

## Оценка качества полиуретановых подошв, используемых на обувных предприятиях г. Витебска

П.В. Гришанова, А.Н. Радюк<sup>а</sup>, М.В. Шевцова  
Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь  
E-mail: <sup>а</sup>ana.r.13@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты оценки качества полиуретановых подошв с применением различных методов. На основании полученных данных сделаны выводы о качестве каждого образца и даны рекомендации по использованию полиуретановых подошв на обувных предприятиях.

**Ключевые слова:** полиуретановые подошвы, показатели свойств, методы, оценка качества.

## Evaluation of the Quality of Polyurethane Soles Used in the Footwear Enterprises of Vitebsk

P. Grishanova, A. Radyuk<sup>a</sup>, M. Shevtsova  
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus  
E-mail: <sup>a</sup>ana.r.13@mail.ru

**Annotation.** The article presents the results of polyurethane soles quality estimation using different methods. On the basis of the data obtained conclusions are drawn about the quality of each sample and recommendations are given for the use of polyurethane soles at shoe enterprises.

**Key words:** polyurethane soles, indicators of properties, methods, quality assessment.

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из самых важных частей обуви является подошва. В настоящее время используется широкий ассортимент различных полимерных материалов, постепенно вытесняющих собой натуральные. Выбор того конкретного материала зависит от назначения и вида обуви. В целом, все синтетические полимеры, из которых изготавливают подошву обуви, можно разделить на три основные группы: это резина, пластмассы и термоэластопласты. Среди всех применяемых материалов своими свойствами выделяется полиуретан.

Полиуретан (ПУ) обладает прекрасными теплоизоляционными свойствами, повышенной прочностью, сопротивлением истиранию, многократному изгибу и раздиру, высокой адгезией к материалам верха обуви. Хорошая формуемость и окрашиваемость позволяют получать необычные для подошвенных материалов декоративные эффекты. Данный вид материала широко используется на обувных предприятиях г. Витебска.

От качества применяемых подошвенных материалов зависит срок службы готовой обуви, ведь именно подошва подвергается интенсивным механическим воздействиям, истиранию о землю и многократным деформациям. В последнее время качество продукции обувной промышленности значительно улучшилось, что, прежде всего, связано с

непосредственной заинтересованностью предприятий в выпуске доброкачественной обуви. Это обусловлено ростом конкуренции на отечественном рынке и повышением требований к качеству продукции со стороны потребителей.

Целью работы является оценка качества полиуретановых подошв, используемых на обувных предприятиях г. Витебска.

Объектом исследования являются полиуретановые подошвы обуви различных производителей, используемые на обувных предприятиях г. Витебска.

Предметом исследования является анализ и оценка качества полиуретановых подошв.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа свойств были выбраны ПУ системы для изготовления деталей низа обуви следующих производителей:

1. Covestro AG (Leverkusen, Germany) – ПУ система торговой марки Bayflex, используемая для производства однослойных и двухслойных подошв повседневной, рабочей и защитной обуви.

2. BASF Polyurethanes GmbH (до 31.03.2010 – Elastogran GmbH) (Lemförde, Germany) – представлена ПУ системой Elastopan S, используемой для производства деталей низа сабо, спортивной, прогулочной, домашней и детской обуви.

Применяются как для изготовления формованных подошв, так и для прямого литья на заготовку обуви.

3. Huntsman Corporation (Salt Lake City, The United States of America) – двухкомпонентная ПУ система GAMMA, предназначенная для изготовления микроячеистых ПУ эластомеров на основе простых полиэфиров. Система применяется для производства подошв специальной, детской, модельной, повседневной, спортивной обуви и ПУ стелек.

4. The Dow Chemical Company (Midland, The United States of America) – ПУ система торговой марки Voralast с высокими показателями технологических свойств, обеспечивает комфорт при ходьбе, эстетичность и прочность обуви, устойчивость к износу, перепадам температур и прочим неблагоприятным факторам среды.

5. ELAchem (Vigevano PV, Италия) – представлена ПУ системой Elachem, обладающей хорошими физико-механическими свойствами,

устойчивостью к низким и высоким температурам, отличной упругостью. Отличительной чертой данной системы является применение в составе биокомпонентов.

6. BCI Holding SA – ПУ система торговой марки Polytex Footwear, используемая в повседневной, спортивной, модельной, домашней обуви, а также для изготовления защитной обуви и стелек.

7. Xuchuan Chemical (Suzhou) Co., Ltd. ПУ система данного производителя характеризуется высокой износостойкостью, сопротивлением к скольжению и гидролитической стойкостью. Применяется для повседневной и защитной обуви.

