

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ

### STUDY OF THE EFFECT OF THE SCALE FACTOR ON THE STRENGTH PROPERTIES CHARACTERISTICS OF ARTIFICIAL MAN-MADE LEATHER

УДК 675.017.4

**В.С. Туманов\*, А.А. Кузнецов, В.В. Мурычева**

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-59-66>**V. Tumanov\*, A. Kuznetsov, V. Murycheva**

Vitebsk State Technological University

## РЕФЕРАТ

**ИСКУССТВЕННАЯ КОЖА, МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАЗРЫВНАЯ НАГРУЗКА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ**

Цель работы – оценка влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственных кож, путем использования метода имитационного моделирования, применение которого позволяет выявить общие закономерности влияния линейных размеров поверхностно-протяженных материалов на их прочностные характеристики.

Осуществлено моделирование испытаний с учетом вида и параметра закона распределения разрывной нагрузки для образцов, состоящих из некоторого числа  $n$  структурных элементов по длине и некоторого числа  $m$  структурных элементов по ширине образца. Для выявления влияния геометрических размеров образца на среднее значение его разрывной нагрузки проводилось моделирование таких же экспериментов для образцов искусственной кожи с переменной длиной и шириной.

С целью проверки предварительных выводов была произведена экспериментальная оценка разрывной нагрузки искусственной кожи при разных геометрических размерах пробы. В качестве объекта исследования была выбрана двухслойная искусственная кожа артикула Hongxin 11022-16. Испытания проводились с помощью универсальной испытательной машины TIME WDW-5 на пробах прямоугольной формы.

## ABSTRACT

**MAN-MADE LEATHER, SCALE FACTOR, STRENGTH PROPERTIES, SIMULATION MODELING, BREAKING LOAD, GEOMETRICAL CONDITIONS**

The article presents studies of the influence of scale factor on the strength properties of artificial leathers. The method of simulation modeling enables to determine general patterns of influence of linear dimensions of surface-retentive materials on their strength properties.

Simulation was performed by the type and parameter of the law of distribution of the breaking load for specimens consisting of one section, the breaking load of which along the length is constant. In order to identify the influence of the geometric dimensions of the sample on the average value of its breaking load, the same experiments were simulated for man-made leather samples with variable length and width.

In order to experimentally verify the preliminary conclusions, an experimental evaluation of the breaking load of artificial leather at various geometric dimensions was carried out. The object of the study was double-layered man-made leather, item Hongxin 11022-16. Sample thickness of 0.9 mm, surface density is 435 g/m<sup>2</sup>. Tests were conducted using TIME WDW-5 universal testing machine on samples of rectangular shape. As a result of this research, the possibility of practical use of the test simulation method for studying the influence of the scale factor on the strength properties of man-made leather was shown.

\* E-mail: [vevt24@gmail.com](mailto:vevt24@gmail.com) (V. Tumanov)

*В результате проведенных исследований показана возможность практического использования метода имитационного моделирования испытаний для изучения влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственной кожи.*

## ВВЕДЕНИЕ

Высокие требования, предъявляемые к потребительским свойствам и качеству современных изделий обувной промышленности, определяют её конкурентоспособность на внутреннем рынке Республики Беларусь и за рубежом. От качества исходных материалов, применяемых для изготовления обуви, зависит качество готового изделия. Управление качеством продукции требует знания свойств, умения правильно измерять и объективно оценивать важнейшие показатели качества, а также достоверно прогнозировать количественные характеристики свойств продукции [1, 2]. Одним из наиболее значимых показателей качества материалов, определяющих их технологическую пригодность для изготовления изделий из кожи, является нагрузка при разрыве, характеризующая прочность материала. Методику оценивая разрывной нагрузки искусственных кож (ИК) регламентируют соответствующие стандарты (ГОСТ 17361-71), где ее определяют при определенной фиксированной зажимной длине и ширине. Однако, с изменением зажимной длины и ширины меняется и значение разрывной нагрузки. Данная зависимость получила название масштабного эффекта. Анализ литературных источников показал недостаточную изученность вопросов, связанных с влиянием масштабного фактора на физико-механические свойства ИК [3–5].

Целью проводимых исследований является оценка влияния масштабного фактора на прочностные характеристики ИК. Научная новизна проведенных исследований состоит в использовании метода имитационного моделирования испытаний, применение которого позволяет выявить общие закономерности влияния линейных размеров поверхностно-протяженных материалов на их прочностные характеристики.

## Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Предполагается, что каждый  $k$ -й образец ИК можно представить как некоторую систему, состоящую из последовательно-параллельно соединенных участков разной длины  $l_{ik}$ , разной ширины  $a_{jk}$  и разрывной нагрузки  $P_{ijk}$ , где  $k$  – изменяется от 1 до  $z$  ( $z$  – число образцов в испытываемой партии),  $i$  – от 1 до  $n$  ( $n$  – число структурных элементов по длине образца),  $j$  – от 1 до  $m$  ( $m$  – число структурных элементов по ширине образца).

Исходными данными для моделирования являются: вид и параметры закона распределения разрывной нагрузки для образцов, состоящих из одного участка, разрывная нагрузка которого по длине постоянна  $\bar{P}_p(1)$ ,  $C_p(1)$ ; вид и параметры закона распределения участков системы  $\bar{n}$  и  $C_n$ ,  $\bar{m}$  и  $C_m$ ; число испытываемых образцов  $z$ , где:  $\bar{P}_p(1)$  – среднее значение разрывной нагрузки для образцов, состоящих из одного участка;  $C_p(1)$  – коэффициент вариации по разрывной нагрузке для образцов, состоящих из одного участка;  $\bar{P}_p(n, m)$  – значение разрывной нагрузки поверхностно-протяжённого образца, состоящего из  $n$  и  $m$  числа структурных элементов;  $C_p(n)$   $C_p(m)$  – коэффициенты вариаций количества структурных элементов по длине и ширине образца соответственно.

С помощью программы, реализованной в математической системе Maple 19, на начальном этапе осуществлялось моделирование эксперимента по испытанию на разрыв из  $z$  образцов, состоящих из некоторого числа  $n$  структурных элементов по длине образца, при этом число структурных элементов по ширине образца принималось равным  $m = 1$  с заданными значениями  $\bar{P}_p(1)$  и  $C_p(1)$ .

На втором этапе моделирования, полученные значения разрывной нагрузки  $P_{ij}$  для некото-

рого числа  $n$  структурных элементов, являлись исходными данными для моделирования эксперимента по испытанию на разрыв из  $z$  образцов и задаваемого числа  $m$  структурных элементов.

Некоторые гистограммы распределений значений  $P_p(n, m)$  и функции плотности вероятностей значений  $P_p(1)$  и  $P_p(n, m)$  представлены на рисунке 1.

В результате имитационного моделирования установлено, что распределение разрывной нагрузки образца  $P_p(n, m)$  не совпадает с задаваемым законом распределения  $\bar{P}_p(1)$ . Отмечается появление правой асимметрии закона распределения и сдвиг модального значения в сторону меньших значений.

