реализацию.

Документирование близко связано с реализацией. Тщательное и полное документирование процессов разработки и экспериментирования с моделью может значительно увеличить срок ее жизни и вероятность успешной реализации. Хорошо организованное документирование облегчает модификацию модели и обеспечивает возможность ее использования, если даже служб, занимавшихся разработкой модели, больше не существует. Кроме этого, тщательная документация может помочь разработчику модели учиться на своих ошибках и, быть может, послужит источником для создания подпрограмм, которые будут снова использованы в будущих проектах.

4.2 Методологический подход к оценке средств измерения формоустойчивости обуви

Обувь – это достаточно сложный материальный объект, который должен обладать определенными потребительскими свойствами. Эти свойства обуви проявляются в процессе носки изделия. К одним из основных свойств обуви, определяющих ее качество, относится формоустойчивость. Обувь должна сохранять свою форму и размеры после снятия с затяжной колодки и хранения, а также после приформовывания к стопе в процессе носки.

В процессе производства обуви необходимо стремиться к снятию пластической деформации и максимальному снижению остаточных напряжений в материалах заготовки верха обуви. Это первый этап оценки формоустойчивости обуви – производственный. На его основе можно предположить, что если удалось качественно провести процесс формования и конструкция заготовки была правильно спроектирована с учетом упругопластических свойств материалов, то формоустойчивость обуви будет достаточная.

В первый период носки обувь приформовывается к стопе и изменяет свою форму и размеры на определенную величину, связанную с особенностями физиологии и биомеханики стопы. Эта так называемая новая форма должна быть длительное время устойчива к комплексным воздействиям стопы и окружающей среды. Таким образом, второй этап оценки формоустойчивости – эксплуатационный.

Как уже отмечалось выше, автором предложено термин «формоустойчивость» разделить на статическую – при производстве обуви, ди-

намическую – при ее носке. Следует отметить неразрывность и непрерывность понятия формоустойчивость, как относящегося к одному изделию [4.2]. Оценку формоустойчивости обуви целесообразно проводить при ее производстве, на стадии подготовительных операций, что позволит не только оценить качество изготовления изделия, но и прогнозировать его эксплуатационные свойства.

Однако до настоящего времени не разработаны методы и средства измерений, позволяющие адекватно оценить динамическую формоустойчивость обуви. На это имеется ряд причин как объективного, так субъективного характера: сложность определения величины контактного взаимодействия системы «стопа – обувь», разночтение авторов в величине допустимого давления обуви на стопу и т. д.

В ряде проводимых автором работ было установлено, что основными факторами, влияющими на формоустойчивость обуви в процессе носки, являются механические воздействия стопы [4.2]. Таким образом, является актуальным рассмотреть механизм, показывающий взаимодействие системы «стопа – обувь», как основу для разработки методов и средств измерения формоустойчивости материалов и обуви с целью прогнозирования эксплуатационных свойств изделия на стадии подготовки производства.

подавляющее большинство конструкций обуви можно представить в виде оболочек. Из всего многообразия возможных смысловых значений этого слова нас будет интересовать только то, которое связано с понятием оболочки как вполне определенной конструкции, способной выполнять заданные функции: силовые, технологические, эксплуатационные и, несомненно, эстетические.

С понятием оболочки в первую очередь ассоциируется представление о геометрической поверхности. В науке о прочности материалов и конструкций – механике деформируемого твердого тела – классификация объектов основана на особенностях их геометрической формы, определяющий признак которой связан с соотношением характерных размеров. Принято различать и особо выделять элементы конструкций, один размер которых намного больше двух других. К ним относятся оболочки [4.3].

С этих позиций оболочка – это пространственная конструкция, ограниченная двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми, называемое толщиной, мало по сравнению с остальными размерами [4.4]. Значит, оболочка – прежде всего конструкция тонкостенная. По указанным признакам в разряд оболочек, кроме крупных промышленных объектов и изделий, могут быть отнесены одежда, обувь и т. д. Если оболочка, кроме названных выше двух поверхностей, не имеет других границ, то она называется замкнутой. Однако из всякой замкнутой оболочки можно выделить часть, которая будет незамкнутой.

Оболочка как геометрическая поверхность в любой точке характеризуется двумя взаимно перпендикулярными радиусами кривизны, которые называются главными радиусами кривизны и обозначаются R_1 и R_2 .

В теоретических исследованиях принято представлять оболочку ее срединной поверхностью, которую наделяют всеми геометрическими и физическими свойствами, присущими ее толщине. Таким образом, основными характеристиками оболочки как геометрической фигуры являются радиусы кривизны ее поверхности, толщина и габариты.

Многообразные оболочечные системы в технике могут быть систематизированы по разным признакам. Попробуем «упорядочить» оболочечную «иерархию» в приложении к обуви с позиций геометрических, силовых и конструктивных отличительных признаков.

Один из важнейших показателей, характеризующих свойства оболочки, – отношение ее толщины, которую обычно обозначают буквой h , к радиусу R . В соответствии с этим отношением принято различать тонкие и толстые оболочки. Тонкими, или тонкостенными, оболочками принято считать такие, у которых отношение толщины к радиусу $1 : 20$ и меньше.

Среди бесконечного многообразия геометрических форм особо выделяют оболочки вращения – цилиндрические, сферические, конические, торообразные и так далее, которые вследствие ряда неоспоримых преимуществ наиболее часто используются в конструктивных решениях. Подобные поверхности получают путем вращения кривых вокруг прямолинейной оси.

Оболочку вращения можно рассечь плоскостями, проходящими через ее ось и перпендикулярно к ней. Кривые на поверхности, являющиеся следом пересечения оболочки с плоскостями, проходящими через ось вращения, называются меридианами. Плоскости, перпендикулярные к оси оболочки, пересекают поверхность вращения по параллельным кругам.

Таким образом, обувь как конструкцию можно представить в виде оболочек вращения, то есть носочная часть – полусфера, геленочная – тор, пяточная – эллипсоид, а сама обувь – как «резервуар» испытываемый внутреннее давление, развиваемое стопой.

Среди многочисленных функций, выполняемых оболочками, например в машинах и сооружениях, изделиях легкой промышленности, в первую очередь следует назвать силовые функции и функции разделения. Как силовые конструкции оболочки получили широкое распространение. Оболочки также имеют большие преимущества как изолирующие элементы, воспринимающие поверхностные и краевые нагрузки. Последнее как раз и приемлемо для описания таких конструкций как

обувь.

Говоря о функциях оболочек, нельзя не назвать активно разрабатываемые в последнее время конструкции, обладающие заданными свойствами по отношению к окружающей среде: полупроницаемые мембраны, самоподстраивающиеся оболочки. В подавляющем большинстве случаев четкого разделения функций, выполняемых оболочкой, дать нельзя. Оболочки – это структуры с явно выраженными тенденциями к совмещению функций конструкций. И все же среди самых разнообразных свойств следует в первую очередь назвать прочность и устойчивость оболочек, без которой невозможно их существование.

При расчете оболочек принято считать, что материалы представляют собой сплошную однородную среду независимо от особенностей их микроструктуры. С понятием однородности материала связано понятие его сплошности: материал рассматривается как среда, непрерывно заполняющая отведенный ей объем. Для объяснения указанных свойств существует гипотеза о сплошности и однородности материала. Эта гипотеза играет исключительно важную роль в механике деформируемого твердого тела, так как позволяет применить к исследованию прочности конструкций аппарат высшей математики – анализ бесконечно малых величин, что открывает широкие возможности для обобщения, «унификации» и «стандартизации». Именно на основе сформулированной гипотезы и концепции упругости материала в точке для бесконечно малой площадки внутри тела вводится одно из важнейших понятий в механике – напряжение.

В самом деле, можно записать соотношение для более общей характеристики состояния тела в любой точке, если обозначить действующую силу буквой F , а площадь поперечного сечения S , то напряжение σ есть $\sigma = F/S$. Напряжение характеризует меру воздействия внешних нагрузок на атомы и молекулы, составляющие материал, которые вынуждены под действием этих сил менять свое положение, сближаясь или удаляясь друг от друга.

На любом этапе нагружения материала при упругом его поведении отношение σ к ε остается постоянной величиной, то есть σ и ε связаны между собой зависимостью $\sigma/\varepsilon = E$. Величина E называется модулем упругости.

Именно это положение является основополагающим в сохранении формы обуви в процессе ее носки, то есть в последующий период – после приформовывания к стопе. Таким образом, залогом длительного периода сохранения формы верха обуви является устойчивость материала к действию повторяющихся небольших по величине напряжений, вызываемых стопой при ходьбе. То есть материалы верха обуви в этот период носки должны подчиняться закону Гука.

Отсюда становится ясно, что одно и то же напряжение вызывает

у разных материалов различные удлинения. Следовательно, чтобы в соответствии с законом Гука произведение $\sigma \times \varepsilon$ оставалось постоянным, каждый материал должен иметь свою константу E . Она-то и определяет способность материала упруго сопротивляться действию внешних сил. Чем больше модуль упругости, тем меньшие деформации возникают в материале при одном и том же уровне действующих напряжений.

На основании этого можно составить наглядное представление о таком важнейшем свойстве материалов, как жесткость. Жесткость материала – его модуль упругости – можно вычислить, зная напряжение и вызванное им удлинение. Из закона Гука следует также, что модуль упругости можно рассматривать как напряжение, при котором удлинение при нагружении достигнет первоначальной длины образца. Такие деформации выдерживают, например, резина, некоторые виды искусственных кож, трикотаж и т. д.

Способность элемента конструкции сопротивляться растяжению – сжатию, то есть его жесткость, характеризует не только модуль упругости E , но и площадь поперечного сечения S , а полная жесткость сечения определяется их произведением.

Приведенные рассуждения можно обобщить следующим выводом. Если модуль упругости E (как и предел прочности σ) определяет механические показатели материала, а S – площадь сечения, то жесткость сечения является комплексной характеристикой, учитывающей механико-геометрические свойства конструкции.

Использование цилиндрических оболочек в технике, как правило, связано с нагружением их в процессе эксплуатации внутренним избыточным давлением. Очевидно, в силу осесимметричности контура поперечного сечения резервуара именно этот вид нагружения наиболее рациональный, так как в оболочке реализуется безмоментное напряженное состояние, а, следовательно, и наиболее полно используется материал конструкции. С указанной симметрией связан и характер разрушения цилиндрической оболочки при достижении предельного значения внутреннего давления. С прикладной точки зрения процесс разрушения обуви, рассматриваемой как оболочка нас не интересует, но с позиции теоретического подхода – имеет смысл.

На рисунке 4.1 *a* представлен в качестве «модели» обуви простейший цилиндрический резервуар, закрытый с торцов двумя полусферами. Рассечем его двумя плоскостями. Одна из них проходит через ось симметрии емкости, а другая перпендикулярна ей. Рассмотрим последовательно каждую из оболочек. Влияние отброшенной части необходимо заменить напряжениями. Следует выяснить, какие усилия по месту воображаемого разреза нужно приложить, чтобы остав-

шаяся часть работала как цельная оболочка.

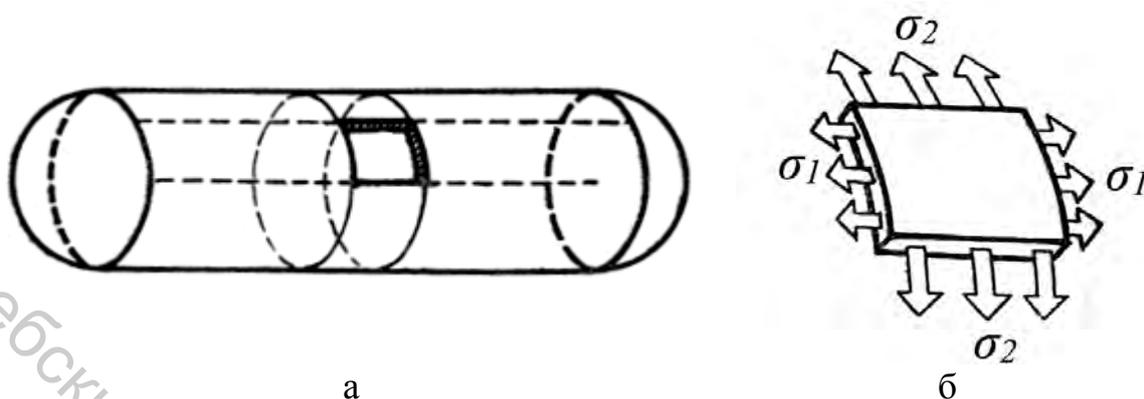


Рисунок 4.1 – Цилиндрический резервуар (а) и напряжение в его стенках (б)

Конкретизируем размеры конструкции, обозначив через R , L и h соответственно радиус, длину и толщину резервуара, а внутреннее давление – через q .

Для определения напряжений, возникающих в сечениях, перпендикулярных оси цилиндра, рассмотрим равновесное состояние полуоболочки.

Внутреннее давление стремится оторвать одну половину от другой с усилием $T_1 = q\pi R^2$.

Это наглядно демонстрирует рисунок 4.2. В стенке оболочки возникнут равномерно распределенные напряжения σ_1 , которые определяют результирующее усилие $N_1 = \sigma_1 \cdot 2\pi R h$.

Из условия равновесия рассматриваемой полуоболочки следует, что $T_1 = N_1$ или $q\pi R^2 = \sigma_1 \cdot 2\pi R h$.

Из этого равенства находим величину возникающих напряжений

$$\sigma_1 = qR / 2h. \quad (4.3)$$

Рассмотрим равновесное состояние полуоболочки, отсеченной плоскостью, проходящей через ось симметрии. Усилие T_2 (рисунок 4.3), стремящееся оторвать одну полуоболочку от другой, определяется произведением давления q на площадь диаметрального сечения $2RL$, то есть $T_2 = q2RL$.

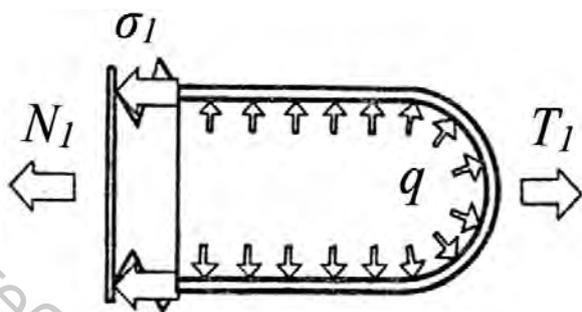


Рисунок 4.2 – Условие равновесия при определении продольных напряжений

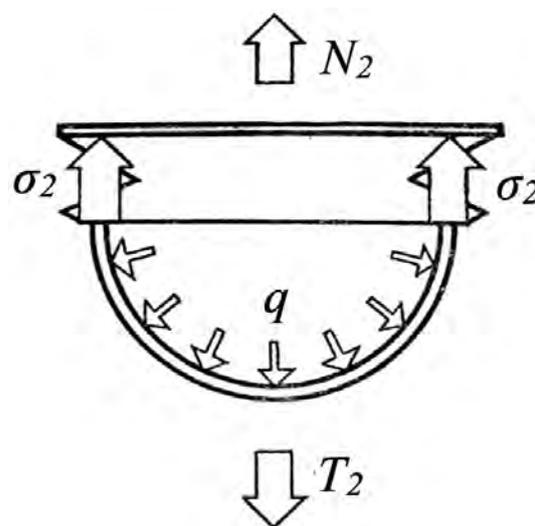


Рисунок 4.3 – Условие равновесия при определении окружных напряжений

В справедливости сказанного легко убедиться, если вместо оболочку рассмотреть ее аналог (рисунок 4.4 а), в котором действие отображенной части имитируется прямоугольной плитой площадью $2RL$, связанной с оболочкой упругой герметичной связью. Например, это фрагмент пучковой части обуви (рисунок 4.4 б).

Напряжения в стенке сосуда определяют уравнивающее усилие N_2 , заменяющее действие отброшенной части $N_2 = \sigma_2 2Lh$.

При определении усилий T_2 и N_2 не принимались во внимание торцевые участки, ограниченные полусферами. Однако из-за этого строгость проводимых выкладок не нарушается, поскольку заранее размеры не были оговорены. Предполагается, что длина оболочки произвольна, и всегда с достаточной степенью точности можно выделить среднюю часть резервуара, для которой справедливы приведенные зависимости. Все же особенности, связанные с деформированием в зонах, прилегающих к днищам, должны быть учтены при проведении специальных более сложных расчетов.

Условия равновесия системы, показанной на рисунке 4.3, будут выполняться, очевидно, если $T_2 = N_2$, а, следовательно, $q \cdot 2RL = \sigma_2 \cdot 2Lh$, откуда находим действующие напряжения по формуле

$$\sigma_2 = qR/h. \quad (4.4)$$

Из полученных формул следует, что возникающие напряжения не зависят от длины цилиндрической оболочки. Главный же результат проведенных расчетов заключается в том, что в стенке цилиндрического ре-

зержуара возникают напряжения, действующие в двух взаимно перпендикулярных направлениях: в кольцевых σ_1 и в меридиональных σ_2 . Такое напряженное состояние принято называть двухосным или плоским.

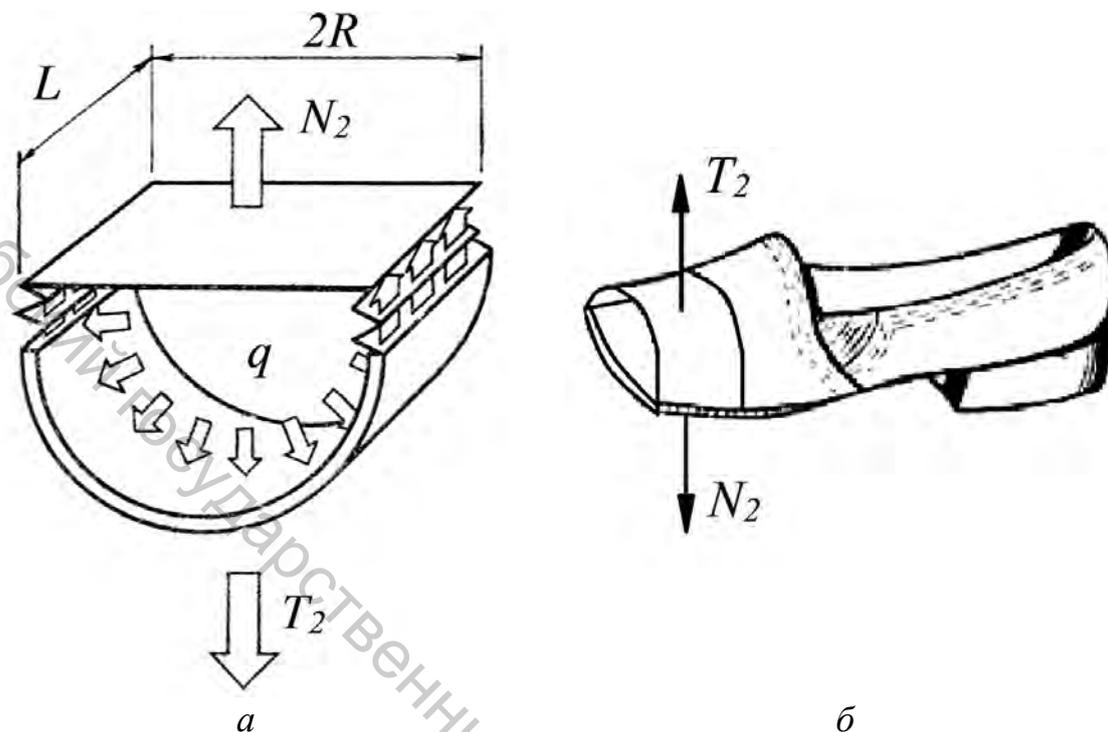


Рисунок 4.4 – Сила, действующая на оболочку в направлении образующей

Если теперь мысленно представить элемент оболочки, выделенный двумя меридиональными и двумя параллельными сечениями (см. рис. 4.1 а), то он будет напряжен так, как показано на рисунок 4.1 б. Строго говоря, на стенки оболочки действуют усилия и в направлении, перпендикулярном к поверхности, однако их величина в R/h раз меньше, чем наибольшие напряжения σ_1 и σ_2 , а это значит, что напряжения σ_3 можно не принимать во внимание при расчетах на прочность. Из сравнения выражений для σ_1 и σ_2 следует, что кольцевые напряжения в стенке цилиндрического резервуара в 2 раза больше меридиональных.

