

УДК 675.017.6

DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_218

**МОДЕЛИ С УТОЧНЕННЫМИ РЕОЛОГИЧЕСКИМИ ЭФФЕКТАМИ
ДЛЯ ВОЛОКНИСТОГО ПОЛУФАБРИКАТА***

**MODELS WITH REFINED RHEOLOGICAL EFFECTS
FOR FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS**

Г.А. БАХАДИРОВ, Г.Н. ЦОЙ, А.М. НАБИЕВ, Ф.Р. РАХИМОВ

G.A. BAHADIROV, G.N. TSOY, A.M. NABIEV, F.R. RAKHIMOV

(Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева
Академии наук Республики Узбекистан)

(Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev,
Uzbekistan Academy of Sciences)

E-mail: instmech@rambler.ru, tsoygeran@mail.ru, a.nabiev@mail.ru, rahimov-furqat1992@inbox.ru

К недостаточно изученным относятся реологические свойства влагонасыщенного волокнистого материала (например, текстильного или кожевенного полуфабриката). В данной работе рассмотрена уточненная реологическая модель волокнистых материалов, которая дает возможность ее применения в механическом отжиме влаги из волокнистых материалов. Целью работы являлось составление общего реологического уравнения зависимости деформации от приложенного напряжения и от параметров модуля упругости, коэффициента вязкости, коэффициента деформационной инертности материала и их параллельного и последовательного соединения, которые позволяют наиболее точно описывать общую деформацию полуфабриката. Рекомендуются реологические модели позволят точнее описать деформационные свойства влажных волокнистых текстильных материалов и кожевенных полуфабрикатов.

The rheological properties of moisture-saturated fibrous materials (e.g., textiles or semi-finished leather products) remain understudied. This paper considers a refined rheological model of fibrous materials, which makes it possible to use it in mechanical extraction of moisture from fibrous materials. The objective of the work was to develop a general rheological equation for the dependence of deformation on applied stress and on the parameters of the elastic modulus, viscosity coefficient, deformation inertia coefficient of the material, and their parallel and series combi-

* Работа выполнена при поддержке и за счет бюджетных средств Академии наук Республики Узбекистан и Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (за 2025 год).

nations, which allow for a more accurate description of the overall deformation of the semi-finished product The recommended rheological models will allow for a more accurate description of the deformation properties of wet fibrous textiles and semi-finished leather products.

Ключевые слова: волокнистый полуфабрикат, влажность, механическая модель, реологическая модель, инертность, деформационные свойства, напряжение.

Keywords: fibrous semi-finished product, moisture, mechanical model, rheological model, inertness, deformation properties, stress.

Введение

Трибологические, функциональные, технологические и физико-механические характеристики малодеформируемых волокнистых, в том числе и жестких, материалов прогнозируются и оцениваются обычно соответствующими конкретными реологическими параметрами. Эти обстоятельства имеют исключительную важность в производственных условиях и в процессе эксплуатации готовых изделий из волокнистых материалов, которые особенно подвергаются разнонаправленным деформациям.

Задача данного исследования заключается в разработке моделей реологических свойств влагонасыщенных полуфабрикатов с целью оценки их дальнейшего технологического назначения при конструкторско-технологической подготовке и наладке производства.

Реологические или структурно-механические свойства характеризуют поведение материала в условиях напряженного состояния и позволяют связать между собой напряжения деформации, скорости деформации и ускорения деформации в процессе приложения давлений.

Известны простейшие реологические модели. Это модели реальных тел Гука, Ньютона, Сен-Венана, а также Максвелла, Фойгта, Кельвина, Дарси, Прони, В.А. Пальмова и других. Все эти модели в отдельности или совместно составляют основу множества реологических моделей современных исследователей.

Рассмотрим некоторые известные работы, посвященные математическому моделированию и анализу процессов обработки деформированием материалов.

Авторами работы [1] исследовано влияние ряда характеристик тканых материалов на изменение коэффициента трения тканой поверхности. Авторами установлено, что с увеличением давления прижима ткани к транспортирующему ролику увеличивается коэффициент трения поверхности текстильного материала.

Авторами работы [2] исследовано динамическое нагружение валов при отжиге волокнистых материалов в валковых устройствах. Установлено, что динамический режим нагружения в зоне контакта валов способствует повышению эффективности массообмена в зоне контакта валов и уменьшению остаточной влажности обрабатываемого волокнистого материала.

Авторами [3] разработана система для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя и определения ее неравномерности в нетканых плоских структурах. Система позволяет выполнить анализ плотности распределения волокон в плоских структурах [4].

Авторами статьи [5] разработан синтез 3D-модели структуры полимерного композитного материала. 3D-модель синтезированной тканой структуры используется для получения задаваемых параметров анализируемой многокомпонентной системы.