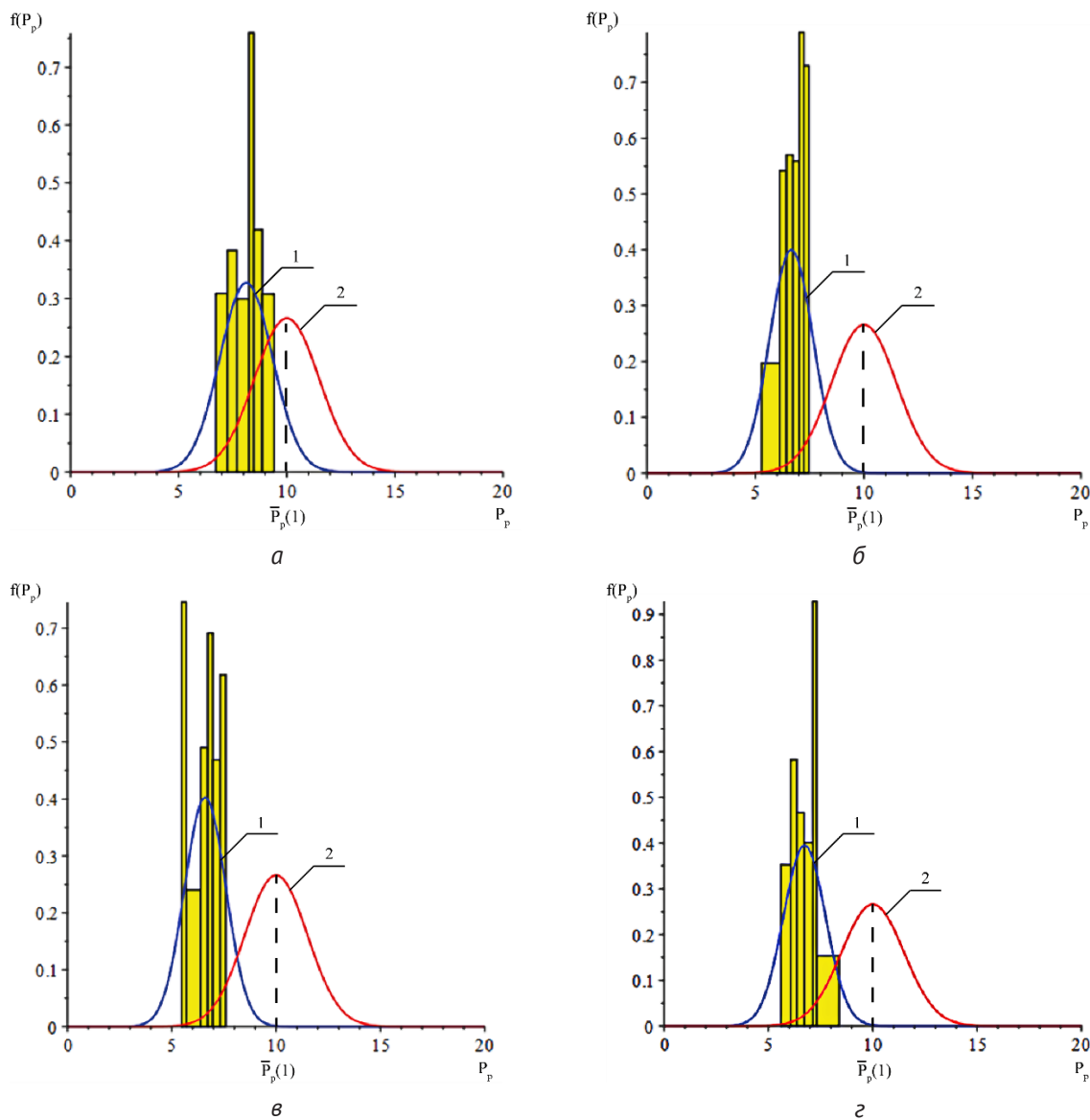


Рисунок 1 – Гистограммы распределений значений  $P_p(n, m)$  и функции плотностей вероятностей значений  $P_p(n, m)$  (кривая 1) и  $\bar{P}_p(1)$  (кривая 2) при а –  $\bar{n} = 5, \bar{m} = 1$ ; б –  $\bar{n} = 30, \bar{m} = 1$ ; в –  $\bar{n} = 30, \bar{m} = 5$ ; г –  $\bar{n} = 30, \bar{m} = 30$

Для выявления влияния геометрических размеров образца на среднее значение его разрывной нагрузки проводилось моделирование таких же экспериментов для образцов ИК с переменной длиной и шириной, которые считались пропорциональны числу  $n$  и  $m$  участков цепи.

На рисунке 2 представлены зависимости среднего значения разрывной нагрузки от числа структурных элементов  $n$  по длине исследуемо-

го образца материала при различных значениях количества структурных элементов  $m$  по ширине образца.

Анализ данных зависимостей позволяет отметить, что увеличение количества структурных элементов  $n$  приводит к закономерному снижению среднего значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p$ . Это объясняется тем, что при увеличении числа участков  $n$  увеличивается вероятность появле-

