

УДК 685.34.017.82

**А. Н. Буркин,**  
доктор технических наук, профессор  
Витебского государственного  
технологического университета

**П. Г. Деркаченко,**  
ассистент Витебского государственного  
технологического университета

**А. П. Дмитриев,**  
старший преподаватель  
Витебского государственного  
технологического университета

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ ПЯТОЧНОЙ ЧАСТИ ОБУВИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

В статье рассмотрена разработанная в Витебском государственном технологическом университете методика исследования динамической формоустойчивости пяточной части обуви. Показано, что изменение формоустойчивости пяточной части обуви можно описать степенными уравнениями регрессии. Впервые найдены регрессионные уравнения для различных видов повседневной мужской обуви, а также для обуви с различной толщиной пяточной части. Используя данную методику, можно получать регрессионные уравнения, которые бы позволили с достаточной степенью точности прогнозировать в тот или иной период эксплуатации значение формоустойчивости пяточной части обуви. Это поможет устанавливать сроки эксплуатации обуви, не прибегая к длительному и дорогостоящему методу опытной носки.

The article describes the methods of studying dynamic shape stability of the heel shoe part. This method was developed at Vitebsk State Technological University. It is shown that the change in shape stability of the heel shoe part can be described by exponential regression equations. Regression equations for different types of everyday men's shoes and for footwear with different heel thickness were found for the first time. Using this technique, we can obtain regression equations that would allow us to predict the value of shape stability of the heel shoe part with a reasonable degree of accuracy at any given period of operation. This will help to fix the operating life of footwear without resorting to lengthy and expensive method of experimental wearing.

### Введение

*Обувь относится к предметам первой необходимости и является товаром сложного ассортимента. В структуре товарооборота обувных товаров в Республике Беларусь наибольшую долю составляет кожаная обувь, которой принадлежит ведущая роль в производстве и потреблении. В соответствии с Комплексной программой развития легкой промышленности Республики Беларусь на 2011–2015 годы [1] предусмотрено увеличение выпуска обуви в 1,6 раза по сравнению с предыдущим периодом (2006–2010 годы). Особое внимание при этом будет уделено повышению качества продукции и удовлетворению потребительского спроса на высококачественную обувь современных конструкций и дизайнерских разработок с улучшенными потребительскими свойствами [2].*

Одним из важнейших показателей качества обуви является ее формоустойчивость, под которой понимают способность изделия сохранять приданную ему в процессе изготовления форму и размеры. Это показатель, которому потребители уделяют большое внимание как при покупке, так и при эксплуатации обуви. Различают два вида формоустойчивости: статическую и динамическую. Под статической формоустойчивостью понимают способность обуви сохранять форму в период после снятия ее с колодки и до начала эксплуатации. Динамическая формоустойчивость характеризует способность обуви сохранять форму уже в период эксплуатации [3].

Анализ методов определения формоустойчивости обуви показывает, что данный показатель оценивается прежде всего для ее носочно-пучковой части. Формоустойчивости пяточной части

обуви в странах СНГ уделяется гораздо меньше внимания [4]. Согласно имеющимся зарубежным методикам, возможно проведение испытаний лишь статической формоустойчивости отдельных деталей обуви. Методика, регламентированная ГОСТ 9135–2004 [5], которой руководствуются на всех обувных предприятиях и в испытательных лабораториях Республики Беларусь, позволяет определять формоустойчивость пяточной части готовой обуви, но она, как и зарубежные методики, не позволяет получать данные о деформации и деформирующих усилиях в динамике [6]. Однако с точки зрения потребителя более важна динамическая формоустойчивость, так как от нее зависит длительность эксплуатации изделия. Таким образом, актуальным является создание методики, которая бы позволяла оценивать формоустойчивость пяточной части обуви в динамике. Такая методика разработана на кафедре стандартизации Витебского государственного технологического университета. Прибор для проведения испытаний по данной методике позволяет исследовать как статическую, так и динамическую формоустойчивость пяточной части обуви [4].

