

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧЕЙ ОБУВИ

METHODOLOGY OF RESEARCH OF WEAR RESISTANCE OF WORKING FOOTWEAR

УДК 685.34.017.8

К.Г. Коновалов¹, А.Н. Буркин^{2*}

¹ ООО «Сарматия-Норд»

² Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2019-13606>

K. Konovalov¹, A. Burkin^{2*}

¹ ООО Sarmatia-Nord

² Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МЕТОДИКА, ОБУВЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ, ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ, РЕСУРС

Статья посвящена разработке методологии исследования износостойкости рабочей обуви, позволяющей оценивать и прогнозировать ее эксплуатационные свойства. Предложенный подход к оценке эксплуатационных свойств обуви основан на теории надежности и предполагает определение ресурса ее составных частей как взаимосвязанных элементов, имеющих общую иерархическую схему.

Объект исследований – рабочая обувь производства ОАО «Труд», г. Гомель.

Использованные методы – системный анализ, методы теории надежности.

Результаты работы – разработана методология исследования износостойкости рабочей обуви.

Область применения результатов работы – обувная промышленность.

Научная новизна работы заключается в том, что предложенная методология позволяет определить ресурс материалов, деталей и узлов и готовой обуви, что является основополагающим в создании ее рациональной конструкции.

ABSTRACT

TECHNIQUE, FOOTWEAR, RELIABILITY, WEAR RESISTANCE, FORM RESISTANCE, RESOURCE

The article is devoted to development of research methodology of wear resistance of working footwear. It allows evaluating and predicting its operational properties. The proposed approach to assessing the performance properties of working footwear is based on the theory of reliability. The research involves defining the resource of its constituent parts as interrelated elements having a common hierarchical scheme.

Современная рабочая обувь является важным элементом экипировки рабочего. Это и защита ног рабочего и средство нормального функционирования всего организма в процессе трудового дня, которая должна иметь также определенные эстетические свойства.

Рабочая обувь – это своего рода индивидуальное средство защиты, позволяющее снизить

риски получения производственных травм. В связи с этим обувь должна защищать от ударов, проколов, низких и высоких температур, от скольжения, воды, нефтепродуктов, кислот, щелочей и т. д. Это серьезные требования к изделию, которое должно выполнять свои функции в период определенного срока его эксплуатации.

В период носки детали верха обуви подвер-

* E-mail: stand_vstu@tut.by (A. Burkin)

гаются 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 можно отнести: разрушение швов верха в закрепе и других участках, трещины, разрывы верха, потертость кожаной подкладки, отрыв подошвы 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. Анализируя работу деталей обуви с точки зрения надежности, можно отметить, что любая конструкция обуви – это система элементов, каждый из которых выходит из строя по определенной зависимости. Такая конструкция должна быть надежной в течение всего срока ее службы.

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, а также в процессе хранения.

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 не только 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, узла 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 рабочей обуви, то есть по существу задачу определения количественных характеристик надежности целесообразно рассматривать как задачу исследования вероятностных свойств системы (узлов или обуви в целом), функционирующей в реальных условиях, когда на нее действуют случайные возмущения.

В проведенных ранее работах показано, что для расчета надежности необходимо определить перечень нормируемых показателей надежности и выбрать показатели свойств обуви, выходя за пределы допустимых значений которых можно использовать для расчета показателей надежности. 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; комфортности обуви, определяемой изменением внутриобувного климата (температуры внутриобувного пространства и относительной влажности) [1, 2].

Как было сказано выше, надежность рабочей обуви 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 определяется своей структурой. 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 рабочая обувь не очень подвержена веяниям моды, что упрощает задачу многообразия.

Имея информацию о надежности отдельных элементов (деталей, основных и вспомогательных материалов, соединений, узлов и т. д.), зная иерархическую схему обуви (конструкция обуви) и влияние составляющих ее на надежность получаемой структуры (системы), можно указать функциональную зависимость между надежно-

стью ее исходных элементов (1).

$$R = R(S, r_1, r_2, r_3), \quad (1)$$

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 $R(S, r_{1j}, r_{2k}, r_{3l}) = opt$. 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 производства включает обеспечение рабочих одеждой и обувью. Это упрощает задачу для проведения исследований, так как имеются сведения о сроках эксплуатации обуви и можно определить количественные характеристики, связанные с условиями ее носки. Как правило, обувь покупается у одного производителя, реже – у нескольких. Это поз-

воляет, при необходимости, получить дополнительные сведения о материалах, из которых она изготовлена.