Кстати, заметим, что кольцевые напряжения σ_2 превосходно проявляют себя и при носке обуви, когда ненадлежащим образом подобраны материалы верха и она теряет форму. Это лишний раз наглядно демонстрирует правомерность сделанных заключений: под действием давления стопы оболочка (заготовка верха обуви) теряет форму и разрушается в точном соответствии с теорией.

Выведенные формулы в равной степени справедливы при расчете не только элементов конструкции обуви, но и при выборе толщины ма-

териалов верха как системы, нагруженной внутренним давлением. Это положение было неоднократно экспериментально подтверждено автором и опубликовано в двух монографиях [4.2, 4.5].

Формулы для напряжений применяются в инженерных расчетах при определении толщины как простейших, так и сложных конструкций. Выражения для кольцевого и меридионального напряжений можно найти в любой специальной литературе по теории расчета на прочность оболочечных конструкций, где они выводятся из самых общих зависимостей.

На основании полученных расчетных зависимостей можно определить напряжения, возникающие в сечении сферической оболочки, нагруженной внутренним давлением, например, носочной части обуви. В самом деле, днища резервуара могут быть преобразованы в сферу, то есть напряжения в любом сечении сферы будут такими же, как и напряжения в сечении цилиндрической оболочки, перпендикулярном ее оси. Таким образом, в сферическом резервуаре напряжения во всех сечениях одинаковы и в 2 раза меньше максимальных напряжений, возникающих в цилиндрической оболочке.

Как уже отмечалось выше, автором были проведены многочисленные исследования, связанные с прогнозированием эксплуатационных свойств материалов для заготовок верха обуви. В результате проведенных исследований было установлено, что при правильном подборе материалов верха, с учетом их упругопластических свойств можно обеспечить хорошую формоустойчивость обуви при ее производстве и в процессе эксплуатации. Для проведения исследований с использованием данного подхода были разработаны методы и запатентованы средства: приборы, устройства и т. д. [4.2, 4.5]. Разработанные методы и средства использовались для оценки пригодности материалов верха обуви выдерживать воздействие стопы в период ее эксплуатации и при этом не растаптываться, то есть не терять форму. Для этой цели использовались различные приборы, имитирующие распорные усилия стопы, возникающие при носке обуви. Экономический эффект был получен на ряде обувных предприятий Республики Беларусь за счет уменьшения расхода материалов верха и возврата обуви по причине ее низкой формоустойчивости. Последнее имеет также и социальный аспект.

Известно, что давление стопы в процессе носки обуви вызывает в материалах верха напряжение от 0,2 до 2 МПа [4.2]. Отсюда нетрудно сделать вывод о том, что если материалы верха работают упруго в пределах этих напряжений, то формоустойчивость обуви в процессе носки будет обеспечена. Предложенный выше подход может быть использован для расчета элементов конструкции обуви, например, клеевых и ниточных соединений, а также рационального подбора материалов и определения их номинальной толщины и т. д.

В этом, кажущимся простым и имеющим ряд допущений, новом подходе к прогнозированию формоустойчивости обуви имеется глубокий теоретический смысл. Он связан прежде всего с тем, что показан механизм оценки эксплуатационных свойств обуви на стадии подготовки производства: мониторинг материалов, моделирование и проектирование обуви, технологические процессы предшествующие сборке изделия и т. д. Этот подход может быть использован для оценки эксплуатационных свойств одежды, имеющей облегающую или полуболегающую конструкцию и испытывающую локальное давление, передаваемое телом человека.

Тем не менее, основным является то, что данная методология может быть использована для проектирования и создания новых средств (приборов, стендов, устройств) оценки формоустойчивости обуви и эксплуатационных свойств товаров. Самым главным в ней является новый подход к концепции создания более экономичных и эффективных средств измерений, в которых заложен не биомеханический принцип нагружений, страдающий большой неточностью и длительностью измерений, а имитационный, основанный на напряжениях, возникающих в материалах в процессе эксплуатации изделий.

Данная методология может стать базовой основой для создания высокоскоростных пульсаторов, имитирующих воздействие на одежду и обувь частей тела человека и создающих при этом напряжение в материалах эквивалентные тем, которые возникают при носке изделий.

В завершении хотелось бы обратить внимание на то, что данная методология может дать для товароведения, основными средствами измерений которого являются органолептические методы. Товароведение – наука об основополагающих характеристиках товаров, определяющих их потребительные стоимости, и факторах обеспечения этих характеристик [4.6, 4.7]. По сути дела, это наука – которую «пронизывают» понятия о качестве товара. Однако ее теоретические основы должны базироваться не только на изучении свойств готового товара, а сколько на формировании его качества в процессе производства изделий. По сути дела, мы должны знать эксплуатационные свойства изделий на стадии подготовки производства, то есть задолго до реализации товара в торговую сеть. Нетрудно представить какой экономический и социальный эффект это может дать.

Таким образом, используя принцип аналогии, можно, путем введения определенных допущений, производить расчеты элементов конструкций даже таких сложных изделий как обувь. Этот подход является примером перехода от описательного характера теоретического товароведения к фундаментальным основам данной науки, позволяющим использовать современные методы познания для прогнозирования эксплуатационных свойств изделий.

4.3 Разработка методов имитационного моделирования эксплуатационных свойств материалов, систем и обуви

Качество выполнения режимов формования нельзя оценить только по способности обуви сохранять форму после снятия с затяжной колодки. Оценкой режимов формования является главным образом формоустойчивость обуви в носке. Причем формоустойчивость можно прогнозировать. Цель прогноза – посредством подбора режимов формования получить оптимальную формоустойчивость обуви при производстве и носке.

В настоящее время не существует единой методики исследования формоустойчивости обуви. В связи с этим возникла необходимость в ее разработке. Известно, что наиболее часто в исследованиях на многократный изгиб обувных материалов пользуются двумя методами:

- испытание плоских образцов с изгибом в одной или нескольких плоскостях;
- испытание образцов пространственной формы с изгибом более чем в одной плоскости.

Причем испытания могут проводиться с одновременным растяжением образцов и без растяжения. Это достаточно простая классификация, которая позволяет рационально и легко систематизировать существующие методы и приборы для испытания обувных материалов.

Существует еще группа приборов, в которых испытывается обувь или ее узлы. Условно классифицируем их на группы:

- приборы для испытания цельноформованной обуви;
- приборы для испытания узлов обуви;
- приборы для испытания кожаной обуви.

Приборы для испытания цельноформованной обуви имеют весьма существенный недостаток, так как они не обеспечивают распорных усилий действия стопы и поэтому не могут применяться для испытаний обуви с верхом из различных материалов. Приборы для испытания узлов обуви не обеспечивают процесс складкообразования на союзке обуви, хотя довольно неплохо воспроизводят процесс разрушения материалов в месте стыка верха с подошвой.

В последние годы сделана попытка изготовления приборов, позволяющих оценить свойства обуви в целом. В предложенных конструкциях помимо механических воздействий на обувь со стороны резиновой (деформирующейся) колодки и грунта, оказывается еще и воздействие пота и тепла «искусственной стопы». Однако ни одна из отмеченных выше конструкций не обеспечивает условия испытания близкие к реальной носке.

В настоящей работе решено было остановиться на двух видах ис-

пытаний:

– многократном изгибе с растяжением стандартных образцов при действующей циклической нагрузке, что позволит легко фиксировать параметры и даёт возможность теоретического анализа условий потери формы изделий;

– многократном продавливании сферических образцов материалов, систем, а также носочного и пяточного отдела обуви;

– опытной и экспериментальной носках обуви.

В качестве параметров оптимизации были предложены остаточные деформации после многоцикловых нагружений – E^D . Если E^C – общепринятый параметр оптимизации режимов формования, то интервалы варьирования E^D следует определить.

Известно, что при носке обувь меняет свои размеры в пучковой части на 5–7 % [4.8, 4.9]. Примем 6 % за оптимальную (среднюю) величину. Интервал безразличия при переходе от одной полноты к другой – 8 мм, что составляет 3,2 % величины обхвата в пучках ($O_{п}$) средней стопы мужчины. Согласно работам Д. Е. Медзерян [4.10, 4.11] интервал безразличия для мужских полуботинок – 11,2 мм, что составляет 4,5 % величины $O_{п}$. Таким образом, чтобы обувь хорошо приформовывалась к стопе и затем длительное время сохраняла форму, периметр ее сечения в пучковой части не должен выходить из диапазона варьирования 4,5–7,5 %. Для мужских полуботинок этот диапазон может быть еще больше – 3,75–9,25 %. Таким образом, если при носке обуви периметр ее сечения в пучковой части не выходит из диапазона варьирования 4,5–7,5 %, то можно считать, что обувь приформовалась к стопе.

В основе исследования на многократный изгиб была использована методика, описанная в работе А. Н. Калиты [4.12]. Отличительной особенностью предлагаемой нами методики было то, что образцы не подвергались воздействию искусственного пота. Кроме того, в образцах создавалось напряжение, близкое к условиям носки [4.11, 4.13]. На рисунке 4.5 представлена схема нагружения образца.

Нагрузка подбирается таким образом, чтобы в образцах возникло напряжение равное 2 МПа, что соответствует максимальному напряжению, возникающему в материалах для верха обуви при носке, а частота нагружения – 3700 циклов/час. Циклограмма нагружения образца была подобна фазам ходьбы при носке обуви. По мере растяжения образца время нагружения его уменьшается. То же самое происходит и в обуви после приформовывания ее к стопе. К достоинствам прибора следует отнести: несложность конструкции, простоту определения необходимых параметров, возможность использования образцов стандартной формы и регулировки угла их изгиба.

В дальнейшем был спроектирован, изготовлен и запатентован при-

бор для испытания материалов и систем верха обуви, позволяющий проводить испытания на образцах, близких по своим размерам к деталям заготовки. Методика испытаний позволяет имитировать напряжение, возникающее в материалах верха при носке обуви, а также процесс складкообразования на союзке. Описание методики и прибора приведено в п.п. 3.2.

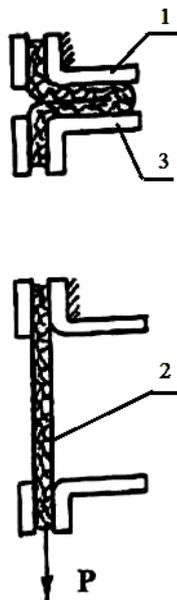


Рисунок 4.5 – Схема нагружения образца для многократного изгиба с растяжением:

1 – верхний зажим прибора; 2 – образец; 3 – нижний зажим прибора

Как известно, пучковая часть обуви наиболее подвержена комплексным воздействиям стопы и окружающей среды. Поэтому для исследования приформовывания обуви к стопе, а также динамики изменения ее параметров были изготовлены контурографы. Такие приспособления довольно широко применяются при антропометрических исследованиях стоп, а также в процессе носки обуви [4.10, 4.13, 4.14], в том числе простейшие из них использовали и в условиях туристских походов.

В настоящем разделе представлен разработанный под руководством автора монографии способ оценки формоустойчивости носочной части обуви в динамических условиях. Все известные методики позволяют оценить формоустойчивость готовой обуви или отдельных ее узлов лишь в статике, которая является показателем совершенства реально существующей технологии и конструирования обуви. На данный момент отсутствует универсальная методика и средства испытаний формоустойчивости носочной части обуви, систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, и материалов, применяемых для подносков обуви, позволяющая оценить этот показатель, как в статических, так и в динамических условиях [4.15].

Поэтому нами был разработан универсальный способ и прибор для определения формоустойчивости обуви [4.16, 4.17], позволяющий обеспечить повышение точности определения формоустойчивости как материалов, систем, так и носочной части обуви и в статических, и в динамических условиях.

Сущность способа заключается в свободном многоцикловом нагружении с давлением, определяемым дифференцированно для каждого вида и рода обуви, до тех пор, пока она не продавится на глубину 5 мм. Оценка формоустойчивости позволяет дать ее сравнительную характеристику в динамических условиях различных материалов для подносок обуви, систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, а также носочной части готовой обуви. Второй количественной характеристикой оценки формоустойчивости является величина остаточной деформации, которая замеряется после извлечения образца из прибора и пролежки в течение 24 часов. Если остаточная деформация не превышает 1 мм или 20–25 % от первоначальной, то данная формоустойчивость считается удовлетворительной.

Для реализации данного способа был разработан прибор для определения формоустойчивости носочной части обуви, на который получен патент [4.17]. В дальнейшем прибор был модернизирован под испытания пяточной части обуви. Кинематическая схема прибора представлена на рисунке 4.6.

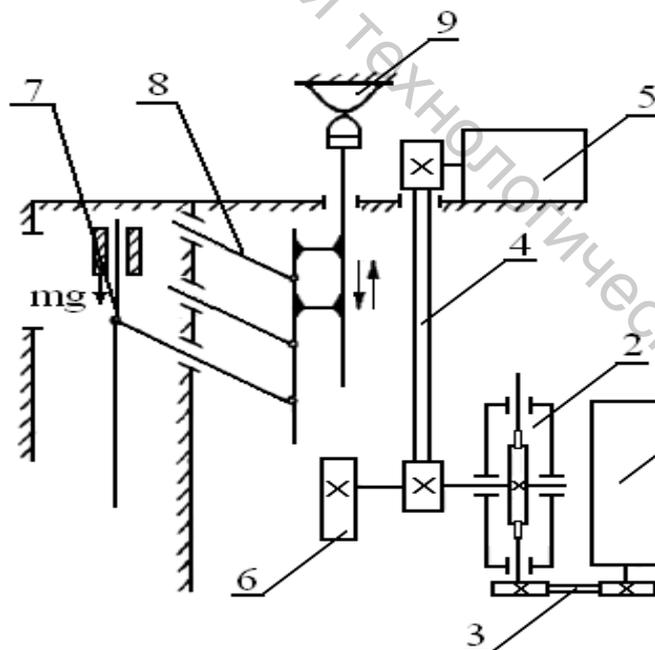


Рисунок 4.6 – Схема нагружения образца сферической формы:
 1 – электродвигатель, 2 – редуктор, 3 – клиноременная передача,
 4 – клиноременная передача, 5 – счетчик, 6 – эксцентрик, 7 – рычаг,
 8 – рамка, 9 – образец

Подготовка и порядок проведения испытаний при оценке формоустойчивости систем материалов в динамике заключались в следующем: образцы материалов, диаметром 70 мм с рабочей частью 25 (35) мм, собирали в системы, согласно действующих на обувных предприятиях технологических процессов и режимах производства. Подготовленные образцы подвергались ряду технологических воздействий, отражающих процесс формования и фиксации верха обуви. Вначале осуществлялось увлажнение (для образцов с верхом из натуральной кожи), а затем растяжение с помощью приспособления для двухосного растяжения, описанного в п. 2.2. Режимы увлажнения и деформирования образцов аналогичны режимам обработки при исследовании статической формоустойчивости. После растяжения приспособление помещается в термошкаф, где осуществляется фиксация формы и структуры материала. Затем приспособление вынимали из термошкафа и образцы, в деформированном состоянии, находились при нормальных климатических условиях 30 мин, что соответствовало временным режимам проведения операции «выстой обуви».

После снятия с приспособления образец закрепляется в приспособлении прибора. Испытания прекращаются при достижении необходимого количества циклов нагрузки, определяемых по счетчику циклов. По индикатору определяется величина прогиба испытываемого материала, которая в соответствии с известными методиками используется для определения жесткости материала. Погрешность измерений по индикатору часового типа составляет $\pm 0,01$ мм.

Принципиальное отличие разработанного прибора от известных заключается в том, что нагружение осуществляется дифференцированно, в зависимости от установленного груза на приборе, что позволяет оценить формоустойчивость материалов различных структур, систем верха и конструкций обуви. Кроме этого, деформация определяется в зависимости от прилагаемого усилия. В известных же методах для динамических испытаний определяли нагрузку, при которой образец будет продавливаться на определенную глубину.

Таким образом, использование предлагаемого прибора для определения формоустойчивости носочной части обуви позволяет достоверно оценить один из важнейших эксплуатационных показателей не в статике, а при динамическом нагружении, что делает результаты эксперимента наиболее приближенными к реальным. Кроме этого, на данном приборе можно определить количество циклов, при которых остаточная деформация образца составляет 1 мм, как по стандартной методике на ЖНЗО-2, и 5 мм, как по немецкой методике, что позволяет оценить формоустойчивость как в статических, так и динамических условиях.

Как отмечалось выше, существующая методика определения формоустойчивости пяточной части обуви имеет ряд недостатков. Так,

устройство для закрепления образцов на плите прибора располагается слишком низко и оно чересчур велико для надежной фиксации детской дошкольной обуви вследствие малых размеров образцов. В сапогах наличие голенищ в ряде случаев не позволяет расположить образец на плите прибора так, чтобы обеспечить приложение нагрузки в точку, определенную ГОСТ 9135–2004 [4.18]. Из-за высоких голенищ сапоги нельзя прочно зафиксировать в устройстве для закрепления обуви, поэтому происходит смещение полупары под действием нагрузки. Конструкция вкладышей, которыми комплектуется прибор ЖНЗО-2, также непродуманна: под точку приложения нагрузки часто попадает не отверстие вкладыша, а его металлическая стенка. Для обуви современных моделей характерно большое разнообразие внутренних форм пяточной части, из-за чего вкладыши часто неплотно прилегают к внутренней стенке задника. Чтобы компенсировать этот недостаток используют специальные прижимы, однако в обуви с голенищами или высокими берцами их применение невозможно. Подставка, надеваемая на каблук испытуемой полупары, предназначена для закрепления в ней каблука определенной формы и не позволяет жестко закреплять каблуки других форм, отличающихся в настоящее время большим разнообразием. Невершенство конструкции подставки и самого приспособления для закрепления обуви при испытании задников нередко приводит к смещению образца под действием нагрузки. Все вышеизложенное влечет за собой искажение результатов испытаний. Кроме того, рекомендуемая стандартом методика позволяет оценивать формоустойчивость пяточной части обуви лишь в статике и не учитывает условия носки обуви. В связи с этим предлагается новая методика, позволяющая исследовать формоустойчивость в статике и в динамике, имитируя процесс эксплуатации обуви. Согласно ей, образец располагается на плите прибора ходовой поверхностью вниз, а не вбок. Это расположение является более естественным для обуви в процессе эксплуатации, позволяет ее лучше закрепить и избавляет от необходимости надевать на каблук подставку. Кроме того, нагружение на образец можно производить без применения вкладыша, что позволяет избежать связанных с ним недостатков испытаний. Для проведения испытаний по разработанной методике был модифицирован существующий прибор для определения формоустойчивости носочной части обуви таким образом, чтобы он стал пригодным также для испытаний пяточной части. При этом в приборе используется съемное приспособление для крепления обуви (рис. 4.7 и 4.8) [4.19]. Данный прибор позволяет определять формоустойчивость пяточной части обуви не только в статических, но и в динамических условиях.

