

УДК614.8.086

DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-12-22

**УЧЁТ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА
ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ МОДЕЛЕЙ
ПРОТИВОУДАРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ
ЗАЩИТЫ СУСТАВОВ***О. В. Денисов, А. Е. Пономарев,
Ю. С. Алексеева*Донской государственный технический университет, г.
Ростов-на-Дону, Российская ФедерацияOVD63@mail.ruae_ponomarev@mail.ru

Целью работы является оценка влияния масштабного фактора при моделировании противоударного элемента одежды на основе сплава с эффектом памяти формы. Рассмотрена техническая возможность экстраполяции результатов экспериментальных исследований на иные объекты для формирования исходных данных математической модели динамики упругопластической деформации противоударных устройств при соблюдении подобия особенностей внешнего нагружения.

Ключевые слова: противоударная защита, упруго-пластическая деформация, эффект памяти формы, защита суставов, масштабный фактор.

Введение. РФ в настоящий момент действует национальный стандарт ГОСТ Р 54934– 2012 «Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья». Однако анализ статистических данных в этой области показывает рост профессиональной заболеваемости. Выявлено, что основной причиной профессиональной патологии являются некомфортные условия труда, а также отсутствие, низкая эффективность или отсутствие у работников индивидуальных средств защиты. Среди защитных средств,

UDC614.8.086

DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-12-22

**SCALE FACTOR IN EXPERIMENTAL
STUDIES OF SHOCKPROOF
DEVICES MODELS FOR
JOINTS PROTECTION***O.V. Denisov, A. E. Ponomarev,
Y. S. Alexeeva*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian
FederationOVD63@mail.ruae_ponomarev@mail.ru

The aim of this paper is to evaluate the scale factor influence in the modeling of shockproof clothing on the basis of an alloy with shape memory effect. The article considers technical possibility of extrapolation of experimental results to other objects to generate the initial data of the mathematical model for dynamics of elastic-plastic deformation of the shockproof device with similarity of features of the external loading.

Keywords: shockproof, elastic-plastic deformation, shape memory effect, joints protection, scale factor

Introduction. National standard GOST R 54934– 2012 "Health management systems and occupational safety" is currently in force in Russia. However, the statistical data analysis in this field shows the growth of professional morbidity. It is revealed that the main cause of occupational diseases is uncomfortable working conditions, as well as the lack of or low efficiency of personal protective equipment. Among the protective equipment that has been successfully used

успешно применяющихся в профилактике травм, необходимо отметить противоударные приспособления — наколенники, эластичные повязки, а также пластины пластинчатых разъемов, соединенные упругими эластичными бандажами. Недостатками таких моделей стали размеры, сложность и дороговизна исполнения, невозможность удобно и быстро изменять место фиксации на одежде [1–4].

Модель противоударного элемента одежды. Разработанный противоударный элемент одежды (рис. 1), представляющий из себя крепящуюся с помощью застёжки-липучки и защитно-декоративного клапана накладку, содержит основу в виде спиралей из эквиатомного титано-никелевого сплава с эффектом памяти формы. Основа выполнена в виде спиралей проволоки плоского сечения с рисками по всей длине и включена или интегрирована в эластичный деформируемый элемент из силикона. Это позволяет осуществить относительную пространственную фиксацию спирали в основе, обеспечить требуемое расстояние между витками спирали, а также участвовать в поглощении энергии удара. Основа с двух сторон покрыта перфорированной теплопроводящей лентой на основе медного сплава, с С- или П-образными «лепестками». С одной стороны она снабжена текстильной застёжкой-липучкой, а с другой — ткань имеет щелевое перфорирование.

В качестве экспериментальных моделей противоударного приспособления использован противоударный элемент с определенными габаритными размерами: диаметр спирали, ширина и толщина проволоки, шаг между витками и между спиралями.

for the prevention of injuries, such of them as knee pads, elastic bandages, and plates of flat-like connectors put together by elastic bandages should be mentioned. The drawbacks of such models are the size, complexity and high cost performance, the inability to conveniently and quickly change the place of fixation on clothes [1–4].

The model of shockproof clothing. The designed shockproof item of clothing (Fig. 1), which is a plate fastened by a hook and pile fastener and a protective-decorative valve, contains the basis in the form of spirals of equiatomic titanium-nickel alloy with shape memory effect. The basis is made in the form of wire spirals of flat cross-section with marks along the entire length and it is included or integrated into the silicone deformable elastic element. This makes it possible to have the relative spatial fixation of the spiral at the base, to provide the required distance between the spiral turns, as well as to participate in impact energy absorption. The both sides of the base are covered with perforated thermally conductive tape based on copper alloy, with a C - or U-shaped "petals". On the one side it has textile hook and pile fastener, and on the other side the fabric has slit perforation.