В [6] разработаны методы математического моделирования и системного анализа процессов релаксации полимерных текстильных эластомеров. Результаты исследования позволяют оценивать функциональные и эксплуатационные возможности рассматриваемых материалов.

В [7] авторами получено уравнение, позволяющее определить остаточные

напряжения, образованные пластической деформацией, вызванной параллельно с вязкоупругим деформированием композитного материала.

Авторами статьи [8] рассмотрены методы изготовления полимерных нанокompозитных покрытий, а также ряда покрытий, которые применяются в различных областях с использованием наноуполнителей. Приведен обзор трибологических, реологических и механических свойств нанокompозитных пленок и покрытий.

В статье [9] экспериментально определены деформационные свойства кож, а также волокнистых сукон (марки БМ и ЛАЩ), используемых для покрытий отжимных валов. Выведены математические зависимости деформации кож от давления прижима в разных топографических участках. Установлено, что на начальном участке нагружения деформация образцов кожевенного полуфабриката и волокнистых сукон возрастает, а далее после их уплотнения зависимость принимает линейный характер.

В [10] разработан способ для определения коэффициента деформационной инертности капиллярно-пористых материалов. Составлено уравнение усовершенствованной реологической модели кожи, выражающееся через реологический параметр в виде коэффициента деформационной инертности. Описан способ определения нового реологического параметра инертной сопротивляемости кожи – ускоренной деформации, заключающийся в определении усилия погружения конусного индентора с постоянной скоростью и коэффициента, учитывающего зоны сдвига, а также угла, образованного границами зоны деформирования материала.

Таким образом, определено, что до настоящего времени в основном разработаны математические модели готовых волокнистых материалов, а реологические модели полуфабрикатов и волокнистых материалов рассмотрены не в полной мере.

Однако возникает необходимость знаний деформационных свойств волокнистых материалов на каждом этапе их технологической механической обработки. Это поз-

волит изготовить рабочие органы машин и устройств, обеспечивающие повышенное качество обработки волокнистого материала.

Для описания процессов деформации волокнистых материалов при их механической обработке на технологических машинах нами рассмотрены два варианта математических (реологических) моделей.

Основная часть

Известно, что механическая модель Кельвина содержит параллельное соединение тела Гука и ньютоновской жидкости [11]. Реологическое уравнение состояния тела Кельвина имеет вид (1), а механическая модель Хусанова [12] параллельно соединена с моделью Ньютона и представлена реологическим уравнением (2). При параллельном соединении моделей их деформации равны. Так, в реологической модели Кельвина деформации тела Гука равны деформации тела Ньютона [11]. При последовательном соединении реологической модели Кельвина с реологической моделью Хусанова [12] и Ньютона [11] напряжения равны $\tau_1 = \tau_2$, а деформации γ_1 и γ_2 не равны.

Необходимо получить общее уравнение зависимости напряжения τ от параметров $G_1, \mu_1, \mu_2, m_1, \gamma$ этих реологических моделей, которое описывает общую γ деформацию от приложенного напряжения τ .

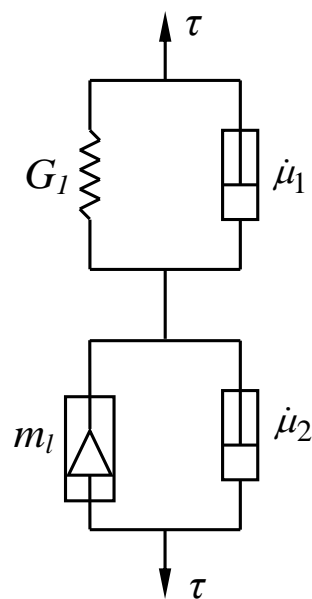


Рис. 1

На рис. 1 представлено 4-параметрическое идеальное тело. Реологическая модель описывает упруго-вязко-инертное состояние влажного волокнистого материала:

$$\tau_1 = G_1 \gamma_1 + \mu_1 \dot{\gamma}_1, \quad (1)$$

$$\tau_1 = \tau_2;$$

$$\tau_2 = m_l \ddot{\gamma} + \mu_2 \dot{\gamma}_2, \quad (2)$$

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2.$$

Получим зависимость деформации γ от напряжения τ :

$$\tau = f(G_1, \mu_1, m_l, \mu_2, \gamma), \quad (3)$$

$$\tau = G_1 \gamma_1 + \mu_1 \dot{\gamma}_1,$$

$$\tau = m_l \ddot{\gamma}_2 + \mu_2 \dot{\gamma}_2.$$

Разделим первое уравнение (1) на μ_1 , затем продифференцируем один раз и получим следующее уравнение:

$$\frac{\dot{\tau}}{\mu_1} = \frac{G_1}{\mu_1} \dot{\gamma}_1 + \dot{\gamma}_1. \quad (4)$$