Прибор состоит из корпуса 1, сменного приспособления для крепления обуви 2, электродвигателя 3, соединенного ременной передачей 4 с червячным редуктором 5, на тихоходном валу которого установлен

эксцентрик 6, контактирующий с параллелограммным механизмом 7. Эксцентрик контактирует с закрепленном на корпусе счетчиком циклов 9 при помощи ременной передачи 8. Груз 10 установлен с возможностью перемещения на грузовом штоке 11. Перемещение груза по грузовому штоку позволяет подвергать образец нагружению дифференцировано. Измерительный шток 12 с пуансоном 13 также контактирует с параллелограммным механизмом, что позволяет ему совершать возвратно-поступательное осевое движение. С измерительным штоком входит в контакт индикатор часового типа 14, показывающий величину деформации образца. Сменное приспособление (рис. 4.8) для крепления обуви 2 состоит из собственно плиты 15, на которой имеются сквозные пазы для закрепления плиты на корпусе прибора, платформы 16 для закрепления образца, отверстий 17 для закрепления зажима носочной части обуви 18 и зажима пяточной части обуви 19.

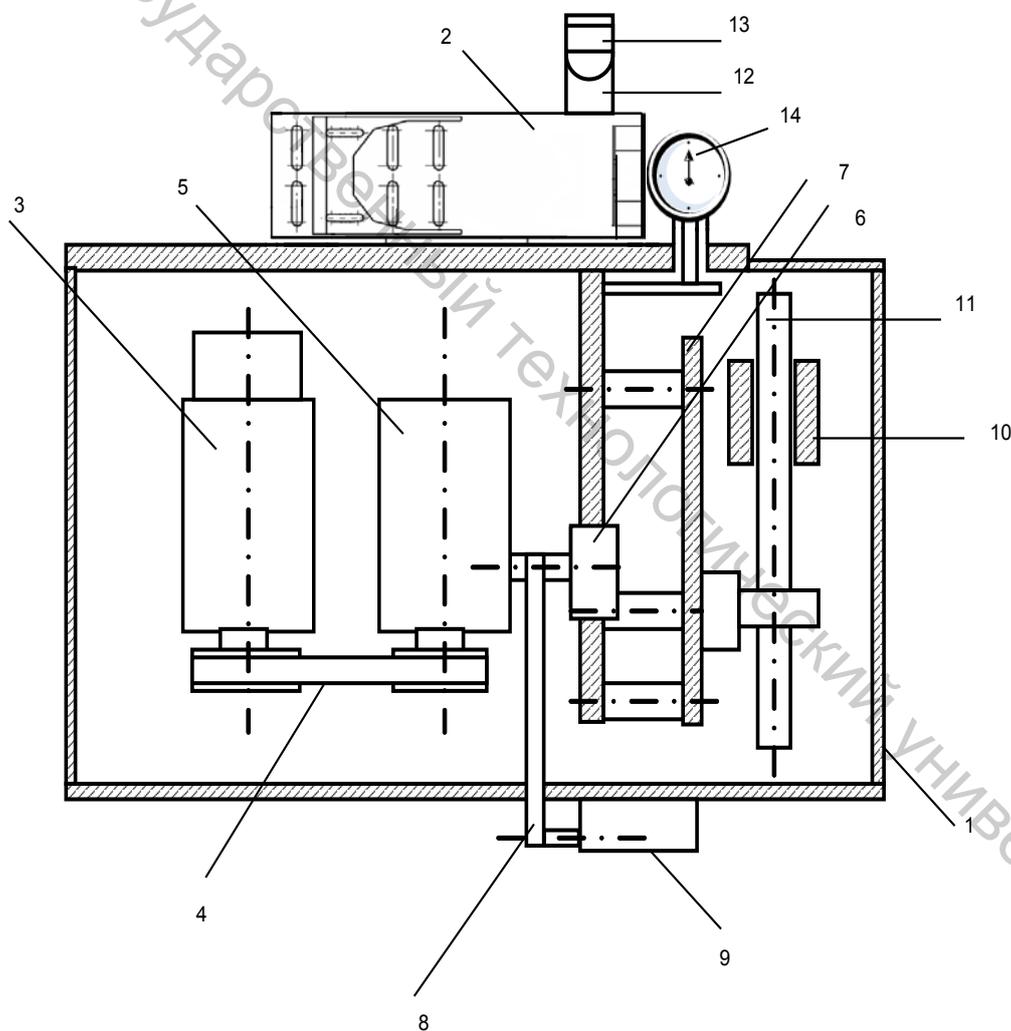


Рисунок 4.7 – Схема прибора для исследования пяточной и носочной части обуви при статическом и многоцикловом нагружении (ППНМО)

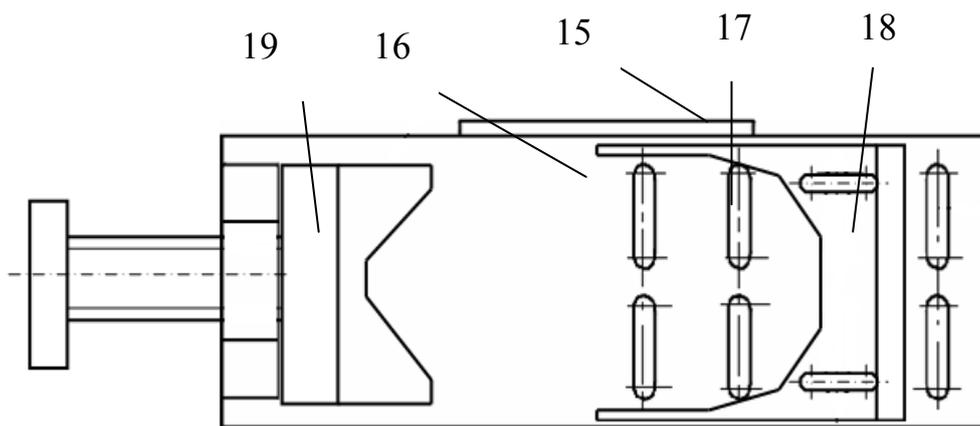


Рисунок 4.8 – Приспособление для крепления обуви

Принципиальное отличие разработанной методики и прибора от известных заключается в том, что испытуемый образец можно подвергать не только статической, но и динамической нагрузке, с возможностью устанавливать определенную величину нагружения для обуви разной конструкции.

Также в приборе предусмотрена возможность снимать показания величины прогиба образца при разном количестве циклов нагружения, что позволяет построить функциональную зависимость между этими показателями. То есть, моделируя деформацию пяточной части обуви в условиях, приближенных к реальным условиям носки, мы можем прогнозировать ее величину на разных стадиях эксплуатации изделий.

Таким образом, использование предлагаемого прибора для определения деформации пяточной части обуви позволяет достоверно оценить один из важнейших эксплуатационных показателей в динамических условиях, что делает результаты эксперимента наиболее приближенными к реальным условиям эксплуатации обуви. Также на данном приборе можно определять статическую формоустойчивость обуви, как и по стандартной методике на ЖНЗО-2.

Методика оценки формоустойчивости пяточной части обуви в статике состоит в следующем: образцы для испытаний отбирают в соответствии с ГОСТ 9289–78 «Обувь. Правила приемки». На образце отмечают точку приложения нагрузки O , согласно ГОСТ 9135–2004.

Приспособление для крепления обуви монтируют на приборе ППНМО, в приспособлении жестко фиксируется испытуемый образец, как показано на рисунке 4.9. Таким образом, нагрузка в точку O подается сбоку, при жестко зафиксированной подошве. То есть деформация образца происходит прежде всего за счет изгиба по консоли, в отличие от стандартной методики, по которой нагружение осуществляется сверху, в отверстие вкладыша, то есть имеет место деформация при двухос-

ном растяжении.



Рисунок 4.9 – Внешний вид прибора ППНМО

Необходимую для испытаний нагрузку устанавливают согласно ГОСТ 9135–2004 и заворачивают в измерительный шток пуансон с требуемым диаметром сферического наконечника. Индикатор часового типа и счетчик циклов выставляются в нулевое положение. Пуансон выдвигается до соприкосновения с образцом. Замеряется расстояние h между выступом измерительного штока 2 и сферическим наконечником пуансона 1 (рис. 4.10). Образец подвергают трем полным циклам нагружения. Через 30 ± 3 с после нагружения пуансон вновь подвигается до соприкосновения сферического наконечника с пяточной частью испытуемого образца. Замеряется расстояние h_1 между выступом измерительного штока 2 и сферическим наконечником пуансона 1. Остаточная деформация пяточной части обуви $h_{\text{ост}}$ определяется по формуле: $h_{\text{ост}} = h_1 - h$. Если остаточная деформация не превышает 1 мм, то формоустойчивость считается удовлетворительной.

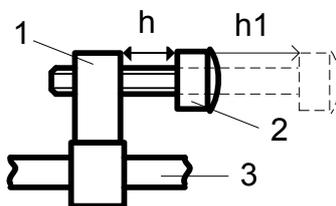


Рисунок 4.10 – Расстояния h и h_1 при оценке остаточной деформации на приборе ППНМО

При определении динамической формоустойчивости предварительные операции (отбор проб, подготовку к испытаниям) осуществля-

ют так же, как и при оценке статической формоустойчивости. Прибор включают и сразу же на индикаторе часового типа фиксируют начальную деформацию образца. Далее ведется органолептическое наблюдение за испытуемым образцом и по индикатору часового типа определяется его деформация через каждые 100 циклов нагружения до тех пор, пока его деформация не составит 5 мм или счетчик оборотов не достигнет 1000 циклов. Если по истечении 1000 циклов деформация не превысит 5 мм, динамическая формоустойчивость пяточной части обуви считается удовлетворительной.

С целью выяснения возможности применения методик, описанных ранее, они были использованы для определения статической формоустойчивости пяточной части тех же образцов мужской, женской и детской обуви, которые ранее подверглись испытаниям на приборе ЖНЗО-2.

В ходе испытаний на приборе ППНМО было обнаружено, что все образцы прочно устанавливались и хорошо фиксировались на плите прибора таким образом, чтобы нагрузка могла действовать точно в точке, определенной в методике. При нагружении испытуемые полупары были неподвижны, то есть действие нагрузки направлялось только на деформацию образца, а не на его смещение. Таким образом, результаты, полученные при оценке формоустойчивости пяточной части обуви на приборе ППНМО, можно считать объективными.

При испытании указанных образцов согласно методике экспресс-оценки формоустойчивости пяточной части обуви, было установлено, что погрешность прибора ПЭОФО (рис. 2.5) больше, чем прибора ППНМО, что обусловлено конструктивными особенностями первого.

Проверим гипотезу о равенстве дисперсий и средних значений результатов, полученных при испытании формоустойчивости пяточной части обуви согласно разработанным методикам на приборах ПЭОФО и ППНМО. Дисперсии и средние значения результатов испытаний сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Дисперсии и средние значения результатов испытаний формоустойчивости пяточной части обуви, полученные согласно разработанным методикам на приборах ПЭОФО и ППНМО

Вид обуви	Прибор ПЭОФО		Прибор ППНМО	
	среднее значение	дисперсия	среднее значение	дисперсия
Мужская	0,56	0,0117	0,56	0,0074
Женская	0,73	0,0212	0,72	0,0189
Детская	0,73	0,0128	0,73	0,0089
Мужская с задником из ГПМ	0,80	0,0120	0,80	0,0089

Для проверки гипотезы о равенстве дисперсий рассчитаем критерий значимости $Z_{дисп}$

$$Z_{дисп} = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (4.5)$$

где S_1^2 – дисперсия результатов 1-го образца; S_2^2 – дисперсия результатов 2-го образца ($S_1 > S_2$).

Затем сравним полученные критерии значимости со значением квантиля распределения Фишера $F_p(k_1, k_2)$ при выбранной доверительной вероятности $p = 0,95$ и степенями свободы $k_1 = k_2 = n - 1$, где n – количество испытаний [4.20].

Для мужской обуви $n = 20$, для женской $n = 40$, для детской $n = 25$, для мужской обуви с задником из ТПМ $n = 10$. Находим $Z_{дисп}$ мужской обуви равен 1,579, $Z_{дисп}$ женской обуви равен 1,124, $Z_{дисп}$ детской обуви равен 1,436, $Z_{дисп}$ мужской обуви с задником из ТПМ = 1,813. $F_p(19, 19) = 2,168$ – для мужской обуви, $F_p(39, 39) = 1,704$ – для женской обуви, $F_p(24, 24) = 1,984$ – для детской обуви, $F_p(9, 9) = 3,179$ – для мужской обуви с задником из ТПМ. Расчеты показали, что во всех случаях $Z_{дисп} < F_p$, то есть гипотеза о равенстве дисперсий принимается.

Равенство средних значений для мужской и детской обуви, а также для мужской обуви с задником из ТПМ является очевидным. Для проверки гипотезы о равенстве средних значений результатов испытаний женской обуви, при равенстве выборочных дисперсий, используем критерий согласия на основе статистики

$$Z_{cp} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (4.6)$$

$$S = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}, \quad (4.7)$$

где \bar{x}_1, \bar{x}_2 – средние значения результатов испытаний соответственно на приборах ПЭОФО и ППНМО; $n_1 = n_2$ – количество испытаний соответственно на приборах ПЭОФО и ППНМО; S_1^2, S_2^2 – дисперсии результатов испытаний соответственно на приборах ПЭОФО и ППНМО.

Затем сравним Z_{cp} со значением квантиля распределения Стьюдента t_p для доверительной вероятности $p = 0,95$ и степеней свободы

$k = n_1 + n_2 - 2$ [4.20]. Находим $Z_{cp} = 1,616$, $t_{0,95}(78) \approx 1,668$. $Z_{cp} < t_{0,95}$, то есть гипотеза о равенстве средних принимается.

Таким образом, несмотря на то, что погрешность прибора ПЭОФО больше, чем у прибора ППНМО, результаты испытаний согласно экспресс-методике можно считать сопоставимыми с результатами, полученными согласно методике оценки формоустойчивости пяточной части обуви в статике на приборе ППНМО.

Вначале проведем сравнительное исследование формоустойчивости пяточной части обуви, определенной согласно методике на приборе ЖНЗО-2, и по разработанной методике оценки формоустойчивости пяточной части обуви в статике, определенной на приборе ППНМО. Сравним остаточные деформации образцов, полученные на приборе ППНМО и на приборе ЖНЗО-2. Для объективности сравнительного анализа, из выборок были исключены образцы, испытания которых на приборе ЖНЗО-2 не удалось провести должным образом.

Сравнительные значения результатов, полученных при испытаниях пяточной части мужской обуви на приборах ППНМО и ЖНЗО-2, проведены на 20 парах.

Проведем статистический анализ испытаний мужской обуви при $n = n_1 = n_2 = 17$. Вначале определим, совпадают ли выборочные дисперсии, полученные по двум методикам. Критерий значимости $Z_{dusc} = 0,988$. Значение квантиля распределения Фишера $F_p = (k_1, k_2)$ при выбранной доверительной вероятности $p = 0,95$ и степенями свободы $k_1 = k_2 = n - 1 = 16$ $F_{0,95} = (16, 16) = 2,333$. То есть гипотеза о равенстве дисперсий принимается, так как $Z_{dusc} < F_{0,95}$. Проверим гипотезу о равенстве средних (4.6), (4.7). $Z_{cp} = 1,587$. Определим значение квантиля Стьюдента $t_p(k)$, для доверительной вероятности $p = 0,95$ и степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2 = 32$. $t_{0,95}(32) = 1,694$. Так как выполняется неравенство $Z_{cp} < t_{0,95}(k)$, то гипотеза о равенстве средних значений принимается.

Сравнительные значения результатов, полученных при испытаниях пяточной части женской обуви на приборах ППНМО и ЖНЗО-2, проведены на 40 парах.

По найденным значениям выборочных дисперсий, при $n_1 = n_2 = 33$, критерий значимости Z_{dusc} принял значение 1,009. Сравнив полученный результат критерия значимости со значением квантиля распределения Фишера $F_{0,95}(32, 32) = 1,804$, приходим к выводу, что гипотеза о равенстве дисперсий принимается, так как $(Z_{dusc} < F_{0,95}(32, 32))$. Для проверки гипотезы о равенстве средних при равенстве выборочных дисперсий используем критерий согласия Z_{cp} (5.4), (5.5). $Z_{cp} = 1,646$, при этом значение квантиля распределения Стьюдента $t_{0,95}(64) \approx 1,670$. Так как выполняется

неравенство $Z_{cp} < t_{0,95}(k)$, то гипотеза о равенстве средних значений принимается.

Сравнительные значения результатов, полученных при испытаниях пяточной части детской обуви на приборах ППНМО и ЖНЗО-2, проведены на 12 парах.

По найденным значениям выборочных дисперсий, при $n_1 = n_2 = 11$, критерий значимости Z_{discn} принял значение 1,169. Сравним полученный результат критерия значимости со значением квантиля распределения Фишера. Так как $Z_{discn} < F_{0,95}(10,10) = 2,978$, приходим к выводу, что гипотеза о равенстве дисперсий принимается. Для проверки гипотезы о равенстве средних при равенстве выборочных дисперсий используем критерий согласия Z_{cp} (4.6), (4.7). $Z_{cp} = 1,643$. Значение квантиля распределения Стьюдента $t_{0,95}(20) = 1,725$. Так как выполняется неравенство $Z_{cp} < t_{0,95}(k)$, то гипотеза о равенстве средних значений принимается.

Сравнительные значения остаточной деформации пяточной части мужской обуви с задником из ТПМ, полученные на приборах ППНМО и ЖНЗО-2, проведены на 10 парах.

По найденным значениям выборочных дисперсий, при $n_1 = n_2 = 8$, критерий значимости Z_{discn} принял значение 1,811. Сравним полученный результат критерия значимости со значением квантиля распределения Фишера. Так как $Z_{discn} < F_{0,95}(7,7) = 3,787$, приходим к выводу, что гипотеза о равенстве дисперсий принимается. Равенство же средних в данном случае очевидно.

Таким образом, статистический анализ показал совпадение как выборочных дисперсий, так и средних значений во всех исследуемых группах обуви. То есть можно сказать, что значения остаточных деформаций, полученные по стандартной методике на приборе ЖНЗО-2 и по разработанной методике на приборе ППНМО, можно считать одинаковыми. Однако, вследствие описанных выше недостатков методики, регламентированной ГОСТ [4.18], для большого количества полупар испытания провести не удалось, что доказывает ограниченность ее применения. В приборе ППНМО указанные недостатки выявлены не были. Это позволяет утверждать, что предлагаемую методику целесообразно применять для испытаний формоустойчивости пяточной части обуви в статике.

Таким образом, разработанные методы и средства испытаний материалов, систем и обуви позволяют произвести комплексную оценку формоустойчивости материалов, систем, узлов и обуви при динамических нагружениях.

4.4 Оценка динамической формоустойчивости материалов, систем и обуви

Из всего многообразия факторов, влияющих на изменения формы обуви в процессе носки, основными являются многоцикловые механические воздействия (изгиб, растяжение). Способность материалов верха сопротивляться многоцикловым нагрузениям, во многом, определяется режимами формования верха обуви, то есть увлажнением, степенью растяжения материалов при обтяжке и затяжке, а также параметрами термофиксации.