As experimental models of shock devices we have used the shockproof element with specific dimensions: spiral diameter, width and thickness of wire, spacing between the turns and between the spirals.

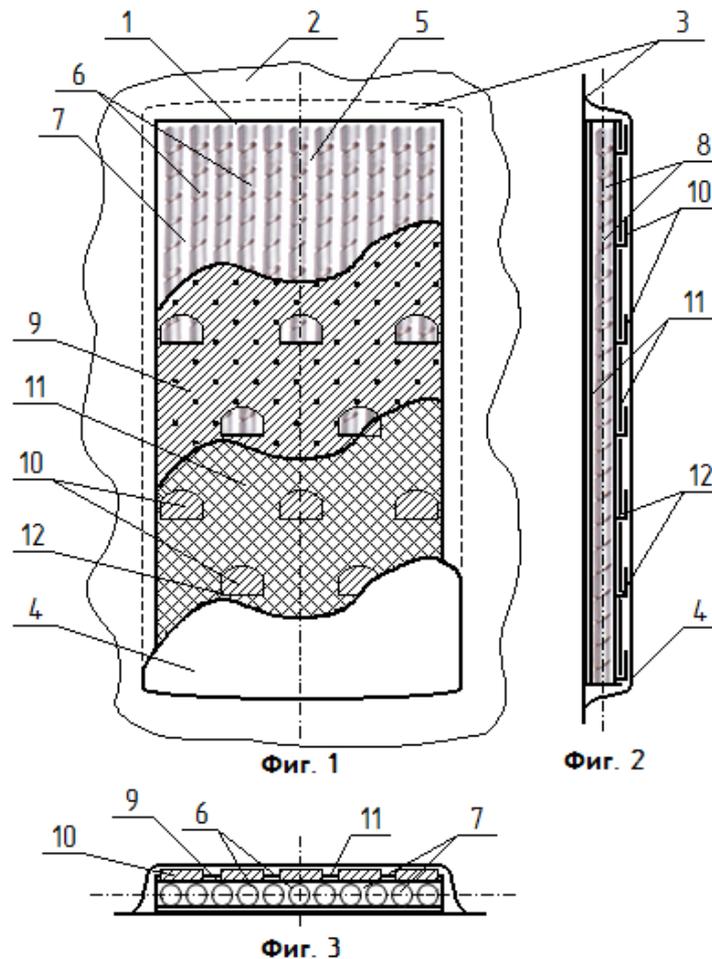


Рис. 1. Схема крепления противоударного элемента одежды:

- 1 — противоударный элемент; 2 одежда;
- 3 — застежка-липучка; 4 — тканевой декортивно-защитный клапан; 5 — основа противоударного элемента одежды;
- 6 — спирали проволоки сечения;
- 7 — силиконовый деформируемый элемент;
- 8 — витки спирали; 9 — теплопроводящая лента; 10 — «лепестки» теплопроводящей ленты; 11 — ткань с щелевыми отверстиями;
- 12 — щелевое перфорирование ткани

Применение масштабного фактора.

После обработки ряда результатов экспериментов образцов на основе эквиатомного сплава с эффектом памяти формы получена система безразмерных комплексов, которые достаточно полно описывают упругопластические деформации. Существует принципиальная возможность переноса результатов эксперимента на

Fig. 1. Scheme of fastening of shock-proof item of clothing: 1 — shockproof element;

- 2 — clothing; 3 — hook and pile fastener; 4 — textile protective-decorative valve; 5 — base of the shockproof item of clothing; 6 — cross section wire spirals;
- 7 — silicone deformable element; 8 — spiral turns;
- 9 — heat-conducting tape; 10 — "petals" of the heat-conducting tape; 11 — fabric with slotted holes;
- 12 — fabric slit perforation

The application of the scale factor. After the processing of a number of results of experimental samples on the basis of equiatomic alloy with shape memory effect, we obtained a system of dimensionless groups that adequately describe the elastic-plastic deformation. There is the possibility of transferring the results of the

реальные противоударные элементы.

Для получения результатов с учетом влияния масштабного фактора представим результаты испытаний моделей в виде соотношений между критериями подобия [5, 6]. В качестве характерных параметров можно рассмотреть: длину погонного участка, подверженного воздействию l , радиус скручивания спиралей R , величину внешнего погонного (на единицу длины) силового воздействия F , величину относительной линейной деформации экспериментальной модели противоударного устройства ϕ , величину относительной линейной деформации модели противоударного устройства в упругой зоне ϕ_{Π} , интегральный предел прочности материалов модели противоударного устройства в зоне упругой деформации G , интегральный предел прочности материалов модели противоударного устройства в зоне упругопластической деформации Φ . В результате получим следующий список основных параметров:

$$F, l, R, G, \Phi, \phi, \phi_{\Pi} \quad (1)$$

Размерности представим, согласно известных законов и теории подобия, в виде матрицы [7]:

$$\begin{vmatrix} 2 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ -2 & 0 & 0 & -2 & -2 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Безразмерные параметры ϕ и ϕ_{Π} в данный определитель не включены.