Объектом исследования были рабочие ботинки (рисунок 1), изготовленные на ОАО «Труд», г. Гомель. Данные ботинки изготовлены в соответствии со следующими нормативными документами: ГОСТ 12.4.137-2001 «Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия» и ГОСТ 28507-90 «Обувь специальная кожаная для защиты от механических воздействий. Общие технические условия» [3, 4]. Это износостойчивая, масло-, бензостойкая, электрорезистентная, пыле-, влагозащищенная производственная обувь. Ботинки произведены с цельными союзками и настрочными берцами. В пяточной части заготовки верха расположена мягкая вставка из искусственной кожи на трикотажной основе. Материал, применяемый при производстве наружных деталей заготовки, – юфта, а подошвы – пенополиуретан. Подошва крепится с помощью литьевого метода. Заготовка верха обуви объемная. Такая конструкция заготовки используется для обуви внутреннего способа формования.

Основная цель работы заключается в расчете ресурса материалов и элементов конструкции рабочей обуви. В процессе выполнения данной работы, которая продолжалась 2 года, были проанализированы в первый год 34 пары обуви. Фиксировали следующие дефекты обуви:

- потеря формоустойчивости верха обуви, включая носочную и пяточную часть;

- износ подошвы;

- разрушение ниточных швов заготовки верха;

- разрушение соединения подошвы с верхом.

В результате проведенных исследований было установлено, что разрушение ниточных швов заготовки встречается крайне редко. Разрушение соединения подошвы с верхом также редко встречаемый дефект – 3 % пар обуви. Рифление подошвы за год носки изнашивалось почти полностью. За первый год наблюдения обуви не удалось установить какой-либо четко определенной закономерности потери ее формы, хотя растаптывание верха, искажение формы носочной части обуви встречалось в каждой



Рисунок 1 – Внешний вид обуви и характер ходовой поверхности подошвы

второй паре.

В ходе предварительного исследования установлено, что в 75 % наблюдаемой обуви после 12 месяцев эксплуатации возникли незначительные поверхностные дефекты. Наиболее распространенными среди них явились трещины лицевого слоя и более глубокие трещины кожи, царапины, потертости. Трещины лицевого слоя (более глубокие трещины) чаще всего наблюдались на участке пучков по линии сгиба и прилегающих к нему местам и являлись результатом работы элементов верха обуви на повторный изгиб с растяжением. Царапины лицевого слоя характерны для носочной части деталей верха, их возникновение обусловлено внешним воздействием. Сквозные дефекты у исследуемых образцов обуви отсутствуют, что характеризует материал верха как довольно износостойкий. Еще одним недостатком явилась промокаемость. По результатам опроса установлено, что промокает данная обувь в первую очередь в пучковой части, ближе к затяжной кромке.

Износ внутренних элементов конструкции обуви был довольно незначительным и не заслуживает особого внимания. Только в одной полупаре наблюдался сквозной износ в пяточной части.

Основным видом из дефектов, выявленных в результате экспериментальной носки, явился

износ подошвы. Износ подошвы в эксплуатации проявился в основном в потере толщины, а также в виде излома и выкрашивания. Такой дефект как излом подошвы наблюдался у двух полупар обуви, эксплуатация которых проводилась в условиях закрытого помещения по цементобетонному покрытию. Излом наблюдается в пучковой части, то есть на участке наибольшего изгиба подошвы, где происходит максимальное напряжение и деформация. У одной полупары образовались трещины по всей площади пучковой части подошвы, причиной чего могла послужить неустойчивость материала деталей низа к многократным, чередующимся деформациям сжатия и изгиба. Выкрашивание наблюдалось у одной полупары испытуемой обуви. Откол материала произошел в носочной части ботинка у носика, эксплуатирующего обувь в условиях переменной опорной поверхности (периодическая работа на открытом воздухе).

Второй год работы был посвящен изучению основных критических дефектов обуви, влияющих на ее безотказность: формоустойчивость верха обуви и повышенный износ подошвы. Для проведения этого этапа исследования была использована партия обуви – 20 пар, которая и находилась под наблюдением в течение года, то есть того периода, на который она выдается рабочему.

Таким образом, под наблюдением мы имели 20 пар ботинок с ресурсом один год. Исследования формоустойчивости обуви и износостойкости подошв проходили одновременно на этих парах. Формоустойчивость обуви определяли с помощью нескольких показателей, подробно изложенных в монографии [2], а также в соответствии с ГОСТ 9135-2004 [5].

Целью проведения экспериментальной носки является оценка формоустойчивости и определение срока службы подошвы в реальных условиях эксплуатации. В качестве носчиков выступили рабочие производственного предприятия в количестве 20 чел., занимающиеся изготовлением труб стальных, предварительно термоизолированных пенополиуретаном, и фасонных частей к ним. Эксплуатация обуви производилась в условиях закрытого цехового помещения с бетонным напольным покрытием, с постоянной температурой и влажностью. Контакт с агрессивными средами отсутствовал. Режим работы – односменный при пятидневной рабочей неделе.