Таким образом, дальнейшие исследования посвящены изучению совместного влияния перечисленных выше технологических процессов на устойчивость кожи к многоцикловым нагрузениям, которая характеризовалась изменением величины остаточных удлинений (E^D).

Предварительно были подготовлены образцы стандартной формы по методике, изложенной в главе 2. По этой методике на первом этапе эксперимента образцы увлажняли сорбцией на 10 и 30 %, затем растягивали на специальном приспособлении на 7, 17 и 27 %. Фиксация растянутых образцов проводилась при температуре воздуха 80–120 °С. Далее образцы освобождали из зажимов приспособления и помещали на 7 суток в термогигростатированный эксикатор, обеспечивающий 18 % влажность кожи. После пролежки образцы подвергались $2 \cdot 10^6$ циклам изгибов с растяжением, близким к условиям носки. Остаточные удлинения E^D измеряли через $5 \cdot 10^3$, $1 \cdot 10^4$, $5 \cdot 10^4$, $1 \cdot 10^5$, далее через $1 \cdot 10^5$ циклов до $2 \cdot 10^6$. Причем остаточные удлинения измерялись в зажимах прибора и спустя 7 суток после испытания на многоцикловые нагрузения. Более подробное изложение методики эксперимента и обоснование интервалов варьирования факторов см. в главе 2. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.11. Цифры на графиках означают номера опытов по рабочим матрицам.

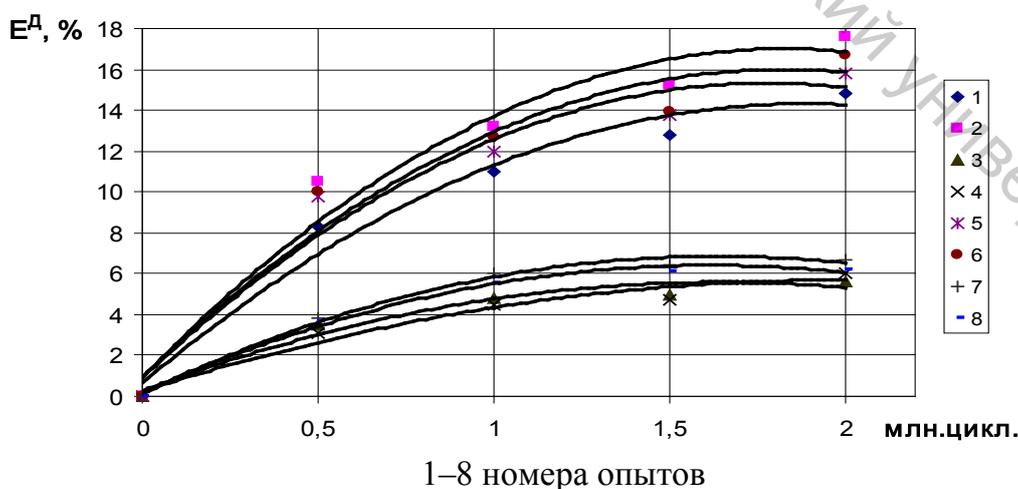


Рисунок 4.11 – Динамика роста остаточных удлинений

Кривые динамики роста E^D имеют характерную особенность – тесную связь остаточных удлинений с величиной первоначального удлинения. Наблюдается значительный прирост E^D в первые $2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^3$ циклов, затем интенсивность значительно снижается. Если рост E^D остаточных удлинений при незначительном первоначальном растяжении (7 %) продолжается до $2 \cdot 10^6$ циклов, то при $\varepsilon = 17\%$ он после $1 \cdot 10^6$ циклов практически прекращается.

Таблица 4.2 – Рабочая матрица и результаты эксперимента

№ опыта	Рабочая матрица			Значение параметра оптимизации					
	W, %	ε , %	T, °C	$E_{cp.1}^D$	$E_{cp.2}^D$	$E_{cp.3}^D$	$E_{cp.4}^D$	$E_{cp.5}^D$	$E_{cp.}^D(Y_D)$
1	20	7	80	14,7	13,9	13,6	14,1	14,1	14,0
2	30	7	80	16,2	16,3	17,0	17,1	16,4	16,6
3	20	17	80	5,5	5,5	5,6	5,7	5,7	5,6
4	30	17	80	5,7	5,9	6,1	6,2	6,1	6,0
5	20	7	120	15,3	15,6	15,8	16,0	15,8	15,7
6	30	7	120	14,4	14,5	14,7	14,8	14,6	14,6
7	20	17	120	6,3	6,5	6,8	6,9	6,9	6,7
8	30	17	120	5,1	5,2	5,4	5,4	5,4	5,3

При первоначальной деформации кожи на 17 % рост E^D практически прекращается после $4 \cdot 10^5$ циклов нагружения. Величина остаточных удлинений невелика – 1–3 %. Такие значения остаточных удлинений не обеспечат приформовывания обуви к стопе.

За параметр оптимизации было взято E^D после $2 \cdot 10^6$ циклов нагружения, так как этот срок отражает реальное время носки обуви.

Доверительный интервал для коэффициентов регрессии – $\Delta b_j = \pm 0,28$.

После отбрасывания незначимых коэффициентов уравнение приобретает вид

$$Y_1 = 10,56 - 4,66X_2 - 0,31X_1X_2 - 0,69X_1X_3 + 0,32X_2X_3. \quad (4.8)$$

Полученная математическая зависимость (4.8) связывается E^D (Y_1) с влажностью кожи (X_1), величиной ее деформации (X_2) и температурой воздуха при фиксации формы (X_3). Наибольшее влияние на E^D оказывает величина деформации материала при формовании. Влажность кожи и температура воздуха практически не влияют на величину остаточных удлинений. Следует отметить, что с увеличением растяжения, остаточные удлинения уменьшаются. Это вызвано, видимо, более интенсивным приходом в равновесное состояние высушиваемой кожи.

Результаты экспериментов показывают, что сопротивление материала многоцикловым нагружениям зависит от степени его деформирования при формовании. Чем больше величина первоначальной деформации

ции материала, тем меньше остаточные удлинения и динамика их роста. Остальные факторы оказывают несущественное влияние на E^D .

Величина растяжения обуви в области пучков при ходьбе составляет 5–7 %. Следовательно, изменение размеров изделия не должно превышать этих значений. Таким условиям отвечают режимы формования, при которых обеспечиваются деформации кожи в пределах 17–20 %. При величине удлинения кожи 7 % происходит быстрый рост E^D , что приводит к быстрой потере формы готовой обуви.

Хотя подобное моделирование дало достаточно достоверные результаты, тем не менее, процесс носки накладывает специфические особенности на потерю формы верха. Это связано с многообразием факторов, влияющих на формоустойчивость обуви. Для устранения этого недостатка, а также определения прочностных показателей кожи были проведены экспериментальные и опытные носки обуви, описание которых приведены далее.

Обобщим исследования, проведенные нами с целью определения формоустойчивости материалов для верха обуви при производстве и носке. Это позволит перейти от исследования к построению лабораторной модели, оценивающей формоустойчивость обуви при ее производстве и в процессе носки, и использовать ЭВМ для ускорения прогноза.

Задача оптимизации режимов формования с целью обеспечения достаточной формоустойчивости обуви может быть сформулирована в следующем виде:

$$\Phi = f(\Phi_c, \Phi_d) \rightarrow \max \quad (4.9)$$

где Φ – обобщенный параметр (критерий) оптимизации; Φ_c – формоустойчивость статическая, в качестве параметра (критерия) оптимизации (E^C); Φ_d – формоустойчивость динамическая, в качестве параметра (критерия) оптимизации (E^D).

Для построения обобщенного отклика воспользуемся способом Харингтона [4.21]. В основе построения лежит принцип преобразования натуральных значений откликов в безразмерную шкалу желательности.

Для каждого частного отклика введем преобразования:

$$\Phi_c = \begin{cases} 1, & \text{если } \Phi_c \geq 75\%, \\ 0, & \text{если } \Phi_c < 75\%. \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\Phi_d = \begin{cases} 1, & \text{если } 4,5\% \leq \Phi_d \leq 7,5\%, \\ 0, & \text{если } \Phi_d < 4,5\% \text{ или } \Phi_d > 7,5\%. \end{cases} \quad (4.11)$$

В качестве примера воспользуемся данными, полученными при

оптимизации процессов формования верха обуви. Данные для восьми опытов приведены ранее.

Для построения шкалы желательности можно пользоваться таблицами соответствия между отношениями предпочтения в различных системах [4.21]. Расчетные данные приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчетные данные построения частных функций

Желательность значений отклика	Оценка по шкале желательности	Φ_C, E^C	Φ_D, E^D
Очень хорошо	0,80–1,00	82–100	5,00–7,00
Хорошо	0,63–0,80	75–82	4,5–5,0; 7,0–7,5
Удовлетворительно	0,37–0,63	65–75	3,75–4,5; 7,5–8,25
Плохо	0,20–0,37	57–65	3,1–3,75; 8,25–8,9;
Очень плохо	0,00–0,20	<57	<3,1; >8,9

Функции желательности описываются уравнениями вида:

$$d_1 = \exp\left\{-\left[\frac{1}{35}(100-y_1)\right]^{2,3}\right\}, \text{ в случае одностороннего ограничения; (4.12)}$$

$$d_2 = \exp\left\{-\left(\frac{4}{9}|y_2 - 6|\right)^{1,9}\right\}, \text{ в случае двухстороннего ограничения. (4.13)}$$

На рисунке 4.12 изображена функция желательности для показателей E^C и E^D , характеризующих формоустойчивость обуви при производстве и носке, а также для Φ – обобщенного параметра оптимизации.

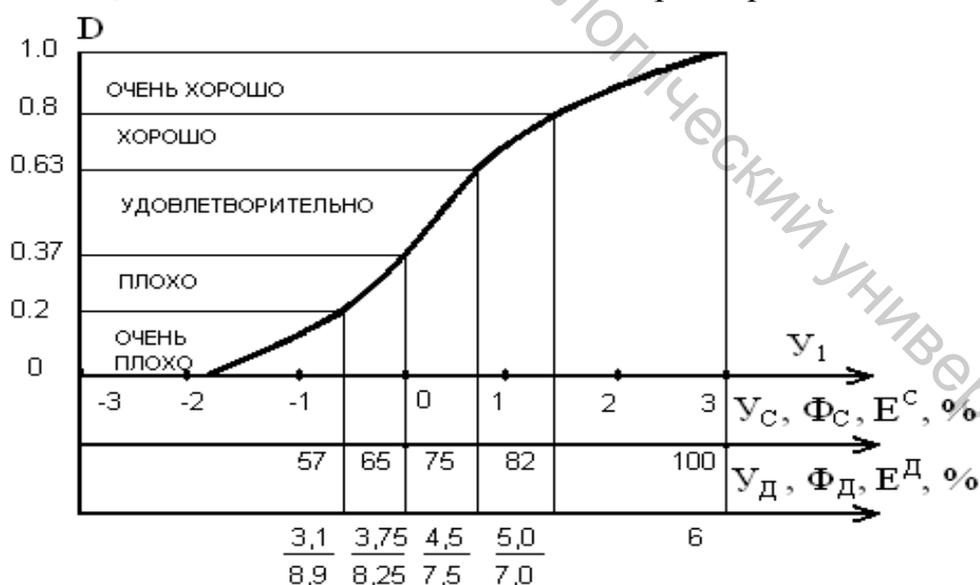


Рисунок 4.12 – Шкала желательности для обобщенного параметра оптимизации, характеризующего формоустойчивость материалов для обуви при ее производстве и в процессе носки

В таблице 4.4 приведен более точный расчет значений функции желательности.

Таблица 4.4 – Данные для расчета обобщенного параметра оптимизации

№ опыта	Рабочая матрица			Натуральное значение отклика		Частные желательности		Оценка по шкале желательности
	W, %	ε, %	T, °C	$E^C(Y_1)$	$E^D(Y_2)$	d_1	d_2	D
1	20	7	80	55,5	14,0	0,18	0,00	0,00
2	30	7	80	65,9	16,6	0,39	0,00	0,00
3	20	17	80	65,4	5,6	0,38	0,96	0,60
4	30	17	80	77,0	6,0	0,68	1,00	0,82
5	20	7	120	62,6	15,7	0,31	0,00	0,00
6	30	7	120	72,8	14,6	0,57	0,00	0,00
7	20	17	120	72,6	6,7	0,57	0,90	0,72
8	30	17	120	80,1	5,3	0,76	0,90	0,83

Расчет D производится по формуле (4.14).

$$D = \sqrt{d_1 \cdot d_2}. \quad (4.14)$$

Анализируя таблицу 4.4, можно сделать вывод, что высокую формуемость изделия на производстве и в носке обеспечат 4 и 8 опыты, хорошую – 7 опыт и удовлетворительную – 3 опыт.

При всех достоинствах графического способа (наглядности, простоте и т.д.) у него есть существенный недостаток – низкая точность определения параметра оптимизации. Для устранения этого недостатка воспользуемся зависимостями, полученными ранее:

$$Y_1 = 72,3 + 1,9X_1 + 2,9X_2 + 0,3 X_3 - 0,4 X_1X_2; \quad (4.15)$$

$$Y_2 = 10,56 - 4,66X_2 - 0,31X_1X_2 - 0,69X_1X_3 + 0,32 X_2X_3. \quad (4.16)$$

В словесной форме подобная компромиссная задача задается следующим образом: найти значения X_1 , X_2 , X_3 , при которых Y_1 принимает максимальное значение. Затем в зоне оптимума определить новые значения X'_1 , X'_2 , X'_3 , при которых Y_2 принимает максимальное значение или близкое к нему.

Проиллюстрируем это на примере уравнений (4.15), (4.16). Анализируя систему уравнений, можно отметить, что температура термофик-

сации не играет существенную роль в формоустойчивости материала, а, следовательно, можно снизить энергозатраты в производстве обуви, то есть установиться на нижнем уровне – 80 °С. Технически достичь влажности кожи 25 % можно увлажнением в жидкой фазе. Вычислим значения E^C и E^D и рассчитаем $D = \sqrt{0,62 \cdot 0,33} = 0,46$, что является плохим результатом и нужно искать другое решение.

При решении несложных уравнений можно пользоваться приближенными методами и рассчитывать с помощью простейших средств оргтехники. Для решения многопараметрических систем нелинейных уравнений наилучшие результаты обычно обеспечивают методы случайного поиска [4.22, 4.23].

В обуви все материалы скреплены между собой и под влиянием усилий они работают как единая система, причем по своим физико-механическим, прочностным и деформационным свойствам эти материалы абсолютно разные. Знания свойств отдельных материалов недостаточно для того, чтобы предсказать, как эти материалы поведут себя в системе верха обуви. Исходя из этого, необходимо провести исследования систем материалов, имитирующих носочную часть обуви, с различными по свойствам материалами верха и подноски.

Однако, для того, чтобы сделать всесторонний анализ формоустойчивости систем материалов, имитирующих носочную часть обуви, в динамических условиях необходимо испытать большое количество образцов и по времени это очень длительный процесс. Поэтому ввиду достаточно большой длительности эксперимента и для отработки методики исследования, а также установления вида зависимости, связывающей величину остаточной деформации с количеством циклов нагружений, испытания систем материалов, имитирующих носочную часть обуви, проводятся следующим образом.

Образец системы материалов, имитирующей носочную часть обуви, закрепляют на плите прибора для определения формоустойчивости носочной части обуви, описанного в настоящей главе. Затем производится нагружение образца до 1000 циклов, как по немецкой методике, снимая при этом значения остаточной деформации через каждые 100 циклов. Результаты испытаний занесены в таблицу 4.5.

Аппроксимируем полученные данные по методу наименьших квадратов в электронных таблицах Excel. В результате аппроксимации были выявлены зависимости, связывающие величину остаточной деформации (выходной параметр «у») с количеством циклов (входной параметр «х») в различных системах материалов (рис. 4.13). Математические зависимости выглядят следующим образом: $y = a \cdot x$. Здесь следует оговориться, что такая зависимость характерна до 4–5 тыс. циклов нагружений. Свыше этих значений нагружений математическая зависи-

мость приобретает вид $y = a \cdot x^n$.

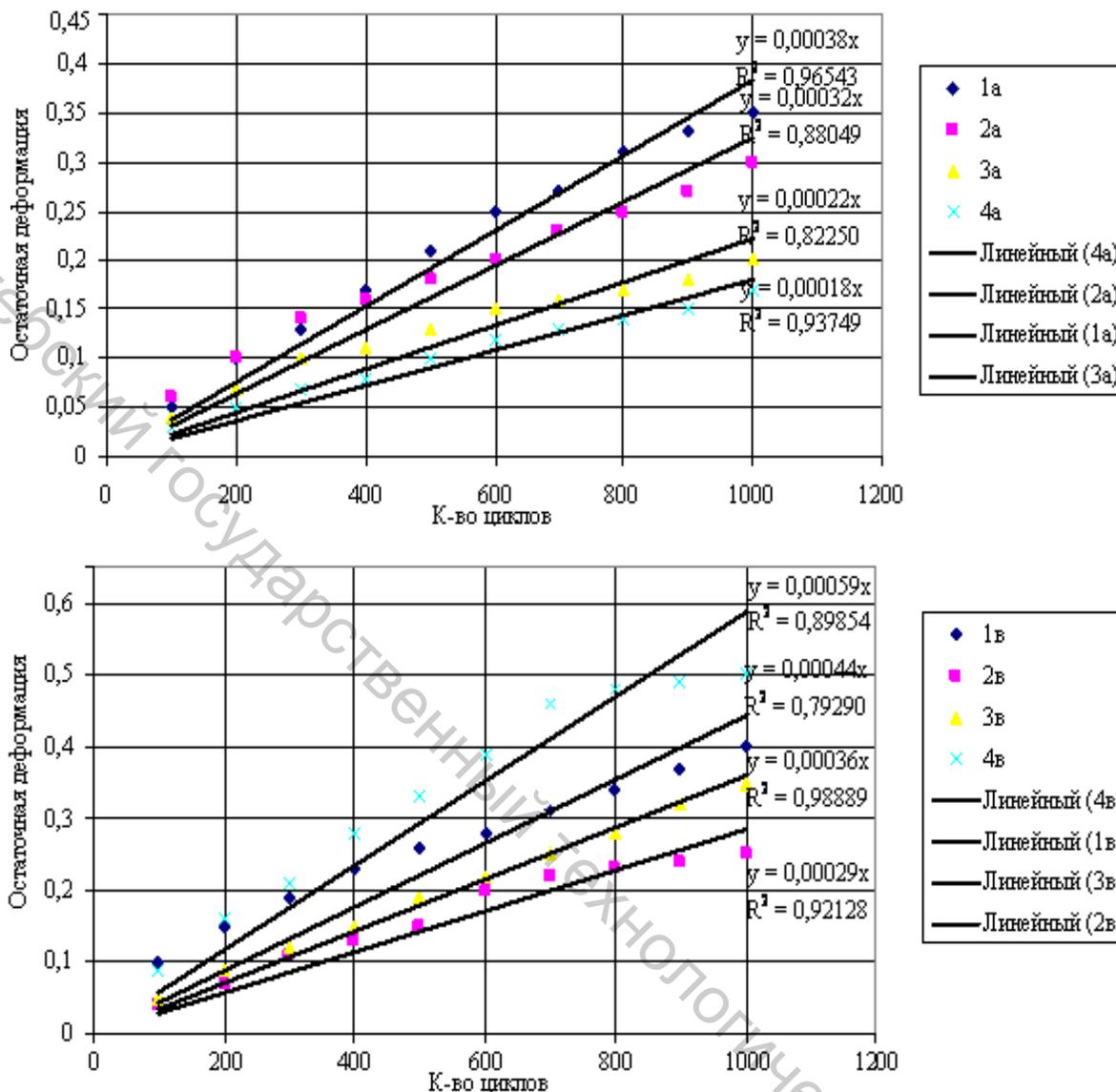


Рисунок 4.13 – Зависимости, связывающие величину остаточной деформации с количеством циклов нагружений (на рисунке приведены данные по двум системам)

При этом коэффициенты корреляции варьируют от 0,91 до 0,98, что говорит о достаточно высокой связи исследуемых параметров. Эксперимент показал, что на начальном этапе испытаний зависимости имеют не совсем линейный характер, связанный, по-видимому, с уплотнением материалов системы при начальных количествах вдавливания, а с увеличением количества вдавливаний этот процесс носит уже линейный характер. Поэтому на первом этапе довольно сложно осуществить прогнозирование формоустойчивости систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви.