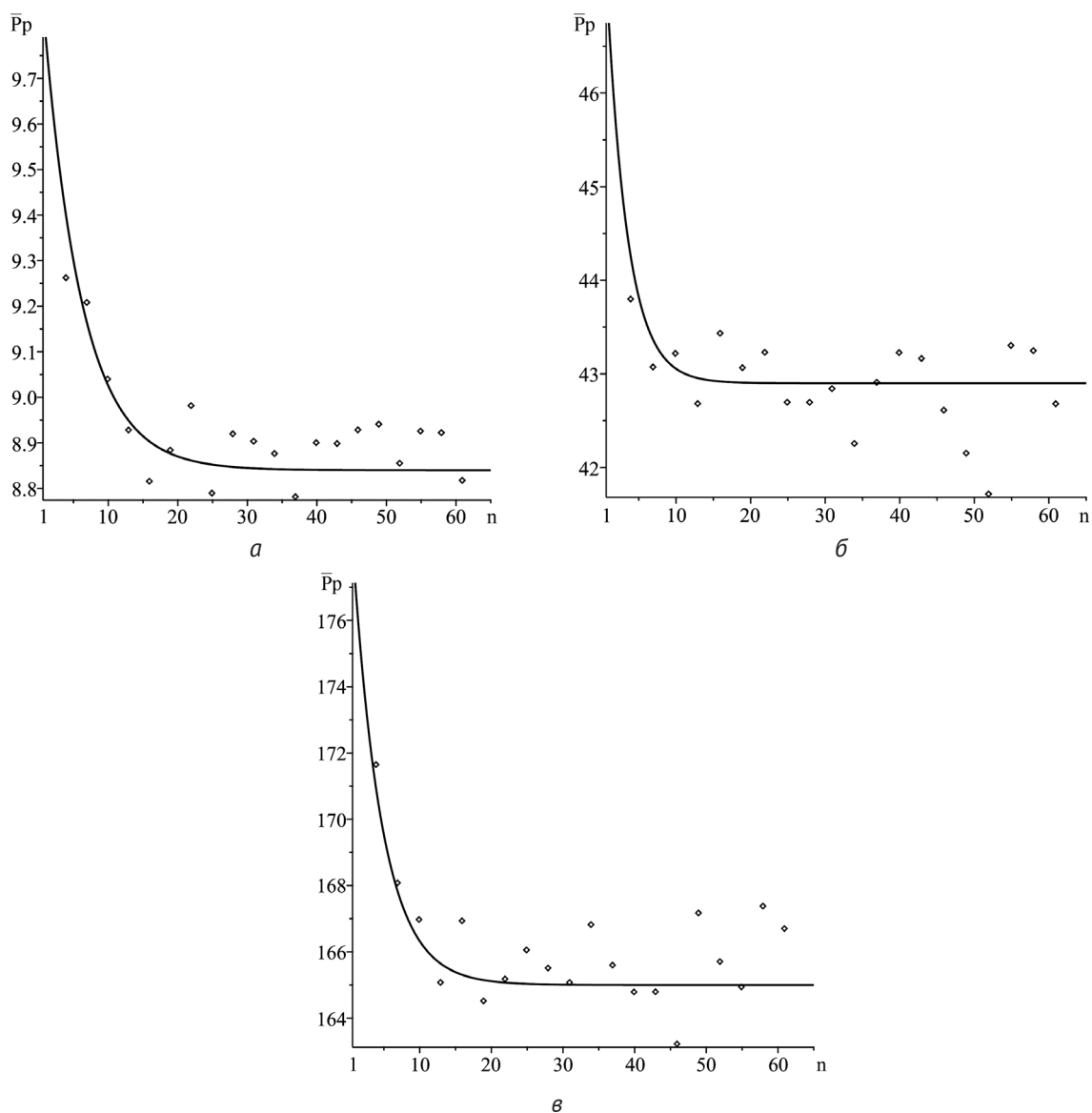


Рисунок 2 – Зависимости среднего значения разрывной нагрузки от числа структурных элементов по длине при различных значениях количества структурных элементов по ширине образца ( $a - \bar{m} = 1$ ;  $б - \bar{m} = 5$ ;  $в - \bar{m} = 20$ )

ния элемента ИК с наименьшей по абсолютной величине разрывной нагрузкой.

Для математического описания результатов моделирования используем математическую модель следующего вида [6]:

$$\bar{P}_p(n) = (m \cdot \bar{P}_p(1) - \bar{P}_{p.сл}) \cdot \exp\left(-\frac{n-1}{K_n}\right) + \bar{P}_{p.сл}, \quad (1)$$

где  $\bar{P}_{p.сл}$  – средняя разрывная нагрузка наиболее слабых звеньев, испытуемого образца материала;  $K_n$  – параметр модели, характеризующий темп уменьшения среднего значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p(n)$  при увеличении  $n$  (темповой параметр) [6].

Для количественной оценки степени проявления масштабного фактора прочности при увеличении ширины материала (предполагается, что ширина образца пропорциональна числу структурных элементов  $m$ ) введём следующий показатель  $\Psi$ , (%):

$$\Psi = \frac{m \cdot \bar{P}_p(1) - \bar{P}_{p.сл}}{m \cdot \bar{P}_p(1)} \cdot 100(\%) . \quad (2)$$

В результате имитационного моделирования получена зависимость введённого показателя от количества структурных элементов  $m$ , представленная на рисунке 3.