Отбор образцов для испытаний динамической формоустойчивости пяточной части обуви осуществляется в соответствии с ГОСТ 9289–78 «Обувь. Правила приемки». Точку приложения нагрузки отмечают в соответствии с ГОСТ 9135–2004 [5].

На плиту прибора устанавливается испытуемый образец и жестко фиксируется, как показано на рисунке 1. Пуансон при этом соприкасается с образцом в контрольной точке.



Рисунок 1 – Внешний вид прибора ППНМО с закрепленным образцом

Когда прибор включают, то сразу же фиксируется начальная общая деформация образца. Далее величина общей деформации определяется через каждые 100 циклов испытаний до тех пор, пока она не составит 5 мм или количество нагружений не достигнет 1000 циклов. По изменению величины деформации мы можем судить о формоустойчивости пяточной части обуви в динамике, так как деформация, по сути, является обратной стороной формоустойчивости [7].

Согласно описанной методике исследовали 15 моделей полуботинок мужских размера 43 с верхом и подкладкой из натуральной кожи и картонным формованным задником. Было отобрано по пять полупар каждой модели обуви. Внешний вид образцов и их конструктивные характеристики согласно ГОСТ 23251–83 [8] приведены в таблице 1. Толщина пяточной части в контрольной точке у исследуемой обуви определялась как среднее по пяти образцам. Она составила 3,6 мм (для моделей № 2, 10, 12); 3,7 мм (для модели № 3); 3,8 мм (для модели № 8); 4 мм (для моделей № 1, 4, 5, 11, 15); 4,2 мм (для модели № 9); 4,5 мм (для моделей № 6, 13, 7); 5 мм (для модели № 14).

Экспериментальные данные результатов испытаний пяточной части по пяти образцам обуви модели 1 (рисунок 2) показывают, что при циклическом нагружении изменение величины прогиба (т. е. деформации) образца в течение первых 300 циклов является весьма существенным. Далее эта величина резко падает и ее изменение при дальнейшем нагружении незначительно, т. е. кривые результатов близки к общей степенной теоретической кривой, уравнение которой имеет следующий вид:

$$y = bx^a. \quad (1)$$

Для увеличения точности расчетов количество циклов нагружения было доведено до 1100.

Следует также отметить практически полное совпадение экспериментальных кривых. Таким образом, можно заключить, что у образцов обуви одной модели величины прогиба пяточной части для одинакового количества нагружений равны между собой. Поэтому, чтобы получить регрессионное уравнение (1) зависимости деформации пяточной части от количества нагружений для образцов обуви модели 1, воспользуемся средними значениями их испытаний.

Таблица 1 – Образцы для оценки формоустойчивости пяточной части обуви в динамике

№ модели обуви	Внешний вид обуви	Конструктивная характеристика
1		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с отрезным носком, союзкой, берцами, задинкой и язычком; для удержания на стопе используются шнурки
2		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с овальной вставкой, союзкой, выполненной с берцем как одна деталь, задинкой, накладкой; удерживается на стопе при помощи эластичной тесьмы
3		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с овальной вставкой, союзкой, берцами, задинкой, деталью мягкого канта, накладкой; удерживается на стопе при помощи эластичной тесьмы
4		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с отрезным носком, союзкой, берцами, деталями берцев внутренними и наружными, язычком; для удержания на стопе используются шнурки
5		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с союзкой, отрезной деталью союзки, берцами, задинкой и язычком; для удержания на стопе используются шнурки
6		Полуботинки мужские модельные летние клеевого метода крепления; с отрезным носком, союзкой, берцами, задинкой, надблочниками внутренними и наружными, язычком; для удержания на стопе используются шнурки
7		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с овальной вставкой, союзкой, берцами, надблочниками внутренними и наружными; для удержания на стопе используются шнурки
8		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с овальной вставкой, союзкой, берцами, отрезной задинкой, деталью мягкого канта, накладкой и декоративным шнурком; удерживается на стопе при помощи эластичной тесьмы
9		Полуботинки мужские модельные весенне-осенние клеевого метода крепления; с союзкой, берцами, задинкой; удерживается на стопе при помощи эластичной тесьмы
10		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с союзкой, берцами, деталью мягкого канта, накладкой и язычком; удерживается на стопе при помощи эластичной тесьмы
11		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с вставкой, союзкой, отрезной деталью союзки, берцами, внутренними и наружными отрезными деталями берцев; для удержания на стопе используются шнурки
12		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с овальной вставкой, союзкой, задинкой, окантовкой и накладкой; удерживается на стопе при помощи эластичной тесьмы
13		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеешовинного метода крепления; с союзкой, с отрезной деталью союзки, берцами, задинкой, деталью мягкого канта и язычком; для удержания на стопе используются шнурки
14		Полуботинки мужские модельные весенне-осенние клеевого метода крепления; с отрезным носком, союзкой, берцами, задинкой, язычком, надблочниками внутренними и наружными, окантовкой; для удержания на стопе используются шнурки
15		Полуботинки мужские повседневные весенне-осенние клеевого метода крепления; с овальной вставкой, союзкой, отрезной деталью союзки, берцами, задинкой внутренней и наружной; для удержания на стопе используются шнурки