Таблица 4.5 – Значения остаточной деформации при нагружениях систем материалов, имитирующих носочную часть обуви, до 1000 циклов

Код системы	Вид системы материалов, имитирующих носочную часть обуви	Остаточная деформация, $D_{ост}$, мм									
		Количество циклов									
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ИК арт. SP-3N + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	0,09	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,37	0,41	0,45
2	ИК арт. SP-3N + термобязь + Sintex 308 + подкладка	0,03	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20
3	ИК арт. SP-3N + термобязь + термопласт + подкладка	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,24	0,27	0,29
4	ИК арт. SP-3N + термобязь + Biterm 327 + подкладка	0,10	0,15	0,21	0,25	0,32	0,36	0,39	0,43	0,46	0,50
1а	ИК арт. EP + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	0,05	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,27	0,31	0,33	0,35
2а	ИК арт. EP + термобязь + Sintex 308 + подкладка	0,06	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27	0,30
3а	ИК арт. EP + термобязь + термопласт + подкладка	0,04	0,07	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20
4а	ИК арт. EP + термобязь + Biterm 327 + подкладка	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17
1б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	0,05	0,10	0,14	0,21	0,25	0,30	0,33	0,36	0,38	0,40
2б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Sintex 308 + подкладка	0,07	0,09	0,14	0,16	0,19	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30
3б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + термопласт + подкладка	0,05	0,11	0,15	0,20	0,23	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35
4б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Biterm 327 + подкладка	0,11	0,20	0,26	0,37	0,45	0,53	0,61	0,65	0,70	0,75
1в	НК + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	0,10	0,15	0,19	0,23	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40
2в	НК + термобязь + Sintex308 + подкладка	0,04	0,07	0,11	0,13	0,15	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25
3в	НК + термобязь + термопласт + подкладка	0,05	0,09	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35
4в	НК + термобязь + Biterm 327 + подкладка	0,09	0,16	0,21	0,28	0,33	0,39	0,46	0,48	0,49	0,50

Полученные уравнения, имеющие тесную корреляционную связь, показали, что изменение величины остаточной деформации можно характеризовать линейной зависимостью, причем, это характерно с увеличением количества циклов. Проверку адекватности уравнений проводили по критерию Фишера для 5 % уровня значимости.

По существующей стандартной методике определения остаточной деформации на приборе ЖНЗО-2 [4.18] допустимая остаточная деформация носочной части может составлять не более 1 мм. Поэтому вторым этапом проведения эксперимента было определение количества циклов, при котором величина вмятины систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, составит 1 мм. Испытание систем производилось на приборе для определения формоустойчивости носочной части обуви, описанном в п. 4.2, в котором с помощью индикатора контролировалась величина вмятины, а с помощью счетчика оборотов – количество циклов вдавливания. Параллельно, пользуясь полученными уравнениями расчетным путем были получены теоретические значения количества циклов, при которых величина вмятины систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, составит 1 мм и определяли процент относительной погрешности. Результаты исследований представлены в таблице 4.6.

Для установления степени точности, с которой можно прогнозировать формоустойчивость систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, в динамических условиях, использовали ранее полученные уравнения.

По известной немецкой методике рекомендуется вдавливать пуансон в носочную часть обуви на глубину 5 мм. В предварительном эксперименте было установлено, что характер изменения вмятины на глубину 1 мм близок к линейному. Следовательно, используя те же зависимости, можно определить теоретически возможные значения количества циклов, при которых величина вмятины в образце будет составлять 5 мм. Для определения точности прогнозирования формоустойчивости были проведены испытания, при которых определено количество циклов вдавливания систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, до образования вмятины 5 мм, посчитана относительная погрешность испытаний по сравнению с теоретическими подсчетами. Из-за большой длительности испытания одного образца (2,5 часа) каждого вида системы было испытано по десять образцов.

Результаты исследований динамической формоустойчивости систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, сведены в таблице 4.7.

Таблица 4.6 – Количество циклов вдавливания систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви при величине остаточной деформации 1 мм

Код системы	Вид системы	Количество циклов		Относительная погрешность, %
		экспериментальное	расчетное	
1	2	3	4	5
1	ИК арт. SP-3N + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2170	2174	0
2	ИК арт. SP-3N + термобязь + Sintex 308 + подкладка	4900	4762	3
3	ИК арт. SP-3N + термобязь + термопласт + подкладка	3650		
4	ИК арт. SP-3N + термобязь + Biterm 327 + подкладка	1900	1786	6
1а	ИК арт. EP + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2850	2632	8
2а	ИК арт. EP + термобязь + Sintex 308 + подкладка	3200	3125	2
3а	ИК арт. EP + термобязь + термопласт + подкладка	4550	4545	0
4а	ИК арт. EP + термобязь + Biterm 327 + подкладка	5550	5556	0
1б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2450	2222	9
2б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Sintex308 + подкладка	3200	2941	8
3б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + термопласт + подкладка	2750	2500	9
4б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Biterm 327 + подкладка	1290	1219	5
1в	НК + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	2450	2273	7
2в	НК + термобязь + Sintex308 + подкладка	3800	3448	9
3в	НК + термобязь + термопласт + подкладка	2850	2778	3
4в	НК + термобязь + Biterm 327 + подкладка	1760	1667	5

Таблица 4.7 – Количество циклов вдавливания систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви при величине остаточной деформации 5 мм

Код системы	Вид системы	Количество циклов		Относительная погрешность, %
		экспериментальное	расчетное	
1	2	3	4	5
1	ИК арт. SP-3N + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	10400	10869	5
2	ИК арт. SP-3N + термобязь + Sintex 308 + подкладка	24700	23809	4
3	ИК арт. SP-3N + термобязь + термопласт + подкладка	17500	17241	1
4	ИК арт. SP-3N + термобязь + Biterm 327 + подкладка	8600	8929	4
1а	ИК арт. EP + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	12400	13158	6
2а	ИК арт. EP + термобязь + Sintex 308 + подкладка	15900	15625	2
3а	ИК арт. EP + термобязь + термопласт + подкладка	24700	22727	8
4а	ИК арт. EP + термобязь + Biterm 327 + подкладка	25750	27778	8
1б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	11700	11111	5
2б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Sintex308 + подкладка	14100	14706	4
3б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + термопласт + подкладка	13150	12500	5
4б	ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Biterm 327 + подкладка	6300	6098	3
1в	НК + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	12200	11364	7
2в	НК + термобязь + Sintex308 + подкладка	16200	17241	6
3в	НК + термобязь + термопласт + подкладка	12900	13889	8
4в	НК + термобязь + Biterm 327 + подкладка	7850	8333	6

Анализ таблицы 4.7 показывает, что величины относительной погрешности варьируются от 2 до 8. Это свидетельствует о том, что для определения формоустойчивости систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, можно пользоваться полученными уравнениями, дающими возможность, не проводя длительных испытаний, осуществлять прогноз формоустойчивости носочной части обуви с достаточно хорошей степенью точности, до 8 %.

В основу построения обобщенной функции желательности для оценки формоустойчивости систем материалов верха, имитирующих носочную часть обуви, были положены результаты исследований, описанных в предыдущей главе 3. При этом использована методика, возможность пользования которой доказана в работе [3.125], где установлено, что между остаточной деформацией образцов и формоустойчивостью обуви существует довольно тесная связь.

Одним из наиболее удачных способов решения задачи оптимизации процессов с несколькими откликами является способ Харрингтона [4.21]. В основе построения лежит принцип преобразования натуральных значений откликов в безразмерную шкалу желательности, который изложен выше.

Для построения шкалы желательности обычно пользуются методом количественных оценок с интервалом значений желательности от нуля до единицы. Расчетные данные для построения частных функций желательности приведены в таблице 4.8. Основанием для определения этих значений явился анализ большого объема экспериментальных данных, который позволил сделать вывод, что для систем, имитирующих носочную часть обуви, необходимо брать более жесткие требования. По данным Файбишенко М. А. системы материалов, имеющие статическую формоустойчивость больше 75 %, обеспечивают достаточное качество формования обуви. Однако эти системы не включали в себя такую каркасную деталь, как подносок. На основании многочисленных исследований, проведенных авторами, было установлено, что для систем материалов, включающих подноски, эта величина должна быть больше, так как подносок – это каркасная деталь, участвующая в создании внешнего вида обуви. Поэтому для обеспечения высокой формоустойчивости носочной части обуви ее значение должно быть не менее 85 %.

Таблица 4.8 – Расчетные данные для построения частных функций желательности

Желательность, значение отклика	Оценка по шкале желательности	$\Phi_1, \varepsilon_{\text{ост}}^c, \%$	$\Phi_2, \varepsilon_{\text{ост}}^d, \text{мм}$
Очень хорошо	0,80–1,00	84–100	1,6–0
Хорошо	0,63–0,80	80–84	2,7–1,6
Удовлетворительно	0,37–0,63	75–80	5,0–2,7
Плохо	0,20–0,37	71–75	6,7–5,0
Очень плохо	0,00–0,20	> 71	> 6,7

По данным таблицы построены две частных функции желательности (рисунок 4.14). Функции желательности в этом случае описываются уравнениями следующего вида:

$$d_1 = \exp \left\{ - \left[\frac{100 - y_1}{25} \right]^{3.46} \right\}; \quad (4.17)$$

$$d_2 = \exp \left\{ - \left[\frac{y_2}{5} \right]^{0.48} \right\}. \quad (4.18)$$

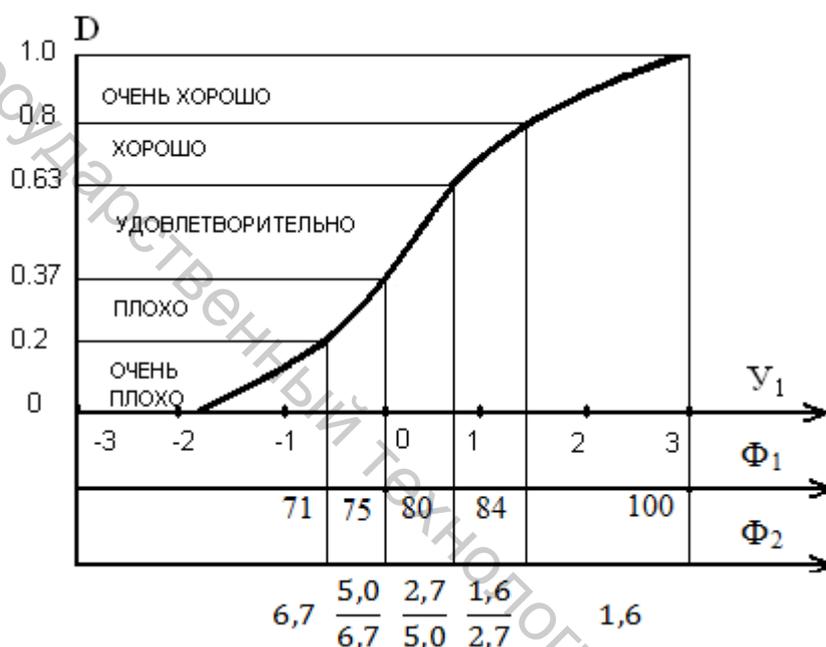


Рисунок 4.14 – Шкала желательности для обобщенного параметра оптимизации, характеризующего формоустойчивость носочной части обуви при ее производстве и в процессе носки

Построение шкалы желательности, которая устанавливает соотношение между значением отклика y_1 ($\epsilon_{\text{ост}}^c$) и соответствующим ему значением d_1 (частная функция желательности), является в своей основе субъективным отношением (производства) к отдельным откликам, тогда как y_2 ($\epsilon_{\text{ост}}^d$) и соответствующее ему значение d_2 – отношением потребителя.

Оценка по шкале желательности позволила определить качественный уровень по разработанным критериям и использовалась для расчета обобщенного показателя формоустойчивости носочной части обуви (D) по формуле (4.14).

Формализация оценки формоустойчивости обуви позволила сопоставить данные, полученные в исследованиях, выполненных по разным методикам, и, кроме того, дала количественную оценку этому важному свойству изделия. Экспериментальные и расчетные данные приведены в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Экспериментальные и расчетные данные частных функций желательности

Вид системы	Натуральное значение отклика		Частные желательности		Обобщенный показатель функции желательности, D
	$\varepsilon_{\text{ост}}^c$ (y ₁)	$\varepsilon_{\text{ост}}^d$ (y ₂)	d ₁	d ₂	
1	2	3	4	5	6
НК + термобязь + Sintex308 + подкладка	93	0,25	0,88	0,88	0,88
НК + термобязь + транс1,4-полиизопрен + подкладка	85	0,40	0,63	0,76	0,69
НК + термобязь + Biterm327 + подкладка	98	0,50	0,98	0,71	0,83
НК + термобязь + термопласт + подкладка	87	0,35	0,70	0,80	0,75
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Sintex 308 + подкладка	88	0,30	0,75	0,82	0,78
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	98	0,40	0,98	0,76	0,86
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + Biterm 327 + подкладка	99	0,75	0,99	0,65	0,80
ИК арт. NEVARA/B5 + термобязь + термопласт + подкладка	93	0,35	0,88	0,80	0,84
ИК арт. EP + термобязь + Sintex 308 + подкладка	87	0,30	0,70	0,82	0,76
ИК арт. EP + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	91	0,35	0,80	0,80	0,80
ИК арт. EP + термобязь + Biterm 327 + подкладка	97	0,17	0,96	0,98	0,95
ИК арт. EP + термобязь + термопласт + подкладка	90	0,20	0,79	0,96	0,87
ИК арт. SP-3N + термобязь + Sintex 308 + подкладка	82	0,20	0,52	0,96	0,71
ИК арт. SP-3N + термобязь + транс 1,4-полиизопрен + подкладка	93	0,45	0,88	0,73	0,80
ИК арт. SP-3N + термобязь + Biterm 327 + подкладка	99	0,50	0,99	0,71	0,84
ИК арт. SP-3N + термобязь + термопласт + подкладка	93	0,23	0,88	0,90	0,89

Анализ таблицы 4.9 показывает, что чем выше натуральное значение отклика $\varepsilon_{\text{ост}}^c$ и ниже натуральное значение отклика $\varepsilon_{\text{ост}}^d$, тем выше значение соответствующих частных желательностей. Кроме того, чем ближе значение обобщенного показателя функции желательности к единице, тем выше формоустойчивость соответствующих систем материалов верха в статических и динамических условиях.

При исследовании формоустойчивости готовой обуви в аккредитованной лаборатории предприятия использовали прибор ЖНЗО-2 без установления в нем грузов. Замеры носочной части обуви проводили на колодке и через 1 час после снятия с колодки. Всего было измерено около 100 пар обуви с натуральными и искусственными кожами для верха обуви. Как и следовало ожидать, статическая формоустойчивость (E^c) находилась в пределах 94–98 % для натуральных кож и 89–92 % для искусственных кож. Следовательно, усадка верха обуви происходит и довольно существенно, хотя это может быть свойственно данному ассортименту обуви с относительно тонкими материалами для подносков (0,7÷0,9 мм). Главное в другом – коэффициент корреляции между испытаниями систем материалов и носочной частью обуви составлял 0,91–0,97, а это означает, что разработанная методика может с успехом использоваться для прогнозирования технологических и эксплуатационных свойств обуви.

Предварительное исследование пяточной части обуви и систем материалов, ее имитирующих также показало высокую сходимость результатов исследования, коэффициент корреляции составил 0,93–0,99. В связи с этим было решено не проводить испытание систем материалов и остановиться на испытаниях готовой обуви.

Согласно разработанной ранее методике были исследованы различные образцы мужской, женской и детской обуви. Из результатов испытаний получено, что при циклическом нагружении изменение величины прогиба (то есть деформации) образца в течение первых трехсот циклов является весьма существенным. Далее эта величина резко падает и ее изменение при дальнейшем нагружении незначительно.

Диаграммы, отображающие экспериментальные кривые изменения величины прогиба образцов, показали, что эти кривые близки к общей степенной теоретической кривой. Поэтому для определения статистической зависимости между деформацией Y и количеством циклических нагружений пяточной части обуви X найдём эмпирическую формулу в виде степенной функции

$$y = a \cdot x^n. \quad (4.19)$$

По методу наименьших квадратов определим регрессионные уравнения для всех испытаний. Для оценки влияния количества циклов

на деформацию рассчитаем коэффициент детерминированности R^2 , который также называют величиной достоверности аппроксимации, или уровнем надежности [4.20]. Коэффициент детерминированности дает количественную оценку меры анализируемой связи. Во всех случаях не ниже 0,9, что говорит о высокой надежности аппроксимации.

Для характеристики точности построенных моделей вычисляем среднюю относительную ошибку $\bar{E}_{отн}$, которая получилась менее 5 %, что свидетельствует о хорошем уровне точности полученных степенных регрессионных моделей.

Результаты регрессионного анализа образцов мужских и полуботинок клеевого метода крепления показал, что коэффициент a изменяется в пределах от 2,05 до 2,7, а показатель степени n – от 0,02 до 0,04. Для мужских полуботинок литьевого метода крепления соответственно: a (1,26–1,93) и n (0,09–0,17).

Для женской обуви диапазон значений выше, что, видимо, связано с различием их конструктивных решений: a – от 2,34 до 3,59 и n – от 0,03 до 0,05. В детской обуви различия меньше: a – от 2,84 до 3,45 и n – от 0,03 до 0,04. Полученные результаты свидетельствуют о том, что закономерности процесса приформовывания пяточной части обуви разных половозрастных групп к стопе имеют одинаковый вид и могут быть описаны общим уравнением.

Полученные результаты исследования динамической формоустойчивости согласуются с поведением обуви в процессе эксплуатации: вначале происходит приформовывание обуви к стопе, и деформация обуви возрастает, затем она практически не увеличивается.

Для оценки объективности разработанной методики была исследована динамическая формоустойчивость 25 полупар полуботинок мужских одного вида, отобранных ранее для определения статической формоустойчивости. Исследование также показало наличие уже ранее определенной степенной регрессии между количеством циклов нагружения и величиной деформации пяточной части образца. Результаты испытаний для одинакового количества циклов получились весьма схожи между собой.