Анализ данной зависимости позволяет отметить закономерный характер снижения  $\Psi$  при увеличении количества структурных элементов  $m$ . При этом существует такое количество структурных элементов  $m$ , которое не влияет на относительное уменьшение разрывной нагрузки, вызванное действием масштабного фактора.

Так как зажимная длина  $L_0$  пропорциональна  $n$ , зажимная ширина  $A_0$  пропорциональна  $m$ , то по аналогии с (1) можно записать:

$$\bar{P}_p(L_0) = (\bar{P}_p(0) - \bar{P}_{p.сл}) \cdot \exp\left(-\frac{L_0}{K_L}\right) + \bar{P}_{p.сл}, \quad (3)$$

где  $\bar{P}_{p.сл}$  – средняя разрывная нагрузка наиболее слабых звеньев, испытуемого образца ИК;  $\bar{P}_p(L_0)$  – среднее значение разрывной нагрузки, как функции зажимной длины  $L_0$ ;  $\bar{P}_p(0)$  – среднее значение разрывной нагрузки образца, зажимная длина которого стремится к 0;  $K_L$  – имеет тот же смысл, что и  $K_n$ , то есть параметр модели

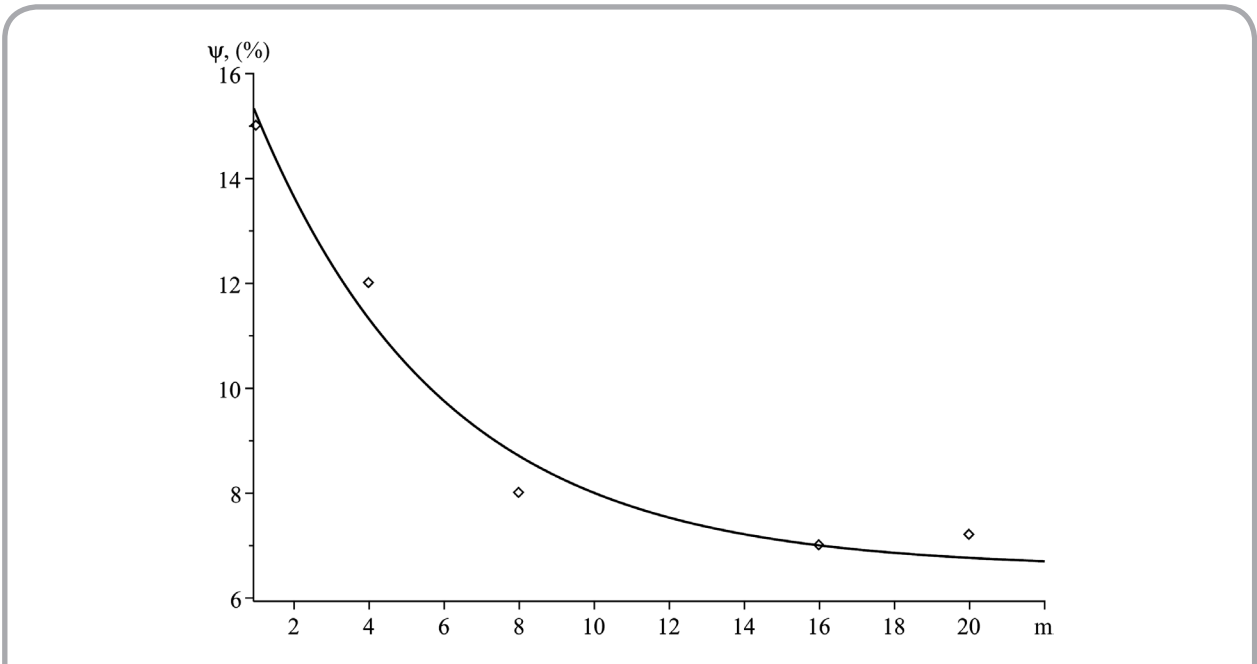


Рисунок 3 – Зависимость относительного уменьшения разрывной нагрузки от числа структурных элементов  $m$

определяющий темп уменьшения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p(L_0)$  при увеличении зажимной длины.