Важно определить число независимых безразмерных зависимостей, связанных с данной матрицей. Оно равно $n - r = 5 - 2 = 3$, где r — ранг матрицы (2).

Чтобы создать систему безразмерных комплексов преобразуем матрицу в следующий вид:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \end{vmatrix} \quad (3)$$

experiment on real shockproof elements.

To obtain the results with account to the scale effect let's present the results of the models tests in the form of correlations between similarity criteria [5, 6]. As characteristic parameters we can consider the length of the impacted linear area l , the twisting spirals radius R , the amount of external linear (per unit length) force action F , the value of relative linear deformation of the shockproof device experimental model ϕ , the value of relative linear deformation of the shockproof device experimental model in the elastic zone ϕ_{Π} , the integral tensile strength of materials of a shockproof device model in the zone of elastic deformation G , the integral tensile strength of materials of a shockproof device model in the zone of elastic deformation Φ . As a result we get the following list of basic parameters:

$$F, l, R, G, \Phi, \phi, \phi_{\Pi} \quad (1)$$

The dimensions are presented, according to the known laws and theories of similarity, in the form of a matrix [7]:

$$\begin{vmatrix} 2 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ -2 & 0 & 0 & -2 & -2 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Dimensionless parameters ϕ and ϕ_{Π} are not included in this.

It is important to determine the number of independent dimensionless dependencies connected with a given matrix. It is equal to $n - r = 5 - 2 = 3$, where r is the rank of the matrix (2).

To create a system of dimensionless groups let's transform the matrix in the following form:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Используя (3) и неиспользованные ранее угловые величины ϕ и ϕ_{Π} , представим систему безразмерных комплексов теперь в форме критериев подобия:

$$\Pi_1 = \frac{F}{GR^3}, \quad \Pi_2 = \frac{l}{R}, \quad \Pi_3 = \frac{G}{\Phi},$$

$$\Pi_4 = \phi, \quad \Pi_5 = \phi_{\Pi}. \quad (4)$$

Инвариантность критериев подобия $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_5$ для модели и природы, равносильна требованию геометрического подобия объектов.

При этом Π_1 можно рассматривать как известный закон подобия, аналогичный формулировке Кирпичева-Барба-Кика [7]. Геометрические подобные $l/R = \text{const}$ и подобно нагруженные внешним погонным силовым воздействием F из одних тех же материалов получают одинаковые касательные напряжения и сдвиговые деформации, если величина внешнего погонного силового воздействия F пропорциональна радиусам спиралей.

Примем в качестве основного характерного размера радиус спиралей R и выразим длину погонного участка, подверженного воздействию l экспериментального образца 1 и природы 2 через основной:

$$L_i = K_i R_i, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Поэтому можно предположить, что:

$$\frac{l_1}{R_1} = \frac{l_2}{R_2} = K_1 = K_2 = K. \quad (6)$$

Пользуясь (6), можно представить систему уравнений упругопластической деформации моделей в форме

$$F_i = \frac{\pi}{2K} D_i, \quad i = 1, 2, \dots$$

$$D_i = \begin{cases} G_i R_i^3 \phi_i, & \phi_i < \phi_{ni} \\ G_i R_i^3 \left[\frac{4}{3} \left(\phi_{ni} - \frac{4\phi_{ni}^4}{\phi_i^3} \right) + \frac{\Phi_i}{G_i} (\phi_i - \phi_{ni}) \left(1 - \frac{\phi_{ni}^4}{\phi_i^3} \right) + \frac{\phi_{ni}^4}{\phi_i^3} \right], & \phi_i \geq \phi_{ni}. \end{cases} \quad (7)$$

Введем для геометрически подобных образцов 1 и 2 масштабы радиусов спиралей R_0 , величины относительной линейной

Using (3) and the unused previously angular values ϕ and ϕ_{Π} , let's consider a system of dimensionless groups in the form of similarity criteria:

$$\Pi_1 = \frac{F}{GR^3}, \quad \Pi_2 = \frac{l}{R}, \quad \Pi_3 = \frac{G}{\Phi},$$

$$\Pi_4 = \phi, \quad \Pi_5 = \phi_{\Pi}. \quad (4)$$

The invariance of the similarity criteria $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_5$ for the model and a sample is equivalent to the requirement of geometric similarity of objects.

Thus Π_1 can be regarded as a well-known law of similarity, similar to Kirpicheva-Barba-Kick formula [7]. The geometrical similar ones $l/R = \text{const}$ and similarly loaded with an external linear force action F of the same materials receive the same shear stresses and shear strains, if the value of the external linear force F is proportional to the radii of spirals.