Проведем сравнительный статистический анализ экспериментальных данных. Определим, совпадают ли выборочные дисперсии результатов испытаний каждого образца. Для этого определим наименьшую дисперсию, равную 0,040 – у образца № 17 (табл. 4.10), и сравним ее с наибольшей дисперсией, равной 0,054 – у образца № 3 (4.3). Сравним полученный критерий значимости $Z_{дучн} = 1,366$ со значением квантиля распределения Фишера $F_p = (k_1, k_2)$ при выбранной доверительной вероятности $p = 0,95$ и степенями свободы $k_1 = k_2 = n - 1 = 24$. Находим $F_{0,95} = (24, 24) = 1,984$. Гипотеза о равенстве минимальной и максималь-

ной дисперсий принимается, так как $Z_{дисп} < F_{0,95}$. Таким образом, можно принять равенство между собой и всех остальных дисперсий.

Таблица 4.10 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных испытаний динамической формоустойчивости пяточной части обуви одного вида

№ образца	Дисперсия	Среднее	R ²	$\bar{E}_{отн}$
1	0,043	3,096	0,975	0,817
2	0,048	3,095	0,967	0,929
3	0,054	3,099	0,958	1,202
4	0,053	3,108	0,944	1,360
5	0,049	3,086	0,969	0,874
6	0,048	3,117	0,950	1,384
7	0,044	3,089	0,979	0,650
8	0,050	3,082	0,980	0,624
9	0,044	3,090	0,985	0,601
10	0,044	3,113	0,957	1,263
11	0,043	3,110	0,960	1,116
12	0,049	3,097	0,976	0,853
13	0,046	3,089	0,974	0,728
14	0,050	3,098	0,961	1,069
15	0,050	3,082	0,982	0,598
16	0,043	3,102	0,977	0,853
17	0,040	3,110	0,960	1,071
18	0,046	3,106	0,970	1,021
19	0,048	3,115	0,946	1,419
20	0,047	3,117	0,943	1,365
21	0,051	3,111	0,963	1,205
22	0,052	3,082	0,966	0,803
23	0,046	3,105	0,972	0,990
24	0,048	3,085	0,975	0,750
25	0,049	3,115	0,951	1,319

Для проверки гипотезы о равенстве средних при равенстве выборочных дисперсий используем критерий согласия на основе статистики. Сравним минимальное среднее значение $\bar{x}_2 = 3,082$ с максимальным средним значением $\bar{x}_1 = 3,117$. Данные значения получились у образцов № 15 (минимальное среднее) и № 6 (максимальное среднее). Определим значение квантиля Стьюдента $t_p(k)$, для доверительной вероятности $p = 0,95$ и степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2 = 48$. Находим, что $t_{0,95}(48) \approx 1,680$. Критерий согласия для минимального и максимального

средних $Z_{\text{ср}} = 1,678$. Так как выполняется неравенство $Z_{\text{ср}} < t_p(k)$, то гипотеза о равенстве минимального и максимального средних принимается. Отсюда следует, что можно принять равенство средних значений между собой для результатов испытаний всех образцов.

Из статистического анализа следует, что динамическую формоустойчивость всех 25 испытуемых образцов можно считать одинаковой. Это доказывает объективность разработанной методики оценки динамической формоустойчивости пяточной части обуви. Выведем общее регрессионное уравнение описания зависимости деформации пяточной части от количества циклов нагружения для всех образцов обуви одного вида. Для получения уравнения (4.19) найдем средние значения деформации для каждого количества циклов нагружения. Уравнение степенной регрессии для этих значений получилось $y = 2,506x^{0,037}$. Определим степень надежности аппроксимации и уровень точности полученного регрессионного уравнения для результатов испытаний динамической формоустойчивости пяточной части каждого образца обуви одного вида.

Полученные значения R^2 и средних относительных ошибок говорят о высокой степени точности аппроксимации и хорошем уровне надежности регрессии для экспериментальных данных испытаний каждого из образцов. То есть, можно сказать, что данное уравнение регрессии может адекватно описать зависимость деформации от количества циклов нагружения пяточной части любого образца обуви данного вида. Таким образом, используя описанную методику, можно получить регрессионные уравнения, которые бы позволили прогнозировать значение формоустойчивости пяточной части различных видов обуви в тот или иной период носки.

Как уже отмечалось ранее, формоустойчивость пяточной части обуви включает в себя формоустойчивость как в статических условиях (хранение, транспортирование), так и в динамических (период носки обуви). Следовательно, возможно получить обобщенный или комплексный показатель формоустойчивости пяточной части обуви.

Для проведения комплексной оценки формоустойчивости пяточной части обуви может быть использована обобщенная функция желательности, сформулированная ранее – с использованием стандартных оценок по шкале желательности согласно таблицам 4.3 и 4.8.

При определении оптимальных параметров, в качестве граничных значений, соответствующих оценке, равной 0,37, были использованы нормируемые значения: 1 мм – для статической формоустойчивости (согласно ГОСТ 9135–2004) и 5 мм – для динамической формоустойчивости (на основании DIN 32 768). Значения натуральных показателей для оценки, равной 0,80 определялись исходя из экспериментальных данных, путем нахождения наименьших величин остаточной деформации

ции и деформации после 1000 циклов нагружения. Экспериментальные данные были получены при испытании 95 полупар различных моделей обуви согласно методике оценки эксплуатационных свойств материалов для задников, систем и обуви при статических и динамических нагрузках. Минимальная величина остаточной деформации среди всего объема исследованной обуви составила 0,43 мм. Минимальное значение деформации после 1000 циклов нагружения равно 2,65 мм. Остальные значения показателей были рассчитаны, исходя из формулы (4.18)

$$d_i = e^{-e^{-y_i}}, \quad (4.20)$$

где d_i – частная функция желательности; y_i – соответствующий безразмерный показатель.

Перевести значения размерных (натуральных) показателей качества изделий в безразмерные при линейной зависимости между ними можно по формуле (4.21)

$$y_i = a_0 + a_1 x_i, \quad (4.21)$$

где y_i – безразмерный показатель; x_i – соответствующий натуральный показатель.

Для поиска коэффициентов a_0 и a_1 , составляем систему уравнений для двух любых известных натуральных значений откликов – (4.22)

$$\begin{cases} a_0 + a_1 x_1 = \ln \frac{1}{\ln 1/d_1} \\ a_0 + a_1 x_2 = \ln \frac{1}{\ln 1/d_2} \end{cases}, \quad (4.22)$$

где a_0, a_1 – значения коэффициентов линейного уравнения; d_1, d_2 – значения частных функций желательности; x_1, x_2 – натуральные значения откликов.

Для статической формоустойчивости данная система примет вид (4.23)

$$\begin{cases} a_0 + 0,43a_1 = \ln \frac{1}{\ln 1/0,8} \\ a_0 + a_1 = \ln \frac{1}{\ln 1/0,37} \end{cases}. \quad (4.23)$$

Решая данную систему, находим $a_0 = 2,627$, $a_1 = -2,621$. В результате получаем уравнение зависимости между натуральным ($\epsilon_{ст}$) и безразмерным показателями качества (4.24)

$$y_1 = 2,627 - 2,621x_1. \quad (4.24)$$

Для динамической формоустойчивости система примет вид (4.25)

$$\begin{cases} a_0 + 2,65a_1 = \ln \frac{1}{\ln 1/0,8} \\ a_0 + 5a_1 = \ln \frac{1}{\ln 1/0,37} \end{cases}. \quad (4.25)$$

Из системы (4.25) находим $a_0 = 3,185$, $a_1 = -0,636$. То есть уравнение зависимости между натуральным ($\epsilon_{дин}$) и безразмерным показателями качества будет иметь вид (4.26)

$$y_2 = 3,185 - 0,636x_2. \quad (4.26)$$

Из уравнений (4.24) и (4.26) методом подбора находим значения натуральных и безразмерных показателей качества для соответствующих величин d_i . Расчетные данные для построения функции желательности приведены в таблице 4.11. В таблице натуральные показатели обозначаются как $\epsilon_{ст}$ – остаточная деформация, получаемая при определении статической формоустойчивости и $\epsilon_{дин}$ – как, деформация после 1000 циклов нагружения. Соотношение между значением показателя $\epsilon_{ст}$ и соответствующим ему значением d_1 , является в своей основе субъективным отношением к данному показателю со стороны производителя, тогда как соотношение $\epsilon_{дин}$ и соответствующим ему значением d_2 – отношением со стороны потребителя.

Таблица 4.11 – Расчетные данные для построения частных функций желательности

Желательность	Оценка по шкале желательности d_i	$\epsilon_{ст}$, мм	$\epsilon_{дин}$, мм	у
Очень хорошо	1,00	< 0,43	< 2,65	> 3,00
Хорошо	0,80	0,43	2,65	1,50
Удовлетворительно	0,63	0,71	3,79	0,77
Плохо	0,37	1,00	5,00	0,00
Очень плохо	0,20	1,18	5,76	-0,48
Неприемлемо	0,00	> 1,18	> 5,76	< -2

будет составлять 5 мм (т. е. когда обувь можно считать пришедшей в негодность). Для определения точности прогнозирования формоустойчивости были проведены испытания, в результате которых определено количество циклов вдавливаний пяточной части образцов обуви до образования вмятины 5 мм. Поскольку данные испытания требуют длительного времени, были подвергнуты исследованиям не все образцы, а несколько взятых случайным образом из каждой группы обуви. Из образцов детской и мужской обуви с картонным задником и с задником из ТПМ было отобрано по одной полупаре, из образцов женской обуви ввиду большего их количества – две полупары. Результаты испытаний приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Количество циклов вдавливаний в пяточную часть образцов обуви при величине общей деформации 5 мм

№ и вид образца обуви	Количество циклов		Относительная погрешность, %
	теоретическое	практическое	
18 муж.	1662580	1690000	1,7
6 муж. ТПМ	5270	5200	1,3
20 жен.	2059100	2100000	2,0
39 жен.	1769500	1750000	1,1
14 дет.	998295	1005000	0,7

Анализ таблицы 4.12 показывает, что величины относительной погрешности варьируются от 0,7 до 2,0 %. Это свидетельствует о том, что для определения динамической формоустойчивости пяточной части обуви можно пользоваться полученным ранее уравнением регрессии, дающим возможность, не проводя длительных испытаний, осуществлять прогноз формоустойчивости пяточной части обуви с достаточно высокой степенью точности.

Так же можно заметить, что предельное количество вдавливаний для обуви с картонным задником сравнимо со средним количеством деформаций, испытываемых обувью в течение всего срока ее службы. Количество же вдавливаний для обуви с задником из ТПМ на несколько порядков меньше. Это можно объяснить тем, что картоны и ТПМ имеют различное строение.

Прочностные и пластические свойства ТПМ придают, прежде всего пропитки, а также покрывающие их пленки. Разрушение этих полимерных композиций под действием циклических нагрузок приводит к быстрому ухудшению эксплуатационных свойств ТПМ. Картоны же, вследствие однородности и монолитности своего состава, могут выдерживать значительно большее число нагружений. Таким образом, задники из обувного картона более долговечны, чем задники из ТПМ.

4.5 Прогнозирование формоустойчивости обуви

Повышение надежности конструкций современной обуви связано с приближением расчетных методов к реальным условиям ее носки. Расчетная схема элементов конструкции обуви должна учитывать как действительные условия ее эксплуатации, так и разброс механических свойств основных и вспомогательных материалов, используемых для ее производства [4.24].

Применяемые методы расчета на прочность любых изделий, в том числе и обуви, предполагают постоянство внешних нагрузок, свойств использованных материалов, а также геометрических размеров и форм элементов конструкций. В действительности внешняя нагрузка и расчетная прочность носят случайный характер, находятся под воздействием большого количества разнообразных, часто неконтролируемых случайных воздействий, так как все физические процессы в природе обязательно имеют элементы случайности. Поэтому детерминированные методы расчета содержат погрешность в оценке прочности и надежности в эксплуатации проектируемых конструкций.

Рассматривая случайность как объективно существующую реальность, в расчетную практику в последнее время стали активно внедряться статистические методы, учитывающие элемент случайности и дающие возможность прогнозировать надежность изделия при эксплуатации. Однако применение статистических методов в расчетах конструкций обуви связано с проведением большого объема экспериментальных исследований для установления вероятных характеристик прочности применяемых материалов, включая характеристики условий эксплуатации обуви (изменение внешней и внутренней нагрузки, температуры, влажности, химических воздействий и др.), которые должны определяться в результате массовых наблюдений в однородных условиях, например, опытной носке. Данное требование сопряжено с большими техническими трудностями или практически неосуществимо [4.25, 4.26].

Получить вероятностные характеристики прочностных свойств материалов по одному опытному экземпляру невозможно, т.к. вероятностные методы разработаны только для исследования массовых случайных явлений. В этой связи вероятностная оценка прочности и надежности обуви не носит абсолютного характера, она не позволяет однозначно и количественно точно сделать заключение о ее поведении в эксплуатации. Известно, что вероятностный или статистический метод в науке не противопоставляет себя классическому, обычному методу точных наук, а является его дополнением, позволяющим глубже анализировать явление с учетом присущих ему элементов случайности.

Таким образом, при создании новых изделий больших успехов можно ожидать от правильного сочетания детерминированного, классического метода, с добавлением статистического метода расчета надежности.

Пусть эксплуатация объекта (обуви) выражается в единицах времени t , происходит непрерывно и начинается в момент времени $t = 0$.

Появление отказа t считаем случайной величиной. Тогда вероятность безотказной работы за время $(0; \tau)$ будет равна (4.27)

$$P(t) = (t < \tau) \quad (4.27)$$

Обозначим через N число пар обуви, находящейся в эксплуатации, через $\sum n_i$ – число объектов, отказавших за время t .

Вероятность безотказной работы согласно формуле (4.27) будет (4.28)

$$P(t) = (N - \sum_{i=1}^t n_i) \frac{1}{N} \quad (4.28)$$

В теории надежности широко используют такие характеристики, как плотность вероятности отказов, средняя наработка на отказ и интенсивность отказов.

Оценка вероятности отказа определяется по формуле (4.29)

$$Q(t) = \sum_{i=1}^t n_i \cdot \frac{1}{N} \quad (4.29)$$

Плотность вероятности отказов представляет число отказов в единицу времени, отнесенное к числу пар обуви.

Пусть за время Δt_i число отказавших пар обуви увеличилось на Δn_i , тогда плотность вероятности отказов равна (4.30)

$$f(t) = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \frac{1}{N} \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i} \quad (4.30)$$

Вероятность отказа обуви при наработке t , меньше требуемой t_1 , равна (4.31)

$$P(t \leq t_1) = \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (4.31)$$

Средняя наработка объекта (время реальной эксплуатации обуви) до первого отказа равна (4.32)

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N}, \quad (4.32)$$

где t_i – время безотказной работы i -го объекта (пары обуви).

Интенсивность отказов представляет число отказов в единицу времени, отнесенное к числу пар обуви (N_u), сохранивших работоспособность в данный момент времени (4.33)

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_u} \cdot \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i}. \quad (4.33)$$

Интенсивность отказов связана с плотностью вероятности отказов соотношением (4.34)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (4.34)$$

Для большинства объектов, в том числе и обуви, как инженерной конструкции, изменение интенсивности отказов по времени происходит согласно кривой, представленной на рисунке 4.16.

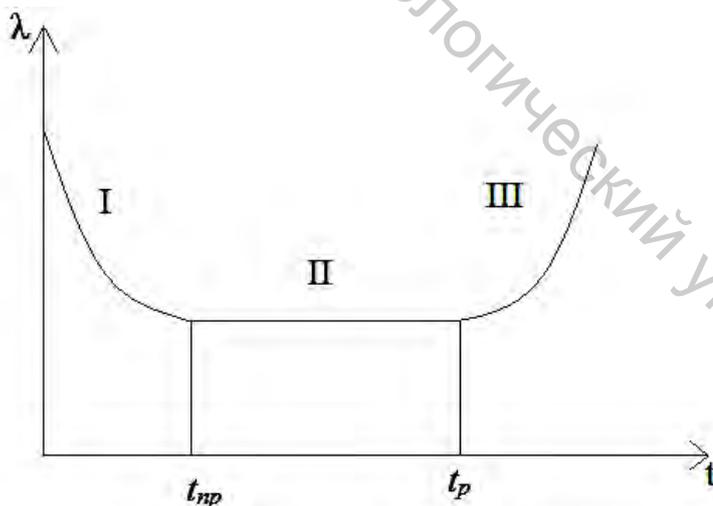


Рисунок 4.16 – Кривая интенсивности отказов

Время наработки условно разделяется на три периода. Первый период, называемый периодом приработки, определяется временем t_{np} и характеризуется, как правило, повышенным значением интенсивности

отказов. Для обуви этот период является периодом приформовываемости к стопе, и обычно он составляет две недели ежедневной носки изделий. Повышение значения интенсивности отказов в этот период объясняется наличием в деталях и узлах новой пары обуви скрытых дефектов, а также большей по величине нагрузкой на обувь в результате механических воздействий стопы. Самые слабые по прочности детали (узлы, соединения) при действии эксплуатационных нагрузок к концу периода выйдут из строя. По мере замены (ремонта) дефектных деталей интенсивность отказов уменьшается и устанавливается приблизительно на постоянном уровне.

Начинается относительно длительный второй период нормальной эксплуатации, когда отказы носят случайный характер, происходят внезапно из-за усталостного разрушения.

К концу второго периода в результате появления постепенных отказов, изнашивания и других процессов интенсивность отказов увеличивается и начинается третий период. Когда в третьем периоде интенсивность отказов достигает некоторого определенного уровня, эксплуатация обуви считается нецелесообразной. Следует сказать, что в обуви высокого качества это может и не произойти, но тогда наступает период ее морального износа.

Ресурс объекта (обуви) определяется продолжительностью от момента окончания приработки t_{np} до момента t_p – начала заметного возрастания интенсивности отказов в конце второго периода. Во втором периоде интенсивность отказов λ можно считать постоянной.

Вероятность безотказной работы описывается уравнением (4.35)

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (4.35)$$

Формула (4.35) выражает экспоненциальный закон надежности. Так как математическое ожидание эксплуатационного ресурса обуви равно $1/\lambda$, то формулу (4.35) можно представить в виде (4.36)

$$P(t) = \exp\left(-\frac{t}{t_c}\right), \quad (4.36)$$

где t_c – средняя наработка на отказ.

Плотность распределения отказов равна (4.37)

$$f(t) = -\frac{dP}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (4.7)$$

Средняя наработка до отказа (4.38) или (4.39)

$$t_c = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt, \quad (4.38)$$

$$t_c = \frac{\sum t}{m}, \quad (4.39)$$

где $\sum t$ – суммарная наработка всех объектов в эксплуатации; m – общее число отказов.

В настоящее время предложено значительное количество статистических моделей, позволяющих описывать законы распределения вероятности безотказной работы объектов. Рассмотрим две статистические модели, часто используемые при оценке надежности машин, конструкций и т. д. Это статистическая модель, в основе которой лежит распределение Вейбулла. Вероятность безотказной работы определяется по формуле (4.40)

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{t_c}\right)^b\right], \quad (4.40)$$

где b – параметр распределения.

Формула (4.40) позволяет описывать многие распределения, включая экспоненциальный закон надежности изделий, имеющих постоянную интенсивность отказов $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ и $b = 1$. Это соответствует периоду, когда отказы при эксплуатации изделий носят случайный характер и происходят от случайных факторов.

Вторая статистическая модель, в основе которой лежит нормальное распределение, применяется в теории надежности, когда отказы связаны с износом деталей.