С целью экспериментальной проверки предварительных выводов, сформулированных выше, была произведена экспериментальная оценка разрывной нагрузки ИК при разных геометрических размерах. В качестве объекта исследования была выбрана двухслойная ИК, арт. Hongxin 11022-16. Толщина материала – 0,9 мм, поверхностная плотность – 435 г/м<sup>2</sup>. Испытания проводились с помощью универсальной испытательной машины TIME WDW-5 на пробах прямоугольной формы. При проведении экспериментальных исследований зажимная длина варьировалась в диапазоне от 50 до 300 мм с шагом 50 мм, а изменение ширины происходило в диапазоне от 20 до 60 мм с шагом 20 мм. Для каждой пробы различных размеров было проведено по 5 испытаний на разрыв в разных направления раскроя материала (вдоль и поперек рулона). Некоторые результаты

проведенных исследований представлены на рисунке 4.

Анализ данных зависимостей показывает закономерное снижение разрывной нагрузки с увеличением зажимной длины образца ИК. Параметры математической модели (3) представлены в таблице 1.

Анализ полученных в таблице 1 результатов показывает, что увеличение ширины образца приводит к закономерному увеличению значений  $\bar{P}_p(0)$  и  $\bar{P}_{p.cx}$ , при этом темповый параметр KL остается практически постоянным.

#### ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что практическое использование полученных результатов позволяет:

- осуществлять прогнозирование разрывной нагрузки  $P_p$  образцов ИК при различных геометрических параметрах, что повышает информативность полциклового испытания на растяжение;

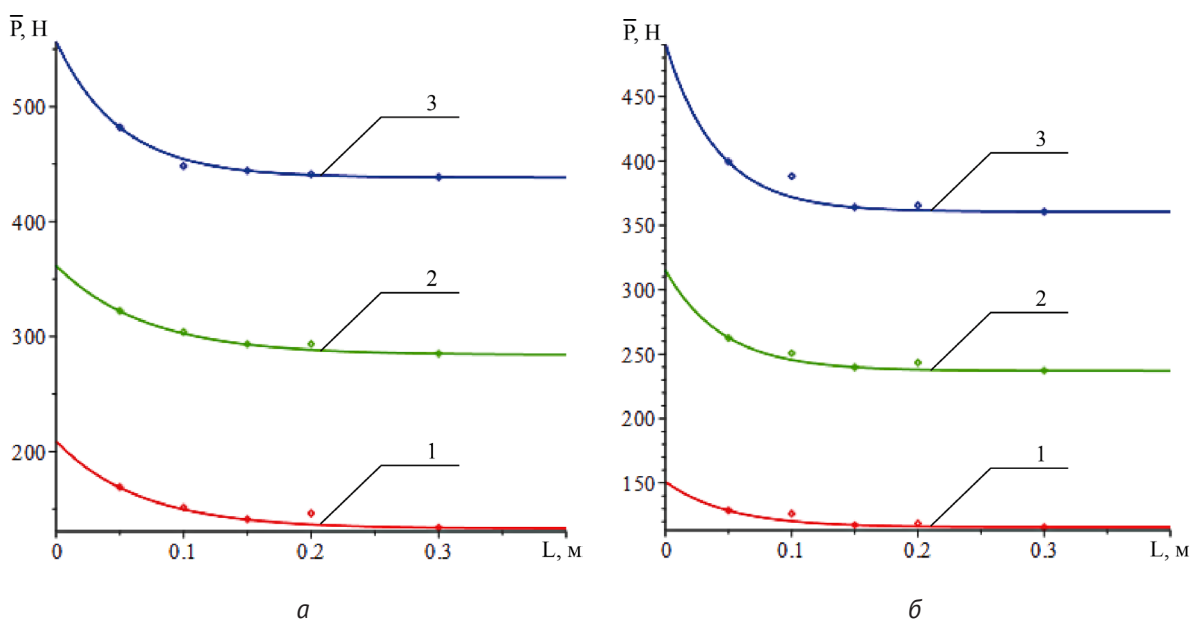


Рисунок 4 – Зависимости разрывной нагрузки от зажимной длины при разной ширине образца (1 –  $a = 0,02$  м, 2 –  $a = 0,04$  м, 3 –  $a = 0,06$  м; а – направление раскроя образца – вдоль, б – направления раскроя образца – поперек)

Таблица 1 – Параметры математической модели для исследуемого образца ИК при разных зажимных расстояниях и ширинах

Ширина образца, мм	$\bar{P}_{p.cл}, Н$	$\bar{P}_p(0), Н$	$K_L, м^{-1}$	$R^2$	$\Psi_d, \%$
Направление раскроя – вдоль					
20	132,9	209,0	0,076	0,96	57,3
40	284,0	361,8	0,073	0,99	27,4
60	438,4	556,7	0,056	0,99	27,0
Направления раскроя – поперек					
20	115,6	151,0	0,051	0,97	31,0
40	237,1	315,1	0,054	0,99	33,0
60	360,6	490,6	0,047	0,98	36,0

– предложить методологический подход к обоснованию геометрических размеров образцов ИК при ее испытаниях.