Let's take the radius of the coils R as a basic characteristic dimension, and express the length of the linear area exposed to the impact l of the experimental sample 1 and the model 2 through the main one:

$$L_i = K_i R_i, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Therefore, we can assume that:

$$\frac{l_1}{R_1} = \frac{l_2}{R_2} = K_1 = K_2 = K. \quad (6)$$

Using (6), we can represent the system of equations of elastic-plastic deformation of models in the form of:

$$F_i = \frac{\pi}{2K} D_i, \quad i = 1, 2, \dots$$

$$D_i = \begin{cases} G_i R_i^3 \phi_i, & \phi_i < \phi_{ni} \\ G_i R_i^3 \left[\frac{4}{3} \left(\phi_{ni} - \frac{4\phi_{ni}^4}{\phi_i^3} \right) + \frac{\Phi_i}{G_i} (\phi_i - \phi_{ni}) \left(1 - \frac{\phi_{ni}^4}{\phi_i^3} \right) + \frac{\phi_{ni}^4}{\phi_i^3} \right], & \phi_i \geq \phi_{ni}. \end{cases} \quad (7)$$

Let's introduce for geometrically similar samples 1 and 2 the magnitude of the radii of the spirals R_0 , the value of relative linear deformation

деформации ϕ_0 , интегральные пределы прочности материалов модели противоударного устройства в зонах упругой и упругопластической деформаций G_0 и Φ_0

$$R_0 = \frac{R_1}{R_2}; \phi_0 = \frac{\phi_1}{\phi_2}; G_0 = \frac{G_1}{G_2};$$

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_1}{\Phi_2}; \phi_{no} = \frac{\phi_{n1}}{\phi_{n2}}. \quad (8)$$

При этом ограничимся рассмотрением условия внешнего нагружения моделей, при котором остаются постоянными отношения приложенных внешних погонных силовых воздействий:

$$\frac{F_1}{F_2} = F_0 = const. \quad (9)$$

Пользуясь масштабами (8), условием простого нагружения торсионов (9) и геометрическим подобием, можно придать уравнениям (7) окончательную форму в безразмерном виде:

$$\frac{F_0 F_2}{G_0 R_0^3 G_2 R_2^3} = \frac{\pi \phi_0 \phi_2}{2K} \text{ при } \phi_0 \phi_2 < \phi_{no} \phi_{n2}. \quad (10)$$

$$\frac{F_0 F_2}{G_0 R_0^3 G_2 R_2^3} = \frac{\pi}{2K} \left[\begin{aligned} & \frac{4}{3} \left(\phi_{no} \phi_{n2} - \frac{(\phi_{no} \phi_{n2})^4}{4(\phi_{no} \phi_{n2})^3} \right) + \\ & + \frac{\Phi_0 \Phi_2}{G_0 G_2} \times (\phi_0 \phi_2 - \phi_{no} \phi_{n2}) \times \\ & \times \left(1 - \frac{(\phi_{no} \phi_{n2})^4}{4(\phi_{no} \phi_{n2})^4} + \frac{(\phi_{no} \phi_{n2})^4}{(\phi_{no} \phi_{n2})^3} \right) \end{aligned} \right] \quad (11)$$

при $\phi_0 \phi_2 \geq \phi_{no} \phi_{n2}$;

$$\frac{F_2}{G_2 R_2^3} = \frac{\pi \phi_2}{2K} \text{ при } \phi_2 < \phi_{n2}; \quad (12)$$

$$\frac{F_2}{G_2 R_2^3} = \frac{\pi}{2K} \left[\begin{aligned} & \frac{4}{3} \left(\phi_{n2} - \frac{\phi_{n2}^4}{4\phi_2^3} \right) + \frac{\Phi_2}{G_2} (\phi_2 - \phi_{n2}) \times \\ & \times \left(1 - \frac{\phi_{n2}^4}{\phi_2^4} \right) + \frac{\phi_{n2}^4}{\phi_2^3} \end{aligned} \right] \quad (13)$$

при $\phi_2 \geq \phi_{n2}$.

В том случае, если масштабы (8) не являются произвольными, а выбраны таким образом, что

ϕ_0 , the integral limits of shockproof device models material strength in the areas of elastic and elastic-plastic deformations G_0 and Φ_0

$$R_0 = \frac{R_1}{R_2}; \phi_0 = \frac{\phi_1}{\phi_2}; G_0 = \frac{G_1}{G_2};$$

$$\Phi_0 = \frac{\Phi_1}{\Phi_2}; \phi_{no} = \frac{\phi_{n1}}{\phi_{n2}}. \quad (8)$$