Весь период наблюдения за обувью разбили на равные интервалы протяженностью 1–2 месяца. В каждом интервале устанавливали количество пар обуви, в которых появились дефекты деталей верха и (или) низа обуви, а также прово-

дились измерения износа ходовой поверхности подошвы. На рисунке 2 представлен внешний вид обуви после одного года носки.

Результаты экспериментального исследования формоустойчивости обуви приведены в таблице 1.

Здесь следует оговориться – обувь продолжают носить на предприятии, 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

$$\Delta\pi_i = 1 + 1 + 2 + 3 + 3 + 1 = 11.$$

Плотность распределения отказов для ресурса

$$f(t) = \frac{1}{20} \cdot \frac{11}{12} = 0,046 \left[\frac{1}{\text{месяц}} \right].$$



Рисунок 2 – Внешний вид и характер ходовой поверхности обуви после одного года носки

Интенсивность отказов за ресурс

$$\lambda(t) = \frac{1}{20-11} \cdot \frac{11}{12} \approx 0,102 \left[\frac{1}{\text{месяц}} \right].$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-1,2} = 0,301.$$

Средняя наработка на отказ

$$t_c = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,102} \approx 9,8 \text{ месяцев.}$$

Результат, полученный по формоустойчивости обуви в целом, неплохой, тем не менее обувь продолжают носить год, даже если приходится надевать по 2–3 носка на стопу, чтобы ощутить

эффект – впрорность обуви.

Теперь рассмотрим ресурс подошвы данной обуви. Рифление подошвы должно обеспечивать надежное сцепление с опорной поверхностью. Качественная и надежная обувь – это гарантия снижения травматизма в процессе работы. Здесь критерием оценки было полное изнашивание рифления подошвы в области носка, в пучках и пятке.

Истиранию ходовой поверхности оказались подвержены все 100 % исследуемых пар обуви. Наибольшая потеря толщины наблюдается на трех участках: в носочной части, в пучках и задней части каблука. При проведении исследования ежемесячно проводилось измерение потери толщины подошвы. В таблице 2 представлены результаты измерений потери толщины подошвы. За показание принималось среднее значение трех измерений высоты рифа ходовой поверхности в наиболее подверженной износу зоне пучков.

Проанализировав результаты эксперимен-

Таблица 1 – Формоустойчивость обуви

Время наработки на отказ, месяц	2	4	6	8	10	12
Число отказавших пар обуви	1	1	2	3	3	1

Таблица 2 – Потеря толщины подошвы в процессе носки

	Потеря толщины, мм																				Среднее значение		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Период носки, месяцев	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	2	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	
	3	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
	4	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8
	5	1,0	1,4	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	1,2	1,4	1,2	1,4
	6	1,8	1,9	1,8	1,4	1,8	1,8	1,8	1,4	1,8	1,8	2,1	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,4	1,8	1,8
	7	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	2,1	1,9	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	1,9	2,1	2,0	2,2	2,2	2,1
	8	2,5	3,1	1,9	2,5	2,5	2,5	3,1	2,1	2,5	2,1	3,1	2,5	2,5	2,5	3,1	2,5	2,1	2,5	2,1	2,5	2,5	2,5
	9	3,1	3,7	3,1	2,6	3,1	3,1	3,1	2,5	3,1	3,1	3,7	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,5	3,1	3,1	3,1
	10	3,3	4,1	3,6	3,1	3,6	3,6	3,1	3,1	3,6	3,6	3,6	3,1	3,6	4,1	4,1	3,6	4,1	4,1	3,6	4,1	4,1	3,6
	11	3,8	4,7	4,1	3,5	4,1	4,1	3,5	3,5	4,1	4,1	4,1	3,5	4,1	4,7	4,7	4,1	4,7	4,7	4,7	4,1	4,7	4,1
	12	3,9	4,9	4,3	3,7	4,3	4,3	3,7	3,7	4,3	4,3	4,3	3,7	4,3	4,9	4,9	4,3	4,9	4,9	4,9	4,3	4,9	4,3

та, можно заключить, что износ пенополиуретановой подошвы носит линейный характер, то есть потеря толщины во время эксплуатации характеризуется прямой линией. Математическая зависимость изменения данного показателя с течением времени эксплуатации имеет вид:

$$y = 0,4105x - 0,6348 .$$

Установленный коэффициент корреляции, равный 0,98, свидетельствует о высокой степени взаимосвязи параметров.