8. Zhejiang Heng Tai Yuan Pu Co., Ltd. Используется для изготовления подошв повседневной и модельной обуви.

Физико-механические характеристики полиуретановых систем вышеперечисленных производителей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики полиуретановых систем

Показатель, ед. измер.	Производитель ПУ системы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,48–1,05	0,3–0,6	0,34–1,00	0,28–1,05	0,24–0,62	0,34–0,60	0,28–1,2	0,25–1,2
$H$ , усл. ед.	50–60	40–50	40–75	30–90	27–75	55–75	28–95	30–91
$\sigma$ , МПа	3,1–10,3	1,9–7,0	3,0–5,0	4,0–20,0	5,0–15,0	3,0–9,0	1,5–18,0	3,5–12,0
$\varepsilon$ , %	350–600	280–520	250–350	200–800	300–550	160–751	250–750	200–750
$\Delta V$ , мг	30–70	30–60	50–250	50–150	100–250	30–100	50–240	200–600
$N_n$ , килоциклов	30–50	30–60	30–50	30–50	30–50	20–150	30–100	30–100

$\rho$  – плотность;  $H$  – твердость по ТМ-2;  $\sigma$  – предел прочности при одноосном растяжении;  $\varepsilon$  – относительное удлинение при разрыве;  $\Delta V$  – истираемость;  $N_n$  – сопротивление многократному изгибу

Для удобства дальнейшего анализа будут использоваться усредненные показатели свойств, представленные в виде таблицы 2.

В качестве базового образца для сравнения была выбрана полиуретановая система производства

ЧПУП «Обувное ремесло» (г. Витебск). Характеристики представлены в таблице 3.

Значения показателей, представленные в таблицах 2 и 3, будут использованы для проведения дальнейшего анализа качества ПУ подошв.

Таблица 2 – Показатели свойств, используемые для дальнейшего анализа

Показатель, ед. измер.	Производитель ПУ системы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,765	0,45	0,67	0,665	0,43	0,47	0,74	0,725
$H$ , усл. ед.	55	45	57,5	60	51	65	61,5	60,5
$\sigma$ , МПа	6,7	4,45	4	12	10	6	9,75	7,75
$\varepsilon$ , %	475	400	300	500	425	455,5	500	475
$\Delta V$ , мг	50	45	150	100	175	65	145	400
$N_n$ , килоциклов	40	45	40	40	40	85	65	65

Таблица 3 – Физико-механические характеристики ПУ системы производства ЧПУП «Обувное ремесло»

Показатель, ед. измер.	ПУ система ЧПУП «Обувное ремесло»	
	Значение показателя	Усредненный показатель
	1	3
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,3–1,3	0,8

Окончание таблицы 3

1	2	3
Н, усл. ед.	35–90	62,5
$\sigma$ , МПа	2,5–13,0	7,75
$\varepsilon$ , %	180–350	265
$\Delta V$ , мг	30–80	55
$N_{и}$ , килоциклов	30–150	90

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Первым этапом при проведении оценки качества является определение значимости того или иного показателя качества. Для этого была проведена экспертная оценка значимости показателей ПУ подошв, используемых на обувных предприятиях г. Витебска. По результатам анкетирования проведена статистическая обработка данных и полученные оценки были переведены в систему рангов.

В процессе обработки данных анкетирования были установлены коэффициенты весомости для всех показателей:  $\rho - 0,06$ ;  $H - 0,11$ ;  $\sigma - 0,20$ ;  $\varepsilon - 0,09$ ;

$\Delta V - 0,26$ ;  $N_{и} - 0,28$ , также была установлена средняя степень согласованности экспертов.

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

В основе построения лежит принцип преобразования натуральных значений откликов в безразмерную шкалу желательности. Для построения шкалы желательности обычно используют метод количественных оценок с интервалом желательности от нуля (0, очень плохо) до единицы (1, отлично).

Шкалы желательности для построения функций желательности представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Шкала оценок для построения функций желательности

Желательность, значение отклика	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Н, усл. ед.	$\sigma$ , МПа	$\varepsilon$ , %	$\Delta V$ , мг	$N_{и}$ , килоциклов
Отлично	0,4 и более	65 и более	6 и более	350 и более	70 и менее	50 и более
Удовлетворительно	0,8 и менее	45 и менее	5 и менее	180 и менее	250 и более	25 и менее

Функция желательности отражает зависимость оценок, или показателей желательности ( $d$ ), от безразмерных показателей ( $y$ ), в которые переводят размерные (натуральные) показатели качества [1]. Эта зависимость выражается уравнением (1):

$$d = \exp[-\exp(-y)] = \frac{1}{e^{1/e^y}} \quad (1)$$

Обобщенный показатель желательности без учета коэффициентов весомости рассчитывается по формуле (2), с учетом коэффициентов весомости – по формуле (3):

$$D = \sqrt[n]{\prod_i^n d_i} \quad (2)$$

$$D = \prod_{i=1}^n (d_i)^{m_i} \quad (3)$$

где  $m_i$  – коэффициент весомости.