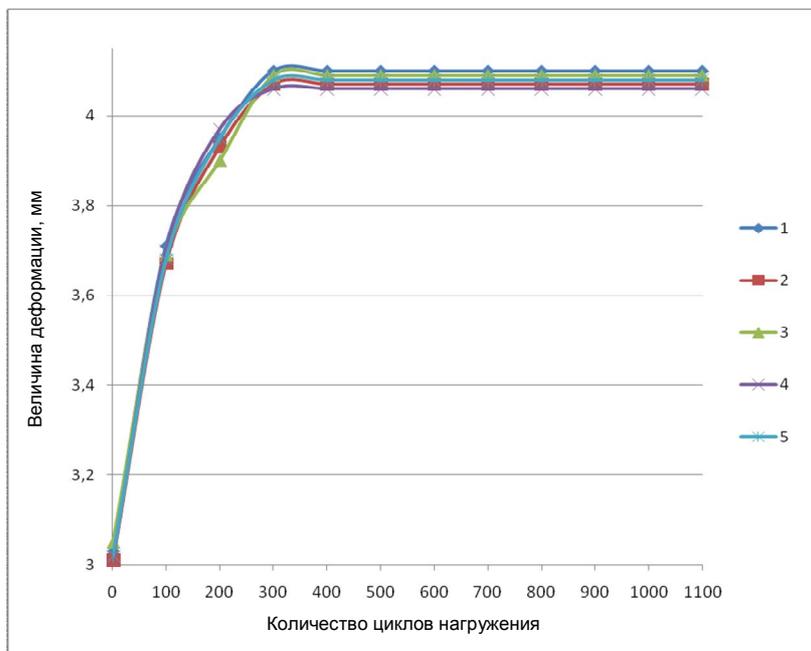


Рисунок 2 – Экспериментальные кривые результатов испытаний пяти образцов обуви модели 1

Уравнение регрессии (1) для образцов обуви модели 1, найденное методом наименьших квадратов [9], получилось следующим:  $y = 0,348x^{0,044}$ . Определим степень надежности аппроксимации и уровень точности полученного регрессионного уравнения для результатов испытаний каждого образца обуви рассматриваемой модели. Вычислим соответствующие коэффициенты детерминации  $R^2$  и относительные ошибки  $\bar{E}_{отн}$ . Рассчитанные значения занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа образцов обуви модели 1

№ образца	$y = bx^a$	$R^2$	$\bar{E}_{отн}$
1	$y = 0,348x^{0,044}$	0,928	1,681
2		0,942	1,696
3		0,939	1,507
4		0,937	1,720
5		0,937	1,705
среднее		0,937	1,662

Как видно из таблицы 2, во всех случаях значение  $R^2$  не ниже 0,9, что говорит о высокой надежности аппроксимации. Относительные ошибки всех испытаний, значения которых менее 2%, свидетельствуют о хорошем уровне точности полученной общей степенной регрессионной модели.