Thus we restrict ourselves to consideration of the conditions of models external loading, at which the relations of the applied external linear force impacts remain constant:

$$\frac{F_1}{F_2} = F_0 = const. \quad (9)$$

Using scales (8), the condition of simple loading of torsion bars (9) and the geometric similarity, it is possible to give equations (7) their final form in the dimensionless form:

$$\frac{F_0 F_2}{G_0 R_0^3 G_2 R_2^3} = \frac{\pi \phi_0 \phi_2}{2K} \text{ при } \phi_0 \phi_2 < \phi_{no} \phi_{n2}. \quad (10)$$

$$\frac{F_0 F_2}{G_0 R_0^3 G_2 R_2^3} = \frac{\pi}{2K} \left[\begin{aligned} & \frac{4}{3} \left(\phi_{no} \phi_{n2} - \frac{(\phi_{no} \phi_{n2})^4}{4(\phi_{no} \phi_{n2})^3} \right) + \\ & + \frac{\Phi_0 \Phi_2}{G_0 G_2} \times (\phi_0 \phi_2 - \phi_{no} \phi_{n2}) \times \\ & \times \left(1 - \frac{(\phi_{no} \phi_{n2})^4}{4(\phi_{no} \phi_{n2})^4} + \frac{(\phi_{no} \phi_{n2})^4}{(\phi_{no} \phi_{n2})^3} \right) \end{aligned} \right] \quad (11)$$

with $\phi_0 \phi_2 \geq \phi_{no} \phi_{n2}$;

$$\frac{F_2}{G_2 R_2^3} = \frac{\pi \phi_2}{2K} \text{ при } \phi_2 < \phi_{n2}; \quad (12)$$

$$\frac{F_2}{G_2 R_2^3} = \frac{\pi}{2K} \left[\begin{aligned} & \frac{4}{3} \left(\phi_{n2} - \frac{\phi_{n2}^4}{4\phi_2^3} \right) + \frac{\Phi_2}{G_2} (\phi_2 - \phi_{n2}) \times \\ & \times \left(1 - \frac{\phi_{n2}^4}{\phi_2^4} \right) + \frac{\phi_{n2}^4}{\phi_2^3} \end{aligned} \right] \quad (13)$$

with $\phi_2 \geq \phi_{n2}$.

In case if the dimensions of (8) are not specified, but chosen in such a way that

$$\frac{F_0}{G_0 R_0^3} = 1; \frac{\Phi_0}{\Phi_{\text{но}}} = 1; \frac{G_0}{\Phi_0} = 1; \frac{l_0}{R_0} = 1, \quad (14)$$

одноименные уравнения (10) и (12), (11) и (13) тождественно совпадают. Соотношения (14) при этом позволяют по заданным характеристикам одного образца получить характеристики другого простым перерасчетом.

Действительно, согласно (8) и (14)

$$\frac{F_1}{G_1 R_1^3} = \frac{F_2}{G_2 R_2^3}; \frac{F_1}{F_2} = \left[\frac{G_1}{G_2} \right] \left[\frac{R_1}{R_2} \right]^3 \dots \quad (15)$$

В соответствии с условиями подобия (4), обработка результатов испытаний моделей торсионов производилась в критериальной

форме $\frac{F}{GR^3} = f\left(\frac{l}{R}, \frac{\Phi}{G}, \phi, \phi_{\text{п}}\right)$. В

экспериментах с моделями образцов противоударных устройств, выполненных на основе сплава с эффектом памяти формы [8], варьировалось безразмерное отношение

$\Pi_2 = \frac{l}{R}$. Остальные критерии подобия сохраняли постоянное значение: $\Pi_3 = 0,1$, $\Pi_4 = \Pi_5 = 0,56$. По результатам нескольких опытов, для отмеченных на рис. 1 фиксированных значений критериев подобия, построено простое критериальное уравнение

$$\frac{F}{GR^3} = f\left(\frac{l}{R}\right).$$

По мере уменьшения параметра Π_2 нелинейный эффект от пластического упрочнения вырождается.

Отмечено удовлетворительное совпадение критериев в заданной области деформирования. Несовпадения для модельных образцов составляют не более 15 %. Они могут быть объяснены различием нелинейности упрочнения при упругопластических деформациях в моделях на основе сплава с феноменальными свойствами. Нелинейность критериальной зависимости в данном случае является следствием особенного и случайного характера внешних сил, приложенных к

$$\frac{F_0}{G_0 R_0^3} = 1; \frac{\Phi_0}{\Phi_{\text{но}}} = 1; \frac{G_0}{\Phi_0} = 1; \frac{l_0}{R_0} = 1, \quad (14)$$

the homogeneous equations (10) and (12), (11) and (13) identically coincide. The relations (14) allow with simple recalculation get the characteristics of a sample using the specified characteristics of another.