Таким образом, доказана возможность практического использования метода имитационного моделирования испытаний для изучения влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственной кожи.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитриев, А. П., Борозна, В. Д., Буркин, А. Н. (2018), Деформационные свойства и структура современных искусственных кож на тканой основе для верха обуви, *Дизайн и технологии*, 2018, № 65(107), С. 29–31.
2. Борозна, В. Д., Буркин, А. Н., Козловская, Л. Г., Цобанова, Н. В., Гольдаде, В. А., Зотов, С. В. (2020), Свойства искусственных кож, применяемых для производства заготовок верха обуви внутреннего способа формования, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, №1 (38), С. 18–31.
3. Шашкова, Е. С., Томашева, Р. Н., Горбачик, В. Е. (2018), Влияние масштабного фактора на физико-механические свойства искусственных

#### REFERENCES

1. Dmitriev, A. P., Borozna, V. D., Burkin, A. N. (2018), Deformation properties and structure of modern woven leather for the top of shoes [Deformacionnye svojstva i struktura sovremennyh iskusstvennyh kozh na tkanoj osnove dlja verha obuvi], *Dizajn i tekhnologii – Design and technology*, 2018, № 65(107), pp. 29–31.
2. Borozna, V. D., Burkin, A. N., Kozlovskaya, L. G., Tsobanova, N. V., Goldade, V.A., Zotov, S. V. (2020), Properties of artificial skins used for the manufacture of inner molding shoe top blanks [Svojstva iskusstvennyh kozh, primenjaemyh dlja proizvodstva zagotovok verha obuvi vnutrennego sposoba formovaniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo*



- кож, *Материалы докладов 51-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной Году науки*, Витебск, 2018, С. 100–102.
4. Уманский, Э. С. (1963), Масштабный эффект при растяжении искусственной кожи на ориентированной хлопковой основе, *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, 1963, № 1, С. 63–78.
  5. Кирюшина, В. В., Ковалева, Ю. Ю., Степанов, П. А., Коваленко, П. В. (2019), Исследование влияния масштабного фактора на прочностные свойства полимерных композиционных материалов, *Известия вузов. Ядерная энергетика*, 2019, № 1, С. 97–104.
  6. Кузнецов, А. А. (2009), Исследование влияния масштабного фактора на характеристики прочности пряжи, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2009, № 1, С. 14–17.
  3. Shashkova, E. S., Tomasheva, R. N., Gorbachik, V. E. (2018), Influence of scale factor on physical and mechanical properties of artificial skins [Vliyanie masshtabnogo faktora na fiziko-mehanicheskie svojstva iskusstvennyh kozh], *Materials of the reports of the 51st International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students dedicated to the Year of Science*, Vitebsk, 2018, pp. 100–102.
  4. Umansky, E. S. (1963), Scale effect when stretching artificial skin on an oriented cotton base [Masshtabnyj jeffekt pri rastjazhenii iskusstvennoj kozhi na orientirovannoj hlopkovoj osnove], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti – The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry*, 1963, № 1, pp. 63–78.
  5. Kiryushina, V. V., Kovaleva, Yu. Yu., Stepanov, P. A., Kovalenko, P. V. (2019), Study of the influence of the scale factor on the strength properties of polymer composite materials [Issledovanie vlijaniya masshtabnogo faktora na prochnostnye svojstva polimernyh kompozicionnyh materialov], *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika – Izvestiya Universities. Nuclear power*, 2019, № 1, pp. 97–104.
  6. Kuznetsov, A. A. (2009), Study of influence of scale factor on yarn strength characteristics [Issledovanie vlijaniya masshtabnogo faktora na harakteristiki prochnosti prjazhi], *Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti*, 2009, № 1, pp. 14–17.

Статья поступила в редакцию 11. 05. 2023 г.