Результаты испытаний остальных 14 моделей обуви подтвердили выдвинутую гипотезу о наличии степенной зависимости величины деформации пяточной части обуви от количества циклов нагружения. Кривые испытаний пяти образцов обуви каждой модели также практически совпали во всех случаях, поэтому для всех исследуемых моделей обуви были найдены средние значения величин деформации при соответствующем количестве нагружений. Данные значения приведены в таблице 3. В таблице 4 отображены общие регрессионные уравнения (1) для 15 моделей испытуемой обуви. Также в ней показаны средние значения коэффициентов детерминации и средние относительные ошибки. Из таблицы видно, что коэффициенты детерминации у всех моделей обуви больше 0,9, т. е. аппроксимации являются надежными, а средние относительные ошибки говорят о хорошем уровне точности регрессионной модели, так как их величины менее 5%.

Полученные результаты исследования динамической формоустойчивости согласуются с поведением обуви в процессе эксплуатации: вначале происходит «привыкание» обуви к стопе, отчего деформация обуви возрастает, но затем она практически не увеличивается.

Таблица 3 – Средние значения деформации пяточной части обуви в динамике

№ модели обуви	Количество циклов											
	1	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
1	3,02	3,69	3,94	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
2	2,00	3,30	4,08	4,26	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
3	4,10	4,41	4,50	4,55	4,61	4,65	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67
4	3,03	3,81	3,96	4,19	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28
5	3,01	3,55	3,67	3,80	3,91	4,02	4,26	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28
6	2,92	3,11	3,21	3,24	3,25	3,25	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
7	2,55	3,19	3,34	3,43	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
8	3,15	3,77	4,05	4,35	4,47	4,47	4,47	4,47	4,47	4,47	4,47	4,47
9	3,60	3,85	3,90	3,93	3,94	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
10	2,41	3,51	3,91	4,40	4,70	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
11	3,25	3,65	3,84	3,95	4,02	4,11	4,11	4,17	4,3	4,33	4,37	4,37
12	2,80	3,65	3,96	4,40	4,49	4,56	4,57	4,57	4,57	4,57	4,57	4,57
13	2,80	3,06	3,16	3,28	3,35	3,37	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39
14	2,03	2,37	2,51	2,55	2,60	2,67	2,73	2,77	2,81	2,83	2,83	2,83
15	2,80	3,46	3,64	3,90	3,97	4,05	4,07	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа образцов

№ образца	$y = bx^a$	$R^2$	$\bar{E}_{отн}$
1	$y = 0,348x^{0,044}$	0,937	1,662
2	$y = 2,054x^{0,113}$	0,948	4,257
3	$y = 4,080x^{0,019}$	0,972	0,517
4	$y = 3,041x^{0,051}$	0,971	1,408
5	$y = 2,908x^{0,053}$	0,903	2,965
6	$y = 2,920x^{0,016}$	0,960	0,502
7	$y = 2,587x^{0,044}$	0,961	1,449
8	$y = 3,113x^{0,054}$	0,940	2,014
9	$y = 3,612x^{0,013}$	0,974	0,360
10	$y = 2,364x^{0,104}$	0,956	3,382
11	$y = 3,153x^{0,043}$	0,905	2,203
12	$y = 2,759x^{0,075}$	0,956	2,570
13	$y = 2,764x^{0,029}$	0,931	1,123
14	$y = 1,976x^{0,049}$	0,940	2,062
15	$y = 2,767x^{0,058}$	0,968	1,502

На рисунке 3 представлены усредненные экспериментальные кривые изменения деформации пяточной части 15 моделей обуви. Как видно, в целом кривые деформации образцов с большей толщиной пяточной части более плавные, чем у образцов с меньшей толщиной. Деформация всех моделей даже после 1100 циклов не достигла 5 мм, следовательно, они имеют удовлетворительную динамическую формоустойчивость. Начальные деформации обуви с толщиной пяточной части, равной 4 мм, находятся в диапазоне менее 1 мм (от 2,8 до 3,25 мм), деформации после 1100 циклов нагружения у них также мало различаются между собой (их величины находятся в диапазоне от 4,08 до 4,37 мм). То же можно сказать об образцах с толщиной пяточной части 3,6 и 4,5 мм. Иначе говоря, можно получить регрессионные уравнения для различных моделей обуви с одинаковой толщиной пяточной части. Усредним значения деформаций для моделей обуви, имеющих одинаковую толщину задников, и на основании рассчитанных средних построим регрессионную модель (1) для обуви с толщиной пяточной части, равной 4 мм. Для других толщин регрессия не определялась ввиду малой выборки. Математико-статистический анализ регрессии приведен в таблице 5.