Indeed, according to (8) and (14)

$$\frac{F_1}{G_1 R_1^3} = \frac{F_2}{G_2 R_2^3}; \frac{F_1}{F_2} = \left[\frac{G_1}{G_2} \right] \left[\frac{R_1}{R_2} \right]^3 \dots \quad (15)$$

In accordance with the similarity conditions (4), the processing of tests results of torsion bars models was done in criterial form

$\frac{F}{GR^3} = f\left(\frac{l}{R}, \frac{\Phi}{G}, \phi, \phi_{\text{п}}\right)$. In the experiments

with shockproof device model samples made on the basis of an alloy with shape memory effect [8], dimensionless ratio $\Pi_2 = \frac{l}{R}$ varied. The other

similarity criteria were constant: $\Pi_3 = 0,1$, $\Pi_4 = \Pi_5 = 0,56$. Based on the results of several experiments for the marked in Fig. 1 fixed values of similarity criteria a simple criterion equation was made

$$\frac{F}{GR^3} = f\left(\frac{l}{R}\right).$$

With decreasing of the parameter Π_2 the nonlinear effect of the plastic hardening degenerates.

The satisfactory criteria coincidence in a specified region of deformation was found. The noncoincidence for the model samples is not more than 15 %. It can be explained by the difference of non-linearity hardening at elastic-plastic deformations in the models on the alloy with phenomenal properties. Nonlinearity of the criteria dependence in this case is a consequence of special and occasional nature of the external forces applied to models.

моделям.

При испытании моделей изменение температуры нагрева образцов также может существенно влиять на механические свойства сплава с эффектом памяти формы. Выбор оптимальных управлений и параметров моделей проведен при варьировании l, R, ϕ_{II}, G таким образом, чтобы обеспечить изменчивость критериев подобия Π_2 и Π_5 .

During models testing the heating temperature changes of samples can significantly affect the mechanical properties of the alloy with shape memory effect. The choice of optimal controls and parameters of the models were conducted by varying l, R, ϕ_{II}, G to ensure variability of the similarity criteria Π_2 and Π_5 .

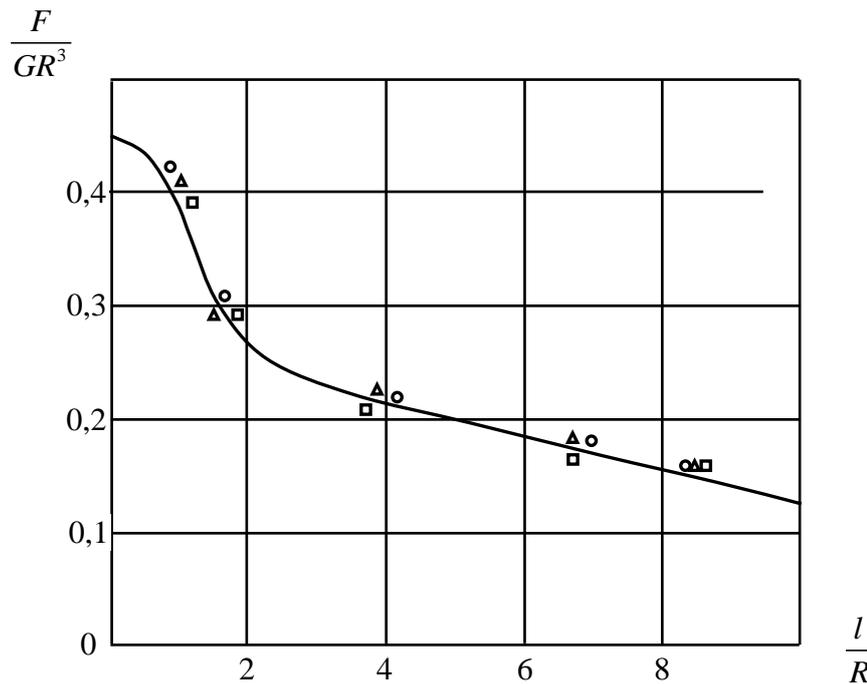


Рис.2 Экспериментальные значения безразмерной силовой характеристики моделей в критериальной форме

Fig.2 Experimental values of the dimensionless power characteristics of the models in criterial form

Обработка экспериментов в широком диапазоне температур проводилась в критериальной форме $\frac{F}{GR^3} = f\left(\frac{l}{R}, \phi_{II}\right)$.

На рис. 2 представлены результаты испытаний моделей в широком диапазоне температур при фиксированном отношении $\Pi_2 = 5,12, \Pi_3 = 0,1, \Pi_4 = 1,53$. Модели выполнены в основном из титано-никелевого сплава с эффектом памяти формы ТН-1 и полиуретановой основы.

Experiments processing in a wide temperature range was carried out in criterial form $\frac{F}{GR^3} = f\left(\frac{l}{R}, \phi_{II}\right)$.

Fig. 2 shows the results of models testing in a wide range of temperatures with a fixed ratio $\Pi_2 = 5,12, \Pi_3 = 0,1, \Pi_4 = 1,53$. The models are made mainly of titanium-nickel alloy with shape memory effect TN-1 and a polyurethane base.