Перевод значений размерных (натуральных) показателей ( $x$ ) качества изделий в безразмерные ( $y$ ) при линейной зависимости между ними осуществляется с помощью формулы (4):

$$Y = a_0 + a_1x \quad (4)$$

Формализация оценки позволила сопоставить данные, полученные в исследованиях, которые выполнялись по разным методикам. Также это позволило дать количественную оценку свойствам полиуретановых систем.

Таблица 5 содержит обобщенные показатели желательности и значения отклика для каждого образца ПУ подошв.

Таблица 5 – Обобщенные показатели желательности и значения отклика

Показатель	Производитель ПУ системы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D без учета $m_i$	0,705	0,501	0,332	0,756	0,724	0,837	0,759	0,457
Значение отклика	X	У	П	X	X	О	О	У
D с учетом $m_i$	0,749	0,486	0,294	0,767	0,706	0,854	0,803	0,363
Значение отклика	X	У	П	X	X	О	О	П

На основании расчетов, представленных в таблице 5, можно сделать вывод о том, что из представленных образцов наиболее высоким уровнем качества обладают полиуретановые системы производства BCI Holding SA, наименьшим – Huntsman Corporation.

Расчет обобщенного показателя желательности с применением коэффициента весомости недостаточно точен вследствие возможного наличия субъективности мнения экспертов, но его применение позволило увидеть изменение значения отклика у двух образцов: Xuchuan Chemical (Suzhou) Co., Ltd. и Zhejiang Heng Tai Yuan Pu Co., Ltd.

Увеличение значения отклика образца производства Xuchuan Chemical (Suzhou) Co. можно связать с высокими значениями свойств по показателям с наибольшей весомостью. Изменение отклика образца производства Zhejiang Heng Tai Yuan Pu Co., Ltd. в сторону уменьшения связано с высоким коэффициентом весомости по показателю истираемости и низким значением данного показателя у образца.

#### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ «МНОГОУГОЛЬНИКА КАЧЕСТВА»

Площадь такого многоугольника выступает интегральной характеристикой качества материала. Комплексный показатель качества рассчитывается как отношение фактической площади поверхности образца к площади поверхности эталона.

Площадь многоугольника является суммой площадей треугольников, образованных им. Площадь треугольников вычисляется по формуле (5)

$$S = \frac{1}{2} \times a \times b \times \sin(\alpha), \quad (5)$$

где  $S$  – площадь треугольника;  $a$  и  $b$  – длина сторон треугольника;  $\alpha$  – угол между сторонами  $a$  и  $b$ .

Комплексная оценка уровня качества материалов есть результат сопоставления площади многоугольника с эталоном, который отражает площадь максимально возможного уровня. Показатель качества в этом случае вычисляется по формуле (6)

$$K = \frac{S_i}{S_{эт}} \times 100\%, \quad (6)$$

где  $S_i$  – площадь «многоугольника качества» получаемых композиционных материалов;  $S_{эт}$  – площадь «многоугольника качества» материалов, взятых за «эталон» [2].

Для расчета также используются относительные показатели свойств материала. Под относительными показателями понимается отношение значения показателя качества продукции к соответствующему (то есть принятому за исходное) значению. Для их расчета используются формула (7) – если показатель нормируется в сторону увеличения, формула (8) – в сторону уменьшения.

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{i \text{ баз}}} \times 100\%, \quad (7)$$

$$Q_i = \frac{P_{i \text{ баз}}}{P_i} \times 100\%, \quad (8)$$

где  $P_i$  – значение единичного показателя качества оцениваемой продукции;  $P_{i \text{ баз}}$  – значение единичного базового показателя качества.

В таблице 6 представлены площади «многоугольников качества» и комплексная оценка уровня качества.

Таблица 6 – Площади «многоугольников качества» и комплексная оценка качества

Показатель	Производитель ПУ системы								Эталон
	1	2	3	4	5	6	7	8	
$S_i$	26142,99	19149,34	12037,39	29694,11	19240,93	24055,29	26758,12	20083,06	25980,76
$K$	100,624	73,706	46,332	114,293	74,058	92,589	102,992	77,299	100

Полученная комплексная оценка качества позволяет сделать вывод о том, что среди анализируемых образцов наивысший уровень качества у образца производства The Dow Chemical Company, наименьший – у образца Huntsman Corporation.

#### ЭКСПЕРТНО-РАНГОВАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА

Сущность оценки заключается в наделении показателя качества рассматриваемых изделий функциями экспертных показателей.

Ранжирование объектов осуществляется в порядке их значимости. Каждому из них присваивается порядковый номер, который называется рангом. Ранг «1» присваивается наиболее значимому, ранг «2» – следующему по значимости и т. д.