В результате проведения экспериментальной носки установлено, что при количестве рабочих дней в 2014 году 253 дня средняя скорость изнашивания подошвы (\bar{y}) составляет 0,017 мм/день. Среднее квадратичное отклонение скорости изнашивания (S_y) составляет 0,0012 мм/день. Предельный износ подошвы примем равным высоте рифа ходовой поверхности, то есть 5,3 мм.

Исходя из того, что скорость изнашивания подошвы распределена в соответствии с нормальным законом, то и закон распределения ресурса будет также описываться нормальным законом. Взяв за основу данное предположение, минимальное значение ресурса примем при вероятности безотказной работы $P(T) = 0,025$, а 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 (2):

$$P(T) = 1 - \Phi^* \left(\frac{\frac{H}{y} - T}{V_y \cdot T} \right), \quad (2)$$

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:

$$V_y = \frac{S_y}{y} = \frac{0,0012}{0,017} = 0,071 .$$

Средний ресурс подошвы составит:

$$T_{cp} = \frac{H}{y} = \frac{5,3}{0,017} = 312 \text{ (дней)} .$$

Минимальное значение ресурса подошвы находим из следующих равенств:

$$0,025 = 1 - \Phi^* \left(\frac{312 - T_{MIN}}{0,071 \cdot T_{MIN}} \right) .$$

Максимальное значение ресурса подошвы находим из следующих равенств:

$$0,975 = 1 - \Phi^* \left(\frac{312 - T_{MAX}}{0,071 \cdot T_{MAX}} \right) .$$

Из таблицы значений нормальной функции распределения находим, что для первого случая $x = 1,95$, тогда $T_{MIN} = 274$ дня, а для второго $x = -1,96$, тогда $T_{MAX} = 362$ дня.

С доверительной вероятностью 0,95 можно прогнозировать, что ресурс подошвы составляет 274–362 дней. Полученные результаты довольно близки к реальным срокам службы подошв. Подобный подход может быть использован для прогнозирования эксплуатационных свойств других деталей обуви и конструкции в целом.

Таким образом, предложен новый подход к оценке результатов экспериментальных и опытных носок обуви, который не прописан ни в одних из известных нормативных документов, связанных с процедурой их выполнения. В дальнейшем предполагается решить задачу в комплексе, то есть с учетом всех элементов конструкции рабочей обуви.

Следует остановиться ещё на одной проблеме – равнопрочности элементов конструкции обуви. Для рабочей обуви это актуально, так как

время ее эксплуатации регламентируется нормативными документами. Современные материалы и технологии позволяют это сделать. Вся проблема заключается в том, что еще не достаточно хорошо и адекватно можно оценивать и прогнозировать эксплуатационные свойства материалов лабораторными методами на стадии подготовки к производству обуви из-за отсутствия средств измерений и нормативной базы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буркин, А. Н. (2007), *Оптимизация технологического процесса формования верха обуви*, Витебск, 220с.
2. Буркин, А. Н., Шеремет, Е. А. (2017), *Формоустойчивость обуви*, Витебск, 340 с.
3. ГОСТ 12.4.137-2001. *Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия*, Введ. 2001.05.24, Москва, Стандартинформ, 2002, 20 с.
4. ГОСТ 28507-99. *Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от механических воздействий. Технические условия*, Введ. 1999.05.28, Москва, Стандартинформ, 2015, 18 с.
5. ГОСТ 9135-2004 *Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноска и задника*, Введ. 2006.07.01, Москва, Стандартинформ, 2005, 8 с.

REFERENCES

1. Burkin, A. N. (2007), *Optimizacija tehnologicheskogo processa formovanija verha obuvi* [Optimization of the technological process of molding the uppers shoe], Vitebsk, 220 p.
2. Burkin, A. N., Sheremet, E. A. (2017), *Formoustojchivost' obuvi* [Dimensional stability of shoes], Vitebsk, 340 p.
3. Standard 12.4.137-2001. *Special footwear with leather to protect against oil, oil products, acids, alkalis, non-toxic and explosive dust. Technical conditions*, Vved. 2001.05.24, Moscow, Standartinform, 2002, 20 p.
4. Standard 28507-99. *Footwear special with top from skin for protection against mechanical influences. Technical conditions*, Vved. 1999.05.2, Moscow, Standartinform, 2015, 18 p.
5. Standard 9135-2004. *Footwear. Method for determination of total and residual deformation of the sock and backdrop*, Vved. 2006.07.01, Moscow, Standartinform, 2005, 8 p.

Статья поступила в редакцию 15. 03. 2019 г.