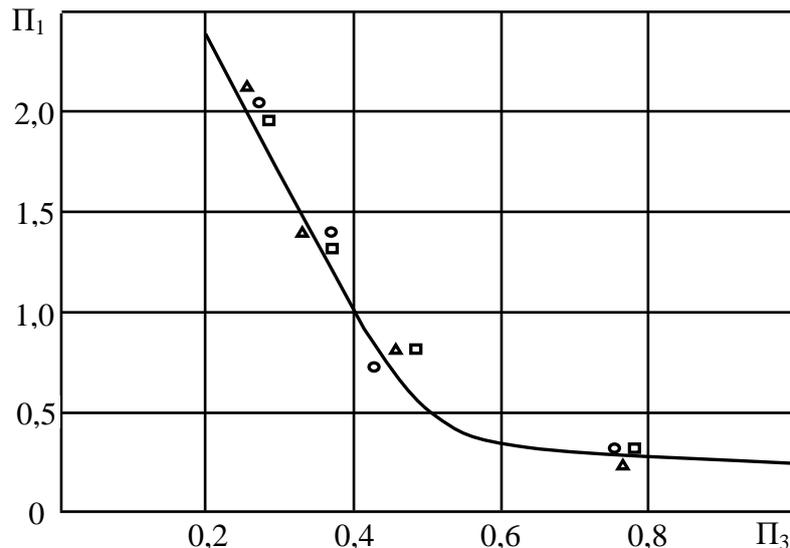


Рис. 3. Экспериментальная зависимость значений безразмерной силовой характеристики модели

$$\Pi_1 = FG^{-1}R^{-3} \text{ от величины относительной деформации } \Pi_3 = \phi_{II}$$

Fig. 3. The experimental dependence of the values of the dimensionless power characteristics of the model

$$\Pi_1 = FG^{-1}R^{-3} \text{ on the value of relative strain } \Pi_3 = \phi_{II}$$

Заключение. Таким образом, оценка влияния масштабного фактора при моделировании противоударного элемента одежды на основе сплава с эффектом памяти формы обуславливает техническую возможность экстраполяции результатов экспериментальных исследований на иные объекты для формирования исходных данных математической модели динамики упругопластической деформации противоударных устройств при соблюдении подобия особенностей внешнего нагружения.

Библиографический список.

1. Денисов, О. В. К вопросу о противоударной экипировке в профессиях, связанных с повышенным риском / О. В. Денисов, Ю. И. Булыгин, А. Е. Пономарев // Инновационные технологии в науке и образовании : Сборник научных трудов научно-методической конференции, посвященной 85-летию ДГТУ. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 510–516.
2. Денисов, О. В. Защитная повязка для крупных суставов при занятиях спортом / О. В. Денисов, И. А. Пономарева,

Conclusion. Overall, the estimation of scale effects in modeling of a shockproof item of clothing on the basis of an alloy with shape memory effect leads to technical ability of extrapolation of experimental results to other objects to generate the mathematical model initial data of the dynamics of elastic-plastic deformation of the shock-proof device with a similarity of features of the external loading.

References:

1. Denisov, O.V., Bulygin Y.I., Ponomarev, A.E. K voprosu o protivoudarnoy ekipirovke v professiyakh, svyazannykh s povyshennym riskom. [On the question of shockproof gear in occupations connected with increased risk.] Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Sbornik nauchnykh trudov nauchno-metodicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu DGTU. [Innovative technologies in science and education: Coll. of sci. works of sci. conf. devoted to 85-th anniversary of the DSTU.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 510-516 (in Russian).
2. Denisov, O.V., Ponomareva, I.A., Zimenko V.A. Zashchitnaya povyazka dlya krupnykh sustavov pri zanyatiyakh sportom. [Protective band for large joints for sport