Плотность распределения вероятности безотказной работы равна (4.41)

$$f(t) = \frac{1}{S_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\bar{t}_c)^2}{2S_t^2}}, \quad (4.41)$$

где \bar{t}_c и S_t – среднее значение времени и среднее квадратическое отклонение наработки до отказа.

Вероятность безотказной работы будет (4.42)

$$P(t) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t - \bar{t}_c}{S_t}\right), \quad (4.42)$$

где Φ – функция Лапласа.

Интенсивность отказов (4.43)

$$\lambda(t) = \frac{e^{-\frac{(t-\bar{t}_c)^2}{2S_t^2}}}{S_t \sqrt{2\pi} \left[\frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{t-\bar{t}_c}{S_t}\right) \right]}. \quad (4.43)$$

При $t_c > \bar{t}_c > 2S_t$ интенсивность отказов можно определить по приближенной формуле (4.44)

$$\lambda(t) \approx \frac{t - \bar{t}_c}{S_t^2}. \quad (4.44)$$

Рассмотрим несколько примеров применения изложенной выше теории к такой конструкции, как обувь. С целью изучения возможности использования велюра, отличающегося низкой динамической формоустойчивостью, для изготовления дошкольной обуви, под наблюдением находились 30 пар дошкольных мокасин с ресурсом 90 дней (рис. 4.17). Результаты экспериментального исследования представлены в таблице 4.13.



Рисунок 4.17 – Десткие мокасины

Таблица 4.13 – Данные исследования

Время наработки на отказ	15	30	45	60	75	90
Число отказавших пар обуви	–	2	3	5	6	10

Определим плотность распределения отказов и интенсивность отказов за ресурс, вероятность безотказной работы за ресурс и среднюю наработку до отказа.

Решение. Число пар обуви, отказавших за время, равно ресурсу

$$\Delta n_i = 0 + 2 + 3 + 5 + 6 + 10 = 26.$$

Плотность распределения отказов для ресурса

$$f(t) = \frac{1}{30} \cdot \frac{26}{90} = 0,00963 \left[\frac{1}{\text{день}} \right].$$

Интенсивность отказов за ресурс

$$\lambda(t) = \frac{1}{30 - 26} \cdot \frac{26}{90} = 0,25 \cdot 0,289 \approx 0,072 \left[\frac{1}{\text{день}} \right].$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-6,5} = 0,0015.$$

Средняя наработка на отказ

$$t_c = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,072} = 13,85 \text{ дней}.$$

Носка обуви осуществлялась в детском саду и была возможность постоянного ее осмотра и регистрации отказов, то есть объекты исследования находились под постоянным наблюдением. Сроки эксплуатации дошкольной летней обуви четко определены временной характеристикой – ребенок носит ее сезон, а далее размеры стопы увеличиваются и дальнейшая носка такого изделия просто невозможна.

Данное исследование выполнялось в рамках научно-исследовательской работы для ОАО «Обувь», г. Могилев [4.27]. Для оценки формоустойчивости использовали методики, изложенные выше в работе. Следует отметить, что обувь внутреннего способа формования отличается невысокой формоустойчивостью, особенно это характерно для бесподкладочной.

Подобный подход был использован на ОАО «Бобруйская обувная фабрика» при разработке конструкций технологии производства рабочей обуви допдельно-клеевого метода крепления [4.28]. В рамках дан-

ной работы оценивалась формоустойчивость, надежность ниточных соединений и верха обуви. Под наблюдением находились 67 пар обуви, а носчиками выступали рабочие как у себя на фабрике, так и на ряде промышленных предприятий г. Бобруйска. В результате проведенной работы удалось улучшить качество обуви и она с успехом выпускалась в течение нескольких лет.

Подобный подход может быть использован для оценки надежности рабочей, спортивной, медицинской, обуви для военнослужащих и т. д. При этом можно оценивать надежность как по отдельным показателям качества обуви, так и в целом надежности всей ее конструкции, а также узлов, соединений и т. п.

Рассмотрим другой пример, для чего воспользуемся данными опубликованными в учебнике [4.29, 4.30, с.109].

В главе 4 «Работа деталей обуви» этого учебника дано описание характера и динамики износа резиновых подошв. По данным Н.Д. Закатовой 1 мм монолитной резиновой подошвы клеевого метода крепления истирается за 60–80 дней. Средняя скорость изнашивания подошвы $\bar{y} = 1/70 = 0,014$ мм/день и среднее квадратическое отклонение скорости изнашивания $S_y = 0,6 \cdot 10^{-3}$ мм/день. Предельный износ подошвы примем равным ее толщине, т. е. 6 мм. Определим диапазон изменения ресурса резиной подошвы.

Так как скорость изнашивания подошвы распределена по нормальному закону, то закон распределения ресурса подошвы также будет описываться нормальным законом.

Минимальное значение ресурса принимается при $P(T) = 0,025$, максимальное значение при $P(T) = 0,975$. Диапазон возможных значений ресурса ($T_{min} \dots T_{max}$) будет охватывать 95 % возможных значений ресурса подошвы.

Закон распределения ресурса подошвы определяется выражением (4.45)

$$P(T) = 1 - \Phi^* \left(\frac{\frac{H}{\bar{y}} - T}{V_y \cdot T} \right), \quad (4.35)$$

где T – распределение ресурса; H – предельный износ; \bar{y} – средняя скорость изнашивания; V_y – коэффициент вариации скорости изнашивания; Φ^* – нормальная функция распределения, H/\bar{y} – ресурс подошвы.

Определим коэффициент вариации скорости изнашивания подошвы

$$V_y = \frac{S_y}{y} = \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{0,014} = 0,043.$$

Средний ресурс подошвы

$$T_{cp} = \frac{H}{y} = \frac{6}{0,014} = 429(\text{дней}).$$

Тогда минимальное значение ресурса подошвы находим из следующего равенства:

$$0,025 = 1 - \Phi^* \left(\frac{429 - T_{\min}}{0,043 \cdot T_{\min}} \right),$$

а максимальное значение из равенства, представленного ниже:

$$0,975 = 1 - \Phi^* \left(\frac{429 - T_{\max}}{0,043 \cdot T_{\max}} \right).$$

Из таблицы значений нормальной функции распределения находим, что для первого случая $x = 1,96$, $T_{\min} = 392$ дня, а для второго случая $x = -1,96$. Откуда $T_{\max} = 468$ дней.

Следовательно, с доверительной вероятностью 0,95 ресурс подошвы находится в диапазоне 392–468 дней. Полученный результат можно считать достаточно правдоподобным, а данный пример показывает, что полученные теоретические результаты на основе экспериментальных статистических данных приведенного выше примера, имеют место быть, а данная методика расчета может быть использована для других конструктивных элементов обуви [4.29].

Определение ресурса подошвы не выходит из общего содержания работы, так как известно, что жесткость деталей низа обуви влияет на ее формоустойчивость. В этом подходе как раз и проявляется его достоинства, позволяющие учитывать все многообразие факторов, влияющих на формоустойчивость обуви.

Автор настоящей монографии более 20 лет активно занимался пешеходным и горным туризмом и имел возможность наблюдать за различными конструкциями обуви как отечественного, так и зарубежного производства. В основном это была обувь сандаально-клеевого, допдельно-клеевого, рантово-клеевого и клеевого методов крепления. В ряде конструкций обуви носочная и пяточная часть подошвы дополнительно

крепилась тремя-пятью гвоздями. С целью повышения безопасности обуви в ней использовались достаточно жесткие подноски и задники. Для верха обуви применяли яловку, бычину, юфть. Обувь для несложных походов была, как правило, бесподкладочной с толщиной материалов верха не менее 1,8 мм, а для более сложных со сквозной кожаной подкладкой и с общей толщиной деталей верха не менее 3,0 мм.

Обувь для туризма часто носят в достаточно неблагоприятных климатических условиях и при больших нагрузках. От прочности этой обуви и надежности ее конструкции зависят жизнь и здоровье человека. Опорной поверхностью для нее могут служить разные виды грунта с разным углом наклона; так, например, походы по горной местности требуют особой походки с постановкой ног по возможности сразу на всю подошву. Основными требованиями к туристской обуви является хорошая формоустойчивость, легкость конструкции и хорошая сцепляемость с различными видами грунта и дорожных покрытий [4.31].

В период носки детали верха обуви подвергаются сложному комплексу воздействий, которые, с одной стороны, определяются функционированием стопы и характером ее движений при ходьбе человека, а с другой стороны – воздействиями внешней среды. Жесткие условия носки такой обуви приводят к быстрому появлению эксплуатационных дефектов. К основным из них отнести разрушение швов верха в закреплении и других участках; трещины, разрывы верха, потертость кожаной подкладки; отрыв подошвы (подложки) от затяжной кромки; выкрашивание подошвы и сильный износ ее рифления; потеря формы (растоптывание, складкообразование, сваливание верха); резкое снижение защитных функций жесткого подноски и задника (потеря стойкости) и т. д. [4.32]. Анализируя работу деталей обуви с точки зрения надежности можно отметить, что любая конструкция обуви – это система элементов, каждый из которой выходит из строя по определенной зависимости. Учитывая то, что в походных условиях произвести сложный ремонт обуви практически невозможно, такая конструкция должна быть надежной, хотя бы на период похода.

Надежность является одним из важных показателей качества обуви. Под надежностью понимаются свойства изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в определенных пределах при заданных режимах работы и условиях использования, его технического обслуживания, ремонта и транспортирования.

Надежность включает в себя показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Показатели безотказности характеризуют свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. Для рассматриваемой обуви эти показатели и будут нас интересовать в первую очередь.

Для решения поставленных целей обувь целесообразно рассматривать как систему. Большое значение на работоспособность системы оказывает как ее внутренняя структура (для обуви – конструкция), включая характеристики отдельных элементов, но и внешние воздействия или условия в которых эта система работает.

Надежность как свойство изделия (детали, узлы или обуви в целом) сохранять свои параметры в заданных пределах и в заданных условиях эксплуатации зависит от большого числа факторов, носящих, как правило, случайный характер. В связи с этим задачу исследования надежности обуви для туризма, то есть по существу задачу определения количественных характеристик надежности целесообразно рассматривать как задачу исследования вероятностных свойств систем (узлов или обуви в целом), функционирующих в реальных условиях, когда на них действуют случайные возмущения.

В проведенных ранее работах показано, что для расчета надежности необходимо определить перечень нормируемых показателей надежности и выбрать показатели свойств обуви, выход за пределы допустимых значений которых можно использовать для расчета показателей надежности. С учетом проведенных исследований в качестве показателей надежности следует взять такие показатели, указанные выше. Оценивать эти показатели следует по изменению формоустойчивости, определяемой изменениями формы и размеров деталей и узлов верха и низа обуви; износостойкости, определяемой износостойкостью материалов деталей и узлов верха и низа обуви, прочностью крепления деталей и узлов; и комфортности обуви, определяемой изменением внутриобувного климата (температуры внутриобувного пространства и относительной влажности).

Как было сказано выше, надежность обуви для туризма существенно зависит от свойств исходных материалов. Предлагается рассматривать обувь как систему, состоящую из трёх подсистем: верх, соединение верха и низа, низ. Такая структура системы доминирующая (исключение может составить цельноформованная обувь, но и ее можно рассматривать как систему с аналогичными подсистемами).

Каждая из подсистем в свою очередь является подсистемой. Подсистемы определяются своими структурами. Наиболее сложной структурой обладает верх. Затем идет низ, и, наконец, соединение низа и верха (соединение может рассматриваться и как элемент). К сложности структуры добавляется еще и их многообразие, хотя обувь для туризма не очень подвержена веяниям моды и это упрощает задачу многообразия.

Имея информацию о надежности отдельных элементов (деталей основных и вспомогательных, то есть материалов, соединений, то есть крепителей), зная структурную схему, и влияние составляющих ее на

надежность получаемой структуры (системы) можно указать функциональную зависимость между надежностью исходных элементов и получаемой системой (4.46)

$$R = R(S, r_1, r_2, r_3), \quad (4.46)$$

где S – структура; r_1 – надежность материалов; r_2 – надежность крепителей; r_3 – надежность каркасных деталей.

Конкретные показатели надежности выбираются исходя из целей исследования. Для конкретной обобщенной структуры, исходя из сказанного, имея набор поэлементных структур S_i , материалов, крепителей и каркасных деталей различной надежности r_{1j} , r_{2k} , r_{3l} , возникает оптимизационная задача: указать такой набор i, j, k, l при котором $R(S, r_{1j}, r_{2k}, r_{3l}) = \text{opt}$. Под opt понимается наилучшее значение выбранного для оценки показателя надежности.

Учитывая конечный набор значений $S_i, r_{1j}, r_{2k}, r_{3l}$ такое решение может быть всегда найдено, а значит в рамках общих и тех же требований к надежности системы (общие показатели, совпадение opt , ...) можно указать лучшую в выбранном смысле систему (базовую), которая, и будет определять рассматриваемую обобщенную. Для проведения расчета надежности конкретной системы (обуви) необходимо выполнить подготовительные операции, которые заключаются в следующем:

- определяются отказы элементов данной системы и осуществляется их классификация. На этом этапе определяют, какой дефект (повреждение) следует отнести к категории отказов и как группировать отказы;

- выясняются законы распределения времени безотказной работы элементов;

- рассчитывается надежность системы в целом с учетом ее структуры. Подобный подход можно использовать для расчета надежности любой конструкции обуви.

Система организации туристических услуг включает снаряжение, экипировку, а также и обувь. Это упрощает задачу для проведения исследований, так как в журналах учета на турбазах (альплагерях) имеются сведения о сроках эксплуатации обуви и даже можно установить количество пройденных километров (в среднем 500–600 км за 3 месяца). Условия носки обуви известны, так как организованные туристы ходят по четко определенным маршрутам. Как правило, обувь покупается у одного производителя, реже у нескольких. Это позволяет, при необходимости, получить дополнительные сведения о материалах, из которых она изготовлена.

Остановимся на одной из разработок, которой руководил автор настоящей монографии. Объектом исследования были ботинки для туризма

легкого типа сандаально-клеевого метода крепления, с верхом из яловки, со сквозной кожаной подкладкой. В качестве каркасных деталей верха использованы термопластичный подносок и кожкартонный задник. Материалы для низа обуви: вкладная стелька из материала подкладки, кожаная подложка и резиновая подошва «Вибрам» (рис. 4.18).



Рисунок 4.18 – Обувь с подошвой «Вибрам»

Основной целью данной работы было нахождение рационального комплекта материалов для обуви, позволяющего повысить ее долговечность и снизить материальные затраты, связанные с ее ремонтом. В процессе выполнения данной работы, которая продолжалась 2 года, были проанализированы более 200 пар обуви. Фиксировали следующие дефекты обуви:

- потеря формоустойчивости верха обуви, включая ее носочную и пяточную часть;
- износ подошвы;
- разрушение ниточных швов заготовки верха;
- разрушение соединений верха с подложкой (ниточный шов);
- разрушение клеевого соединения подошвы с подложкой.

В результате проведенных исследований было установлено, что разрушение ниточных швов заготовки встречается уже на 10–11 день носки, а через полтора месяца практически во всех парах. Разрушение ниточного шва, скрепляющего заготовку с подложкой, наступает несколько позже – через 3–4 недели носки и через три–четыре месяца в 60 % парах обуви. Отклеивание подошвы также часто встречаемый дефект – за летний сезон около 70 % пар обуви. Рифление подошвы за сезон носки вынашивалось почти полностью. За первый год наблюдения обуви на турбазах не удалось установить какой-либо четко определенной

закономерности потери ее формы, хотя растаптывание верха, оседание задника, искажение формы носочной части обуви встречалось в каждой второй паре.

По результатам анализа дефектов обуви за первый год исследования были даны рекомендации по совершенствованию технологии ее производства:

- заменить х/б нитки торговых номеров 10 и 20 на №100 ЛХ для сборки заготовки верха обуви;
- заменить декоративный поливинилхлоридный рант на кожаный, так как разрушение ниточного соединения верха с подложкой происходило из-за истирания ниток в шве в местах излома ранта.

Обувь для туризма находится в условиях постоянного увлажнения и высушивания, причем иногда в очень жестких условиях – у костра. Все это приводит как к потере формы верха, так и разрушению элементов конструкции обуви. Кожаная подложка при увлажнении существенно изменяет свои геометрические размеры (толщину, площадь), что приводит к повышенным тангенциальным напряжениям в клеевом шве системы «подложка – резиновая подошва», а, следовательно, и к его разрушению. Пересушивание обуви также будет влиять на прочность клеевого шва. Особенно это будет влиять в области торцевой поверхности деталей низа обуви. В результате этого было рекомендовано изготовить подложку из пористой кожеподобной резины с толщиной 2,6–3,0 мм и плотностью 0,7 г/см³, или пористой резины с плотностью не менее 0,8 г/см³.

Второй год работы был посвящен устранению двух оставшихся критических дефектов обуви, влияющих на ее безотказность: формоустойчивость верха обуви и повышение износостойкости подошвы. Для проведения этого этапа работы была изготовлена партия обуви – 120 пар, которая и находилась под наблюдением в течении всего летнего периода – 90 дней. В этой партии обуви были учтены наши предложения, отмеченные за первый год работы.

Таким образом, под наблюдением мы имели 120 пар туристских ботинок с ресурсом 90 дней. Исследования формоустойчивости обуви и износостойкости подошв проходили одновременно на этих парах. Прочность соединений деталей обуви также фиксировалась и ниже будет приведена в сравнении с предыдущими данными.

Результаты экспериментального исследования формоустойчивости обуви приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Формоустойчивость обуви

Время наработки на отказ	15	30	45	60	75	90
Число отказавших пар обуви	–	6	18	23	36	8

Здесь следует оговориться – обувь продолжают носить на турбазах, даже если она потеряла форму. Не носят только то, что нельзя уже отремонтировать.

Определим плотность распределения отказов за ресурс, вероятность безотказной работы за ресурс и среднюю наработку до отказа.

Решение. Число пар обуви, отказавших за время, равное ресурсу

$$\Delta n_i = 0 + 6 + 18 + 23 + 36 + 8 = 91 .$$

Плотность распределения отказов для ресурса

$$f(t) = \frac{1}{120} \cdot \frac{91}{90} = 0,0084 \left[\frac{1}{\text{день}} \right] .$$

Интенсивность отказов за ресурс

$$\lambda(t) = \frac{1}{120 - 91} \cdot \frac{91}{90} \approx 0,0345 \left[\frac{1}{\text{день}} \right] .$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-3,1} = 0,045 .$$

Средняя наработка на отказ

$$t_c = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0345} = 29 \text{ дней} .$$

Это конечно мало, но обувь продолжают носить, даже если приходится надевать по 2–3 носка на стопу, чтобы ощутить эффект – впорность обуви.

Теперь рассмотрим ресурс подошвы данной обуви. Состояние подошвы обуви перед походом инструктора турбаз и альплагерей оценивают более тщательно. Если поход осуществляется по равнинной местности, то конечно требования менее жесткие, чем в горах. Рифление подошвы должно обеспечивать надежное сцепление с грунтом. Качественная и надежная обувь – это гарантия снижения травматизма в горах. Здесь критерием оценки было полное изнашивание рифления подошвы в области носка или плюснефалангового сочленения.

В первый год данной работы измерялась глубина рифления подошвы резиновой «Вибрам» через каждые 15 дней носки. Было уста-

новлено, что уменьшение высоты рифов происходит по линейному закону. Высота рифов в носочно-пучковой части подошвы составляла 7 мм. Динамика их износа составляла в среднем 1,2 мм за 15 дней. Скорость изнашивания подошвы $\dot{y} = 1,2 / 15 \approx 0,08$ мм/день и среднее квадратическое отклонение скорости изнашивания $S_y = 0,2 \cdot 10^{-2}$ мм/день. Предельный износ подошвы примем равным высоте рифов, то есть 7 мм. Определим диапазон изменения ресурса резиновой подошвы.

Так как скорость изнашивания подошвы распределена по нормальному закону, то закон распределения ресурса подошвы также будет описываться нормальным законом.

Минимальное значение ресурса принимается при $P(T) = 0,025$, максимальное значение при $P(T) = 0,975$. Диапазон возможных значений ресурса ($T_{\min} \dots T_{\max}$) будет охватывать 95 % возможных значений ресурса подошвы.

Закон распределения ресурса подошвы определяется выражением (4.45).

Определим коэффициент вариации скорости изнашивания подошвы

$$V_y = \frac{S_y}{y} = \frac{0,2 \cdot 10^{-2}}{0,08} = 0,25.$$

Средний ресурс подошвы:

$$T_{cp} = \frac{H}{y} = \frac{7}{0,08} = 87 \text{ (дней)}.$$

Тогда минимальное значение ресурса подошвы находим из следующего равенства:

$$0,025 = 1 - \Phi^* \left(\frac{87 - T_{\min}}{0,25 \cdot T_{\min}} \right);$$

а максимальное значение из равенства, представленного ниже:

$$0,975 = 1 - \Phi^* \left(\frac{87 - T_{\max}}{0,25 \cdot T_{\max}} \right).$$

Из таблицы значений нормальной функции распределения находим что для первого случая $x = 1,96$, $T_{min} = 58$ дней, а для второго случая $x = -1,96$. Откуда $T_{max} = 165$ дней.

Следовательно, с доверительной вероятностью 0,95 ресурс подошвы находится в диапазоне 50–170 дней. Полученный результат конечно не радует, так как за 2–3 месяца носки подошва приходит в негодность. Менять ее не будут, а обувь использовать в гористой местности нельзя.

В целом со швами проблему удалось частично решить:

- дефект ниточных швов в заготовках верха стал встречаться в 2–3 раза реже;
- разрушение ниточного соединения «затяжная кромка – подложка» снизился на 40 %;
- снизился дефект – отклей подошв до 30 %.

Рекомендации, связанные с повышением формоустойчивости, в основном касались двух направлений:

- замена лицевых кож из КРС на легкую юфть с содержанием жирющих веществ в количестве 6–12 % или применение гидрофобизирующих пропиток (обрабатывать обувь с периодичностью после каждого похода, а это в среднем через 5–7 дней);
- замена кожкартонных задников на термопластичные с толщиной 2,5–3,0 мм, а также подносков – толщиной не менее 1,2–1,5 мм.

Износ рифления подошв можно было решить только заменой материала низа – применением износотойкой резины.

В завершении этой части монографии следует остановиться еще на одной проблеме – равнопрочности элементов конструкции обуви. Для обуви, о которой речь шла выше, это актуально, так как ее сложно качественно отремонтировать в горах. Если подошва отклеилась, то ее пришивают, и шов на ходовой поверхности подошвы редко выдерживает 1–3 дня похода. Наверное, это актуально и для повседневной обуви. Современные материалы и технологии производства обуви позволяют это сделать. Вся проблема заключается в том, что еще недостаточно хорошо и адекватно можно оценивать и прогнозировать эксплуатационные свойства материалов на стадии подготовки к производству обуви.

Предложена методология, основанная на новом подходе к концепции создания экономичных и эффективных средств (приборов, стандов, устройств) оценки формоустойчивости обуви и эксплуатационных свойств товаров. В основу этой методологии положен имитационный принцип нагружения объектов исследования, базирующийся на нагружениях, возникающих в материалах в процессе эксплуатации изделий, позволяющий сократить длительность и повысить точность при проведении испытаний. Данная методология может стать базовой основой для создания высокоскоростных пульсаторов, имитирующих воздейст-

вие стопы на обувь и создающих при этом напряжение в материалах эквивалентные тем, которые возникают при носке изделий.

Разработана и изготовлена установка для исследования свойств обувных материалов при многоцикловых нагружениях. Отличительной особенностью ее является то, что в образцах создаются напряжения, близкие к условиям носки обуви, а, следовательно, можно оценивать не только прочностные характеристики, но и формоустойчивость изделий.

Разработан способ, сконструирован и изготовлен прибор для исследования материалов, их систем, носочной и пяточной частей обуви, основанный на статическом и динамическом нагружениях образцов и изделий, принципиально отличающийся от известных методов принципом нагружения.

Установлены зависимости, связывающие параметры основных технологических процессов формования заготовок верха с величиной остаточных деформаций материалов после динамических нагрузок, имитирующих процесс носки обуви.

Полученные зависимости могут быть использованы для расчета режимов формования заготовок верха, учитывающие условия носки обуви.

Исследованы новые материалы для каркасных деталей обуви. Установлено, что их формоустойчивость при испытании в статических условиях изменяется несущественно. Однако формоустойчивость систем материалов после динамических нагружений, в отличие от этого же показателя в статических условиях, изменяется несущественно. Предложено оценивать свойства систем материалов и обуви в статике и динамике с использованием функции желательности. Получены математические зависимости, позволяющие прогнозировать формоустойчивость систем материалов и обуви в носке с достаточно высокой степенью точности (до 10 %).

В главе изложен методический подход к практическому использованию некоторых статистических методов расчета на прочность и надежность элементов конструкций обуви. Тем не менее, основная часть обуви – повседневная, наблюдаться подобным образом не может. Однако в дальнейших публикациях авторы покажут подходы к решению подобного рода задач, основываясь на отказах, зарегистрированных в процессе гарантийного срока носки обуви, статистических данных, полученных при ремонте изделий, а также попытаются связать некоторые виды лабораторных испытаний с прогнозированием надежности элементов конструкции обуви и оценкой ее качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 4.1 Мартино, Дж. Технологическое прогнозирование / Дж. Мартино. – Москва : Прогресс, 1977. – 591 с.
- 4.2 Буркин, А. Н. Оптимизация технологического процесса формования верха обуви: монография / А. Н. Буркин. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – 220 с.
- 4.3 Амбарцумян, С. А. Общая теория анизотропных оболочек. – Москва, «Наука», 1974. – 466 с.
- 4.4 Политехнический словарь / Ред. кол.: А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : П 50 Большая Российская энциклопедия, 2000. – 656 с.: ил.
- 4.5 Буркин, А. Н., Шевцова, М. В. Оценка свойств термопластических материалов для подносок обуви: монография / А. Н. Буркин, М. В. Шевцова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 181 с.
- 4.6 Николаева, М. А. Теоретические основы товароведения: учеб. для вузов / М. А. Николаева. – Минск : Норма, 2007. – 448 с.
- 4.7 Теоретические основы товароведения: учеб. пособие / В. Е. Сыцко [и др.]; под общ. ред. В. Е. Сыцко. – Минск : Выш.шк., 2009. – 208 с.
- 4.8 Калита, А. Н. О деформации стопы в плюсно-фаланговом сочленении / А. Н. Калита, Т. С. Кочеткова, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1963. – № 2. – С.75–82.
- 4.9 Цветков, В. Н. Элементы теории механических креплений низа обуви / В. Н. Цветков. – Москва : Гизлегпром, 1958. – 338 с.
- 4.10 Медзерян, Д. Е. Исследование соотношения размеров и формы стоп и кожаной обуви: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / Д. Е. Медзерян; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва : 1974. – 18 с.
- 4.11 Медзерян, Д. Е. Исследование интервалов безразличия обуви / Д. Е. Медзерян, А. В. Павлин, О. В. Фарниева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 7. – С. 45–47, № 9. – С. 43–45.
- 4.12 Калита, А. Н. Исследование деформации верха обуви при изгибе с целью повышения его износостойкости и формоустойчивости: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / А. Н. Калита; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1966. – 24 с.
- 4.13 Зыбин, Ю. П. Конструирование изделий из кожи: учебник для студентов вузов / Ю. П. Зыбин, В. М. Ключникова, Т. С. Кочеткова, В. А. Фукин. – Москва : Лёгкая индустрия, 1982. – 320 с.
- 4.14 Любич, М. Г. Свойства обуви / М. Г. Любич. – Москва : Лёгкая индустрия, 1969. – 256 с.

4.15 Шевцова, М. В. Определение формоустойчивости носочной части обуви в динамических условиях и оценка свойств материалов для подносков: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.19.08 / М. В. Шевцова; БТЭУ. – Гомель, 2004. – 24 с.

4.16 Буркин, А. Н. Прибор для определения формоустойчивости носочной части обуви / А. Н. Буркин, М. В. Шевцова, О. А. Терентьева // Текстиль, одежда, обувь: дизайн и производство: сб. статей междунауч. конф. / ВГТУ. – Витебск, 2002. – С. 170–174.

4.17 Прибор для определения формоустойчивости носочной части обуви: пат. 960 Респ. Беларусь, МПК7 G 01N 3/00 A 43D 1/00 / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, М. В. Шевцова, О. А. Терентьева; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет», № u20020266; заявл. 17.09.2002; опубл. 1.04.2003 // Афіцыйны Бюлетэнь Дзяржаўнага пат. ведамства Рэсп. Беларусь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 3(38). – С. 307.

4.18 ГОСТ 9135–2004. Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноски и задника. – Москва : Издательство стандартов, 2005. – 8 с.

4.19 Прибор для оценки формоустойчивости носочной и пяточной части обуви: пат. на полезную модель 5524 Респ. Беларусь, МПК G01N3/00 / А. Н. Буркин, П. Г. Деркаченко, М. В. Шевцова; заявители А. Н. Буркин, П. Г. Деркаченко, М. В. Шевцова. – № u20090119; заявл. 17.02.2009.

4.20 Виноградов, Ю. С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности / Ю. С. Виноградов. – Москва : Легкая индустрия, 1970. – 312 с.

4.21 Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Гриновский, 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Наука, 1976. – 279 с.

4.22 Подиновский, В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В. В. Подиновский, В. М. Гаврилов. – Москва : Сов. радио, 1975. – 192 с.

4.23 Ахназарова, С. Л., Кафаров, В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии – Москва : Высшая школа, 1978. – 319 с.

4.24 Материаловедение кожевенно-обувного производства: учеб. пособие / А. Н. Буркин [и др.]. – Минск : беларус. энцикл. им. П. Бровки, 2011. – 310 с.

4.25 Сосновский, Л. А. Механика износоусталостного повреждения. – БелГУТ, 2007. – 434 с.

4.26 Василевич, Ю. В., Подскребко, М. Д., Неумержицкая, Е. Ю. «Статистические методы в расчетах на прочность и надежность элементов конструкций» / Трибофатика = Tribo-fatigue : труды VI Междунар.

симп. по трибофатике МСТФ 2010. Минск, 25 окт. – 1 нояб. 2010 г. В 2 ч. Ч. 1 / редкол.: М. А. Журавков (пред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2010. – 839 с. – С. 229–232.

4.27 Разработка конструктивных и технологических решений при проектировании и производстве гусариковых и дошкольных мокасин : отчет о НИР № ГР 01.86.0006123 / ВТИЛП; рук. Буркин А. Н.; испол. Смелков В. К. [и др.]. – Витебск, 1987. – 120 с.

4.28 Разработка элементов конструкции и технологии сборки рабочей обуви : отчет о НИР : ВТИЛП; рук. Буркин А. Н.; испол. Потапова К. Ф. – Витебск, 1993. – 34 с.

4.29 Долган, М. И. Методы расчета на прочность и надежность элементов конструкции обуви / М. И. Долган, А. Н. Буркин, К. Г. Коновалов // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – Санкт-Петербург, 2013. – № 1 – С. 71–74.

4.30 Закатова, Н. Д., Михеева, Е. Я. Эксплуатационные свойства обувных материалов и деталей : монография / Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева. – Москва : Легкая индустрия, 1966. – 214 с.

4.31 Буркин, А. Н., Сидорков, А. Л., Федоров, В. В. Проблемы разработки и производства качественной обуви для туризма. Сб. трудов Международного конгресса «Физическая культура, спорт, туризм в новых условиях развития стран СНГ», ч. 2. – Минск, 1999.

4.32 Буркин, А. Н. и др. Безопасность обуви для туризма. – Минск : «Новости. Стандартизация и сертификация», № 1, 2000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований, анализа литературных источников, а также опыта работы предприятий и организаций получены и систематизированы факторы, влияющие на формоустойчивость обуви в процессе ее производства, хранения и носки. Предложена структура видов проявления потери формы обуви в процессе ее носки и хранения, включающая: изменение внутреннего объема носочно-пучковой части, подъем носочной части, складкообразование в области союзки, смещение верха обуви по отношению к деталям низа и изменение периметра верха обуви в пучковой части.

Впервые обоснованы факторы, определяющие критерии формоустойчивости обуви. Ими являются: смещение верха S , время нагружения обуви t , время релаксации материала τ , давление P , оказываемое стопой на внутреннюю поверхность обуви, работа разрыва материала верха R , суммарная высота складок на поверхности носочно-пучковой части ΣH , усредненная характеристика интенсивности складкообразования $H_{\text{ср}}$, периметр обуви в сечении $0,68/0,72 D_{\text{ст}}$, размер обуви N , угол подъема носочной части обуви $\text{tg}\varphi$. Определена модель, описывающая зависимость величины изменения объема обуви в процессе ее эксплуатации от перечисленных выше факторов, с применением анализа размерности. Используя методы множественного регрессионного анализа, определены коэффициенты влияния факторов на критерий формоустойчивости верха.

В качестве критерия оценки формоустойчивости систем материалов верха обуви введен показатель K_f , представляющий собой отношение площади системы, подвергшейся нагружению в течение определенного времени S , к первоначальной площади системы S_0 . Определены показатели, определяющие критерий формоустойчивости систем. В их число входят: модуль жесткости при растяжении E , динамическая вязкость полимерного материала η , время деформирования системы материалов t , общее удлинение Δl и остаточное удлинение $\Delta l_{\text{ост}}$. Получены математические зависимости, связывающие величину S/S_0 с перечисленными факторами.

Разработаны методики, установка, приспособление и устройства для исследования свойств обувных материалов при одноосном и двухосном растяжениях. Разработаны методы и средства исследования свойств материалов для каркасных деталей обуви, а также носочной и пяточной ее частей, принципиально отличающиеся от известных и позволяющие более достоверно оценить качество изделий.

Получены математические зависимости, связывающие режимы

основных технологических факторов: влажности материалов, их деформации и температурных воздействий с величиной относительной остаточной деформации материала, систем и узлов обуви. Следует отметить, что достаточной формоустойчивости обуви можно добиться при определенных параметрах указанных выше факторов, свойственных каждой группе материалов верха, а, следовательно, это требует оценки и прогнозирования их свойств на стадии подготовки производства.

Исследованы новые термопластичные материалы для подносков и системы, имитирующие носочную часть обуви. Установлено, что их формоустойчивость при испытаниях в статических условиях изменяется незначительно. Подобные результаты получены и для термопластичных материалов, применяемых для задников обуви. Исследованы технологические свойства современных кожкартонов для задников. В целом следует отметить, что используемые в настоящее время материалы для каркасных деталей обуви обеспечивают достаточную ее формоустойчивость в носочной и пяточной частях.

На основе данных, полученных в результате исследований, было установлено, что с целью сохранения высоких эксплуатационных свойств натуральной кожи при интенсифицированных способах фиксации верха, необходимо увлажнять заготовку на 20–25 % и затем деформировать ее при формовании до 15–20 %, а фиксацию формы проводить при температуре материала не более 105 °С в течение 8–12 минут. Установлено, что в этом диапазоне режимов формования верха обуви можно работать практически с любыми видами кожевенных материалов. Режимы формования заготовок верха из искусственных кож нужно разрабатывать для каждого конкретного вида, учитывая при этом структуру основы, степень ее пропитки, а также химическую природу покрытий.

Для оценки динамической формоустойчивости систем материалов верха обуви авторами настоящей монографии разработан метод и устройство, позволяющие приблизить характер эксплуатационных воздействий на системы верха к реальным условиям носки обуви. Кроме циклических нагрузжений, на устройстве можно имитировать воздействие пота, выделяемого стопой при носке, а также регулировать температурные режимы окружающей среды и скоростные режимы деформирования.

Предложен усовершенствованный метод оценки формоустойчивости носочно-пучковой части обуви, позволяющий исключить влияние объема носочной части на результаты измерений и получать сопоставимые результаты при исследовании обуви с разной формой и объемом носочной части.

Проведено комплексное исследование систем материалов по показателям статической формоустойчивости, которое показало, что верх обуви с более растяжимыми материалами подкладки способен лучше сохранять форму обуви на этапе, предшествующем носке. Статическая формоустойчивость систем с нетканым материалом несколько выше, чем с натуральной кожей.

При динамическом нагружении наблюдается интенсивное изменение площади систем в первые 45 дней условной эксплуатации. Наиболее выражен такой характер изменения в системах с трикотажным и нетканым полотном.

Разработана и изготовлена установка для исследования свойства обувных материалов при многоцикловых нагружениях. Отличительной особенностью ее является то, что в образцах создаются напряжения, близкие к условиям носки обуви, а, следовательно, можно оценивать не только прочностные характеристики, но и формоустойчивость изделий. Разработан способ, сконструирован и изготовлен прибор для исследования материалов, их систем, носочной и пяточной частей обуви, основанный на статическом и динамическом нагружениях образцов и изделий, принципиально отличающийся от известных методов способом нагружения.

Установлены зависимости, связывающие параметры основных технологических процессов формования заготовок верха с величиной остаточных деформаций материалов после динамических нагрузок, имитирующих процесс носки обуви. Полученные зависимости могут быть использованы для расчета режимов формования заготовок верха, учитывающие условия носки обуви.

Оценка формоустойчивости готовой обуви, осуществленная по ряду показателей, свидетельствует о более быстрой приформовываемости к стопе кожаной обуви с растяжимыми подкладочными материалами и неткаными полотнами в качестве материала верха. Абсолютные величины изменения показателей такой обуви в процессе носки выше, чем в обуви с традиционными материалами. Выявлена высокая согласованность между результатами испытаний в лабораторных условиях и опытной носки. Коэффициенты корреляции варьируют от 0,8 до 0,96.

Предложена методология, основанная на новом подходе к концепции создания экономичных и эффективных средств (приборов, стендов, устройств) оценки формоустойчивости обуви и эксплуатационных свойств товаров. В основу этой методологии положен имитационный принцип нагружения объектов исследования,

базирующийся на нагрузениях, возникающих в материалах в процессе эксплуатации изделий, позволяющий сократить длительность и повысить точность при проведении испытаний. Данная методология может стать базовой основой для создания высокоскоростных пульсаторов, имитирующих воздействие стопы на обувь и создающих при этом напряжение в материалах эквивалентные тем, которые возникают при носке изделий.

В монографии изложен принципиально новый подход к практическому использованию некоторых статистических методов расчета на прочность и надежность элементов конструкций обуви.

Витебский государственный технологический университет

Научное издание

Буркин Александр Николаевич
Шеремет Елена Анатольевна

ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ОБУВИ

Монография

Редактор *Н. В. Медведева*
Корректор *Н. В. Медведева*
Компьютерная верстка *Н. В. Абазовская, А. Н. Радюк*

Подписано к печати 30.12.2016. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 21,3.
Уч.-изд. листов 24,7. Тираж 50 экз. Заказ № 408.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.