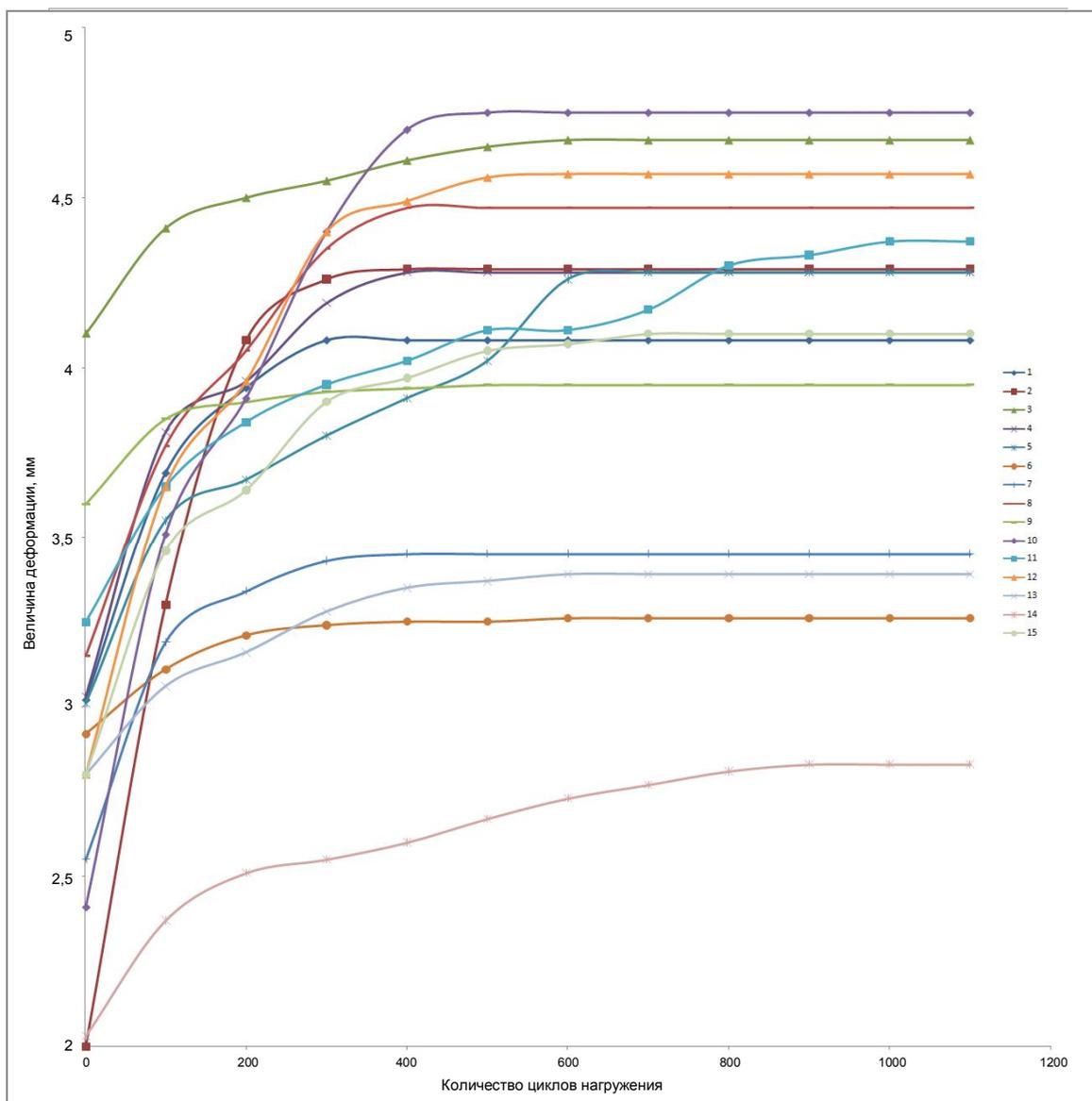


Рисунок 3 – Экспериментальные кривые результатов испытаний 15 моделей обуви

Таблица 5 – Результаты регрессионного анализа обуви с толщиной пяточной части, равной 4 мм