- В. А. Зименко // Новые стандарты модернизации педагогического образования в формировании здорового образа жизни и безопасности жизнедеятельности : матер. III регион. науч.-практ. конф. ЮФО. — Краснодар, 2015. — С. 90–92.
3. Топилин, И. В. Об испытаниях опытной модели элемента противоударной экипировки водителей автотранспорта (Часть 1) / И. В. Топилин, И. А. Пономарева // Инженерный вестник Дона. — 2015. — Т. 36. — № 2–2. — С. 123.
4. Еремин, И. И. Об испытаниях опытной модели элемента противоударной экипировки водителей автотранспорта (Часть 2) / И. И. Еремин, О. В. Денисов // Инженерный вестник Дона. — 2015. — Т. 36. — № 2–2. — С. 124.
5. Денисов, О. В. Масштабный фактор при упругопластическом кручении торсионов на основе сплава с эффектом памяти формы / О. В. Денисов, В. Я. Ступаков, А. И. Костоготов, Л. А. Шевцова // Известия вузов. Естественные науки. — 1999. — №4. — С. 21–24.
6. Костоготов, А. И. Экспериментальное исследование механических свойств титаноникелевого сплава с эффектом памяти формы при повышенных температурах и пластическом кручении / А. И. Костоготов, О. В. Денисов, В. Я. Ступаков, Л. А. Шевцова // Известия вузов. Естественные науки. — 1999. — №4. — С. 24–26.
7. Фридман, Я. Б. Механические свойства металлов. Часть 1. Деформация и разрушение / Я. Б. Фридман. — Москва : Машиностроение, 1974.
8. Противоударное приспособление: патент на изобретение : патент 2578997 Рос. Федерация : А41D 13/06 / Б. Ч. Месхи, activities.] Novye standarty modernizatsii pedagogicheskogo obrazovaniya v formirovaniy zdorovogo obraza zhizni i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: mater. III region. nauch.-prakt. konf YUFO. [New standards for modernization of pedagogical education in the formation of healthy lifestyle and life safety: mater. III region. scientific.-pract. conf. SFD.] Krasnodar, 2015, pp. 90-92 (in Russian).
3. Topilin, I. V., Ponomareva, I. A. Ob ispytaniyakh opytnoy modeli elementa protivoudarnoy ekipirovki voditeley avtomototransporta (Chast' 1). [On testing the experimental model of the element of shockproof gear for motor vehicles drivers (Part 1)] Inzhenernyy vestnik Dona, 2015, vol. 36, no. 2-2, p. 123 (in Russian).
4. Eremin, I. I., Denisov, O. V. Ob ispytaniyakh opytnoy modeli elementa protivoudarnoy ekipirovki voditeley avtomototransporta (Chast' 2). [On testing the experimental model of the element of shockproof gear for motor vehicles drivers (Part 2)] Inzhenernyy vestnik Dona, 2015, vol. 36, no. 2-2, p. 124 (in Russian).
5. Denisov, O. V., Stupakov, V. Y., Kostogotov, L.A., Shevtsova, L.A. Masshtabnyy faktor pri uprugoplasticheskom kruchenii torsionov na osnove splava s effektom pamyati formy. [Scale factor at the elastic-plastic torsion of the torsion bars on the basis of an alloy with shape memory effect.] Izvestiya vuzov. Estestvennye nauki, 1999, no. 4, pp. 21-24 (in Russian).
6. Kostogotov, A. I., Denisov, O. V., Stupakov, V. Y., Shevtsova, L. A. Eksperimental'noe issledovanie mekhanicheskikh svoystv titanonikelevo splava s effektom pamyati formy pri povyshennykh temperaturakh i plasticheskom kruchenii. [Experimental study of mechanical properties of titanium-nickel alloy with shape memory effect at elevated temperatures and plastic torsion.] Izvestiya vuzov. Estestvennye nauki, 1999, no. 4, pp. 24-26 (in Russian).
7. Fridman, J.B. Mekhanicheskie svoystva metallov. Chast' 1. Deformatsiya i razrushenie. [Mechanical properties of metals. Part 1. Deformation and fracture.] Moscow: Mashinostroenie, 1974.
8. Meskhi, B. Ch., Denisov, O.V., Bulygin, Y.I., Ponomarev, A.E., Ponomareva, I.A. Protivoudarnoe prisposoblenie: patent na izobretenie: patent 2578997 Ros. Federatsiya: A41D 13/06. [Shockproof device: patent for invention: patent 2578997 Russian Federation:

О. В. Денисов, Ю. И. Булыгин,
А. Е. Пономарев, И. А. Пономарева. – №
2014134037/12 ; заявл. 20.08.2014 ; опубл.
27.03.2016, Бюл. № 9. — 8 с.

A41D 13/06.] Patent RF, no 2014134037/12,
2016, 8 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 05.03.2017
Сдана в редакцию 06.03.2017
Запланирована в номер 20.05.2017

Received 05.03.2017
Submitted 06.03.2017
Scheduled in the issue 20.05.2017

Денисов Олег Викторович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Безопасность жизнедеятельности и
защита окружающей среды» Донского
государственного технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина, 1) OVD63@mail.ru

Oleg Viktorovich Denisov,
Candidate of technical Science, Associate
Professor, Department of life safety and
environmental protection, Don State Technical
University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don,
Russian Federation)
OVD63@mail.ru

Пономарев Алексей Евгеньевич,
магистрант направления «Техносферная
безопасность» Донского государственного
технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина, 1) ae_ponomarev@mail.ru

Aleksey Evgenevich Ponomarev,
Master student, Technosphere safety Department,
Don State Technical University (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation)
ae_ponomarev@mail.ru

Алексеева Юлия Сергеевна,
магистрант направления «Техносферная
безопасность» Донского государственного
технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

Alekseeva Yuliya Sergeevna,
Master student, Technosphere safety Department,
Don State Technical University (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation)