

## Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317  
ISI (Dubai, UAE) = 1.582  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИИ (Russia) = 3.939  
ESJI (KZ) = 8.771  
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

### International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2023 Issue: 07 Volume: 123

Published: 25.07.2023 <http://T-Science.org>

Issue

Article



**Merab Shalamberidze**

Akaki Tsereteli State University

Doctor of Technical Sciences, Professor, Faculty of Technological Engineering,  
Department of Design and Technology, Kutaisi, Georgia

**Zaza Sokhadze**

Akaki Tsereteli State University

Doctor of Mathematic, Professor, Faculty of Natural Sciences,  
Department of Mathematics, Kutaisi, Georgia

## INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF POLYMER COMPOSITIONS WITH A LATENT HARDENER FOR THE BOTTOM OF SHOES

**Abstract:** The article presents the results of optimizing polymer compositions for the bottom of shoes with a latent hardener LH-3. Based on the data obtained, it can be said that the selected independent variables  $X_1$  - the amount of hardener and  $X_2$  - the temperature of activation of the latent hardener LH-3 affects the strength of polymer compositions for the bottom of shoes. It has been experimentally proved that the quantitative ratio of the latent hardener and BS rubbers significantly affects the strength of materials for the bottom of shoes, the optimal values of which are achieved at 4-5 wt. h. hardener per 100 wt. h. polymer.

**Key words:** latent hardener, polymeric composite materials, styrene butadiene rubbers.

**Language:** Russian

**Citation:** Shalamberidze, M. M., & Sokhadze, Z. P. (2023). Investigation of the strength of polymer compositions with a latent hardener for the bottom of shoes. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (123), 243-246.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-07-123-28> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2023.07.123.28>

**Scopus ASCC:** 1508.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИИ С ЛАТЕНТНЫМ ОТВЕРДИТЕЛЕМ ДЛЯ НИЗА ОБУВИ

**Аннотация:** В статье представлены результаты оптимизаций полимерных композиций для низа обуви с латентным отвердителем ЛО-3. На основе полученных данных можно сказать, что подобранные независимые переменные  $X_1$  - количество отвердителя и  $X_2$  - температура активации латентного отвердителя ЛО-3 влияет на прочность полимерных композиций для низа обуви. Экспериментальным путем доказано, что количественное соотношение латентного отвердителя и БС каучуков существенно влияет на прочность материалов для низа обуви, оптимальные значения которых достигается при 4-5 мас. ч. отвердителя на 100 мас. ч. полимера.

**Ключевые слова:** латентный отвердитель, полимерные композиционные материалы, бутадиен-стирольные каучуки.

#### Введение

Процесс структурирования бутадиен-стирольных каучуков с латентным отвердителем (ЛО-3) и определение прочности полимерных материалов для низа обуви относится к малоизученным.

Изучение объекта исследования позволило определить в качестве выходного параметра прочность полимерных композиций, поскольку этот показатель является основным критерием при создании новых видов полимерных композиций для низа обуви [1-12]. Учитывая технические характеристики латентного отвердителя ЛО-3

## Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317  
ISI (Dubai, UAE) = 1.582  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
ПИИЦ (Russia) = 3.939  
ESJI (KZ) = 8.771  
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

(температуру активации) задачу исследования сформулировали, как поиск оптимального значения следующих факторов: количества отвердителя  $x_1$  и температуру активации  $x_2$ , при которых прочность подошвенных материалов на основе бутадиен-стирольных каучуков была бы максимальной  $y = f(x_1, x_2) \rightarrow \max$ .

### Объекты и методы исследования.

Для решения данной задачи использовали регрессионный анализ в матричной форме. Регрессия – это математическая модель, в которой переменная  $y$  линейно зависит от переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Зависимость факторов от выходного параметра описывается линейным уравнением, который проводится ниже:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + e \quad (1)$$

где  $e$  – отклонение и  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$  коэффициенты регрессии.

Уравнение регрессии проверяется на адекватность, то есть на сколько сбалансирован выходной параметр с факторами. Эффективность уравнения регрессии оценивается разницей данными переменного  $y$  (прочность полимерных материалов) с полученными путем эксперимента (выходного параметра)  $u$  данными  $\hat{y}$  полученными путем вычисления прочности полимерных материалов с помощью уравнении регрессии. Разница между  $u$  и  $\hat{y}$  должна быть минимальна.

Рассмотрим метод регрессионного анализа в матричной форме в общем выде. Введем следующие обозначения:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$n$  - мерный столб-матрица, который состоит из независимых наблюдений переменных.

$$x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

$n \times (m+1)$  мерная матрица, в которой каждая  $i$  – строка ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) представляет собой  $i$  – наблюдений независимых перемен  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 1 строка соответствует свободному члену уравнений регрессии  $b_0$ .

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 120 \\ 1 & 3 & 140 \\ 1 & 4 & 160 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 32 \\ 36 \\ 34 \end{bmatrix}$$

$$X^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 4 \\ 120 & 140 & 160 \end{bmatrix}$$

$(m+1)$  мерный столб-вектор, которые соответствуют свободному члену уравнении регрессии  $b_0$  и коэффициентам  $b_1, b_2, \dots, b_n$ .

$$e = \begin{bmatrix} e_0 \\ e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

$n$  - мерный столб-вектор, который показывает величину разниц между результатами полученных независимыми переменными  $y_i$  и результатами полученных с помощью уравнений регрессии  $\hat{y}_i$ , где:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1x_{i1} + b_2x_{i2} + \dots + b_nx_{in} \quad (2)$$

С помощью вышеуказанных обозначении можно написать матричное уравнение:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = e^T e = (Y - XB) \rightarrow \min \quad (3)$$

где  $-e^T$  является транспонированной матрицы  $e$ , то есть  $e^T = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ .

Если выполняется условие минимума, столб-вектор вычислим следующей формулой:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4)$$

где  $-X^T$  трансформированная матрица  $X$ , а  $(X^T X)^{-1}$  является обратной матрицы  $(X^T X)$ .

В ходе эксперимента использовали латентный отвердитель ЛО-3, который представляет собой структурирующий агент - соединение, проявляющее свою активность при температуре 120-160°C. В эксперименте также использовали полимерные композиции на основе БС каучуков следующих марок: СКС-30 и СКС-30 АРКМ. Они представляют собой нерегулярно чередующиеся звенья бутадиена и стирола. Молекулы полимера содержат мономерные звенья бутадиена и стирола, которые беспорядочно расположены в цепи. Химическая активность БС каучуков определяется содержанием и типом двойных связей в бутадиеновых звеньях.

### Экспериментальная часть.

Прочность полимерных композиции ( $y$ , МПа) с латентным отвердителем ЛО-3 зависит от следующих факторов:  $x_1$  - количество отвердителя (мас. ч.) и  $x_2$  – температуры активации отвердителя (°C). Величины факторов и выходных параметров представлены ниже:  $y = 32, 34, 36$ ;  $x_1 = 2, 3, 4$ ;  $x_2 = 120, 140, 160$ .

Определим коэффициенты линейной регрессии:

<b>Impact Factor:</b>	<b>ISRA (India) = 6.317</b>	<b>SIS (USA) = 0.912</b>	<b>ICV (Poland) = 6.630</b>
	<b>ISI (Dubai, UAE) = 1.582</b>	<b>ПИИЦ (Russia) = 3.939</b>	<b>PIF (India) = 1.940</b>
	<b>GIF (Australia) = 0.564</b>	<b>ESJI (KZ) = 8.771</b>	<b>IBI (India) = 4.260</b>
	<b>JIF = 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco) = 7.184</b>	<b>OAJI (USA) = 0.350</b>

$$X^T X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 4 \\ 120 & 140 & 160 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 120 \\ 1 & 3 & 140 \\ 1 & 4 & 160 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 9 & 420 \\ 9 & 29 & 1300 \\ 420 & 1300 & 5960 \end{bmatrix}$$

$$X^T Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 4 \\ 120 & 140 & 160 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 32 \\ 36 \\ 34 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 102 \\ 308 \\ 1432 \end{bmatrix}$$

$$(X^T X)^{-1} = \begin{bmatrix} 3 & 9 & 420 \\ 9 & 29 & 1300 \\ 420 & 1300 & 5960 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$|X^T X| = \det(X^T X) = 10346520 - 10668360 = -321840$$

$$(X^T X)^{-1} = \begin{bmatrix} 4,71 & 1,52 & 0,001 \\ 0,49 & -0,49 & -0,0003 \\ 0,001 & -0,003 & -0,00001 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = (X^T X)^{-1} X^T Y = \begin{bmatrix} 98,77 \\ -0,45 \\ -0,83 \end{bmatrix}$$

$$b_0 = 98,77 \quad b_1 = -0,45 \quad b_2 = -0,88$$

Исходя из значения коэффициентов уравнение регрессий будет иметь следующий вид:

$$Y = 98,77 - 0,45X_1 - 0,88X_2 \quad (5)$$

Если в данное линейное уравнение регрессии вставим значения  $X_1=2$  (количество отвердителя) и  $X_2=120$  (температура активации отвердителя) и сравним с первоначальными значениями эксперимента. Получим, что разница между этими данными  $\hat{y} = -1,73$  незначительны. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что подобранные независимые переменные  $X_1$  – количество отвердителя и  $X_2$  – температура активации латентного отвердителя

ЛО-3 влияют на прочность полимерных композиций для низа обуви.

#### Заключение.

Таким образом, найденные оптимальные значения факторов, влияющих на прочность полимерной композиций для низа обуви, были заложены в основу технологии приготовления и применения полимерной смеси на основе бутадиен-стирольных каучуков с латентным отвердителем ЛО-3.

#### References:

- Shalamberidze, M.M., & Polukhina, L.M. (2002). Patent # 2189768. Polimernaya kompozicziya dlya niza obuvi. A 43 V 13/04, S 08 L 9/06. Byul. # 27 of 27.09.2002.
- Dogadkin, B.A., Donczov, A.A., & Shershnev, V.A. (1981). *Khimiya e'lastomerov*. (p.373). Moscow: Khimiya.
- Fridman, M.L. (1992). *V kn. Novoe v reologii polimerov*. Pod redakciej G.V. Vinogradova. (p.296). M.: AN SSSR.
- (1995). Shiga and Futura. *Rubb. Chem. A Techn.* 1995, V. 58, pp. 1-21.
- Paterson, D., & Robard, A. (1978). *Macromolecules*, № 11, pp. 690-697.
- Shalamberidze, M.M. (2023). Investigation of Heat-Protective Properties of a Package of Materials for the Bottom of Shoes. *International Scientific Journal Theoretical & Applied Science*. 2023 № 06 Volume 122, pp. 306-308.
- Shalamberidze, M.M. (2023). Investigation of Polymer Composite Materials with a Latent Hardener a for the Bottom of Shoes. *International Scientific Journal Theoretical & Applied Science*. 2023 № 06 Volume 122, pp. 301-305.
- Shalamberidze, M., Tatvidze, M., & Lomtadze, N. (2016). The development of polymer compositions basedon styrene-butadiene

<b>Impact Factor:</b>	<b>ISRA (India) = 6.317</b>	<b>SIS (USA) = 0.912</b>	<b>ICV (Poland) = 6.630</b>
	<b>ISI (Dubai, UAE) = 1.582</b>	<b>PIHII (Russia) = 3.939</b>	<b>PIF (India) = 1.940</b>
	<b>GIF (Australia) = 0.564</b>	<b>ESJI (KZ) = 8.771</b>	<b>IBI (India) = 4.260</b>
	<b>JIF = 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco) = 7.184</b>	<b>OAJI (USA) = 0.350</b>

---

- thermoplastic elastomers with a latent curing agent for orthopedic shoes. *Theoretical basiss and innovative approach*. Research articles 8th edition. Technical science, B&M Publishing San-Francisco, 2016. California, USA, pp.255-259. DOI: [http://doi.org/10.15350/L\\_26/8](http://doi.org/10.15350/L_26/8)
9. Shalamberidze, M., & Tatvidze, M. (2015). "Thermal analysis of polymer composite materials for the bottom of orthopedic shoes". *Pressing issues and priorities in development of the scientific and technological complex*. Research articles, 2nd edition. L 17., pp.87-91. B&M Publishing. San-Francisco 2015. California, USA.
  10. Shalamberidze, M. M. (2018). Investigation of the density of the spatial grid of synthetic structured butadiene-styrene rubbers for the bottom of orthopedic footwear. *International Scientific Journal. Theoretical & Applied Science*, 2018, vol. 62, №6, pp.171-175. Philadelphia USA. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.06.62.31>.
  11. Shalamberidze, M.M., & Sokhadze, Z.P. (2018). Study of composition and optimization of technological factors of the structuring process of butadiene-nitrile polymers with latent hardener. *International Scientific Journal. Theoretical & Applied Science*, 2018, vol. 63, №7, pp.164-169. Philadelphia USA. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.07.63.26>
  12. Shalamberidze, M. M. (2018). Development of new composite materials based on the synthetic rubbers. *International Scientific Journal. Theoretical & Applied Science*, 2018, vol. 62, №6, pp.166-170. Philadelphia USA. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.06.62.30>