№ модели обуви	$y = bx^a$	$R^2$	$\bar{E}_{отн}$
1	$2,9832x^{0,0502}$	0,912	1,931
4		0,848	2,855
5		0,886	2,934
11		0,868	2,277
15		0,855	3,228

Из таблицы 5 видно, что регрессионное уравнение (1), найденное для обуви с толщиной пяточной части, равной 4 мм, достаточно надежно характеризует связь деформации и количества нагружений (коэффициент детерминации находится в пределах 0,85 – 0,91 мм), а теоретические значения деформации отклоняются от экспериментальных менее чем на 4%. Иными словами, уравнение (таблица 2) позволит прогнозировать значение динамической формоустойчивости пяточной части мужской повседневной весенне-осенней обуви с верхом и подкладкой из натуральной кожи, картонным задником, с толщиной пяточной части, равной 4 мм.

### Заключение

Таким образом, эксперименты, проведенные по разработанной методике определения динамической формоустойчивости пяточной части обуви, показали наличие степенной связи между количеством циклов нагружений и общей деформацией пяточной части обуви в динамических условиях,

что согласуется с поведением обуви в процессе эксплуатации. Было показано, что, используя данную методику, можно получить регрессионные уравнения, которые бы позволили с достаточной степенью точности прогнозировать в тот или иной период эксплуатации значение формоустойчивости пяточной части как какой-либо одной модели обуви, так и различных моделей обуви с одинаковой толщиной пяточной части. Это может помочь устанавливать сроки эксплуатации обуви, не прибегая к длительному и дорогостоящему методу опытной носки.

Кроме того, так как все исследуемые образцы имеют удовлетворительную формоустойчивость, есть смысл уменьшить толщину задника в некоторых моделях обуви (поскольку в основном задник отвечает за формоустойчивость ее пяточной части), сделав таким образом обувь более легкой, комфортной и менее материалоемкой.

### Список литературы

1. **Официальный сайт** концерна «Беллепром» [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа : <http://www.belleprom.by/programs/>. – Дата доступа : 22.09.2010 г.
2. **Товароведение** одежно-обувных товаров. Общий курс : учеб. пособие / В. В. Садовский [и др.] ; под общ. ред. В. В. Садовского, Н. М. Несмелова. – Минск : БГЭУ, 2005. – 427 с.
3. **Буркин, А. Н.** Оптимизация технологического процесса формования верха обуви / А. Н. Буркин. – Витебск : ВГТУ, 2007. – 220 с.
4. **Буркин, А. Н.** Методика исследования формоустойчивости пяточной части обуви / А. Н. Буркин, П. Г. Деркаченко, А. П. Дмитриев // Вестник ВГТУ. – 2010. – № 18. – С. 13–19.
5. **ГОСТ 9135–2004.** Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноска и задника. – Взамен ГОСТ 9135–73; введ. 01.10.2006. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2006. – 5 с.
6. **Буркин, А. Н.** Приборы для оценки формоустойчивости задников и подносков обуви / А. Н. Буркин, П. Г. Деркаченко, М. В. Шевцова // Метрология и приборостроение. – 2008. – № 3. – С. 61–64.
7. **Куприянов, М. П.** Деформационные свойства кожи для верха обуви / М. П. Куприянов. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 246 с.
8. **ГОСТ 23251–83.** Обувь. Термины и определения. – Введ. 01.01.1985. – М. : Стандартиформ, 2008. – 17 с.
9. **Венецкий, И. Г.** Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И. Г. Венецкий, В. И. Венецкая. – М. : Статистика, 1979. – 447 с.

*Получено 28.12.2011 г.*