Уровень качества исследуемых образцов оценивается при сопоставлении их с качеством идеального образца. Идеальным считается тот образец, который по каждому показателю получил ранг «1». Значение уровня качества каждого  $i$ -го образца оценивается по формуле (9)

$$Q_i = \frac{S_{ид}}{S_i} \times 100\%, \quad (9)$$

где  $S_{ид}$  – сумма рангов идеального образца (в данном случае будет равняться 6);  $S_i$  – сумма рангов  $i$ -го образца.

Экспертно-ранговая оценка ПУ подошв представлена в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Экспертно-ранговая оценка качества

Показатель, ед. измер.	Производитель ПУ системы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1	7	4	5	8	6	2	3
$H$ , усл. ед.	6	8	5	4	7	1	2	2
$\sigma$ , МПа	5	7	8	1	2	6	3	4
$\varepsilon$ , %	2	5	6	1	4	3	1	2
$\Delta V$ , мг	2	1	6	4	7	3	5	8
$Nu$ , килоциклов	4	3	4	4	4	1	2	2
$S_i$	20	31	33	19	32	20	15	22
$Q_i$	30	19,355	18,182	31,579	18,750	30	40	27,272

По результатам, полученным в результате расчета таблицы 7, можно сделать вывод о том, что среди анализируемых образцов наиболее высоким уровнем качества характеризуется образец производства Xuchuan Chemical (Su-zhou) Co., Ltd., самым низким – Huntsman Corporation.

Для анализа полученных результатов составим таблицу 8, содержащую рассчитанные тремя методами оценки качества полиуретановых подошв, используемых на обувных предприятиях г. Витебска.

Таблица 8 – Оценка качества полиуретановых подошв, рассчитанная различными методами

Применяемый метод оценки качества и место, занимаемое образцом	Производитель ПУ системы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$D$ без учета $m_i$	5	6	8	3	4	1	2	7
$D$ с учетом $m_i$	4	6	8	3	5	1	2	7
$K$	3	7	8	1	6	4	2	5
$Q_i$	3	6	8	2	7	3	1	5
Место	4	7	8	2	5	3	1	6

По результатам анализа, образцом с самым высоким уровнем качества является ПУ подошвы Xuchuan Chemical (Suzhou) Co., Ltd. Следом за ним следуют подошвы производства The Dow Chemical Company и BCI Holding SA. У подошв производства Covestro AG, ELAchem, Zhejiang Heng Tai Yuan Pu Co., Ltd., BASF Polyurethanes GmbH уровень качества ниже. Образцом с самым низким уровнем качества стали ПУ подошвы Huntsman Corporation.

Таким образом, ПУ подошвы Xuchuan Chemical (Suzhou) Co., Ltd., The Dow Chemical Company и BCI Holding SA можно использовать в производстве

различной обуви на обувных предприятиях, так как их свойства отвечают требованиям ТНПА, а уровень качества превосходит все остальные. Для всех остальных ПУ подошв рекомендуется рассматривать единичные показатели свойств для установления области их применения. Так, например, ПУ подошвы Covestro AG рекомендуется использовать в повседневной обуви или для производства двухслойных подошв. ПУ подошвы Huntsman Corporation рекомендуется использовать в производстве детской обуви, где ресурс подошв невелик.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркин, А. Н. Оценка качества обуви с помощью функции желательности / А. Н. Буркин, М. В. Шевцова // Качество товаров: теория и практика : материалы докладов международной научно-практической конференции, Витебск, 15–16 ноября 2012 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – С. 50–53.
2. Радюк, А. Н. Старение изделий из вторичного полиуретана в естественных климатических условиях / А. Н. Радюк, А. Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2019. – № 1 (36). – С. 91–102.

## REFERENCES

1. Burkin, A. N. Shoe quality assessment using the desirability function / A. N. Burkin, M. V. Shevtsova // Quality of goods: theory and practice : materials of reports of the international scientific and practical conference, Vitebsk, November 15–16 2012 / EE "VGTU". – Vitebsk, 2012. – P. 50–53.

2. Radyuk, A. N. Aging of products from recycled polyurethane in natural climatic conditions / A. N. Radyuk, A. N. Burkin // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. – 2019. – № 1 (36). – P. 91–102.

**SPISOK LITERATURY**

1. Burkin, A. N. Ocenka kachestva obuvi s pomoshh'ju funkcii zhelatel'nosti / A. N. Burkin, M. V. Shevcova // Kachestvo tovarov: teorija i praktika : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Vitebsk, 15–16 nojabrja 2012 g. / UO "VGTU". – Vitebsk, 2012. – S. 50–53.

2. Radjuk, A. N. Starenie izdelij iz vtorichnogo poliuretana v estestvennyh klimaticeskikh uslovijah / A. N. Radjuk, A. N. Burkin // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2019. – № 1 (36). – S. 91–102.

Статья поступила в редакцию 30.06.2022