Далее уравнение (2) разделим на m_l и получим следующее уравнение:

$$\begin{cases} \frac{\dot{\tau}}{\mu_1} = \frac{G_1}{\mu_1} \dot{\gamma}_1 + \dot{\gamma}_1 \\ \frac{\tau}{m_l} = \frac{m_l}{m_l} \ddot{\gamma}_2 + \frac{\mu_2}{m_l} \dot{\gamma}_2 \end{cases} \quad (5)$$

Затем сложим уравнения (4) и (5) и получим:

$$\frac{\tau}{m_l} = \ddot{\gamma}_2 + \frac{\mu_2}{m_l} \dot{\gamma}_2 + \frac{\dot{\tau}}{\mu_1} = \frac{G_1}{\mu_1} \dot{\gamma}_1 + \ddot{\gamma}_1, \quad (6)$$

$$\tau = f(G_1, G_2, \mu_1, \mu_2, \mu_3, m_l, \gamma),$$

$$\frac{\dot{\tau}}{\mu_1} + \frac{\tau}{m_l} = \ddot{\gamma} + \frac{G_1}{\mu_1} \dot{\gamma}_1 + \frac{\mu_2}{m_l} \dot{\gamma}_2. \quad (7)$$

После сложения получили общее реологическое уравнение:

$$\frac{\dot{\tau}}{\mu_1} + \frac{\tau}{m_l} = \frac{G_1}{\mu_1} \dot{\gamma}_1 + \frac{\mu_2}{m_l} \dot{\gamma}_2 + \ddot{\gamma}. \quad (8)$$

Если выполняется условие $\frac{G_1}{\mu_1} = \frac{\mu_2}{m_l} K$, то общее реологическое уравнение влагонасыщенного волокнистого полуфабриката принимает следующий вид:

$$\frac{\dot{\tau}}{\mu_1} + \frac{\tau}{m_l} = \frac{G_1}{\mu_1} \left(1 + \frac{1}{K}\right) \dot{\gamma} + \ddot{\gamma}. \quad (9)$$

Теперь рассмотрим более уточненную реологическую модель волокнистого материала.

На рис. 2 представлено 6-параметрическое идеальное тело, описывающее упруго-вязко-инертное состояние влажного волокнистого материала.

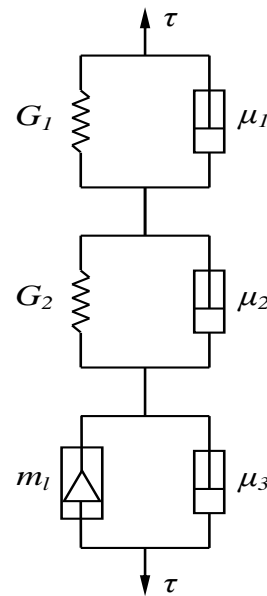


Рис. 2

Определим общее уравнение зависимости деформации материала от напряжения, упругости G_1 , G_2 , вязкости μ_1 , μ_2 , μ_3 , коэффициента деформационной инертности m_l , деформации γ :

$$\tau = f(G_1, G_2, \mu_1, \mu_2, \mu_3, m_l, \gamma),$$

где G_1 – модуль упругости быстрого процесса, МПа; G_2 – модуль упругости медленного процесса, МПа; μ_1 – коэффициент вязкости быстрого процесса, МПа·с; μ_2 – коэффициент вязкости медленного процесса, МПа·с; μ_3 – коэффициент пластической вязкости, МПа·с; m_l – коэффициент деформационной инертности, кг/м; γ – деформация материала; τ – напряжение растяжения материала, МПа.

Для примера приведены параметры волокнистого полуфабриката, предназначенного для получения одежной кожи, отражающие реологию влагонасыщенного моделируемого материала: $G_1=13,1$ МПа; $G_2=11,7$ МПа; $\mu_1=0,65$ МПа·с; $\mu_2=20,8$ МПа·с; $\mu_3=0,88$ МПа·с; $m_l=2,77$ кг/м; $\dot{\gamma}=20$ с⁻².

Выше было сказано, что при последовательном соединении реологических моделей напряжения $\tau_1=\tau_2=\tau_3=\tau$, а при параллельном соединении элементов реологических моделей деформации равны между собой $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_3=\gamma$.

При последовательном соединении реологических моделей общая деформация равна сумме всех их деформаций, то есть

$$\gamma_1+\gamma_2+\gamma_3=\gamma.$$

Первая реологическая модель, модель Кельвина, математически представлена в следующем виде:

$$\tau = \tau_1 = G_1\gamma_1 + \mu_1\dot{\gamma}_1. \quad (10)$$

Вторая реологическая модель, модель Кельвина, математически представлена в виде следующего уравнения:

$$\tau = \tau_2 = G_2\gamma_2 + \mu_2\dot{\gamma}_2. \quad (11)$$

Третья реологическая модель, модель Хусанова И.Н. [12], соединена параллельно с моделью Ньютона [11]:

$$\tau = \tau_3 = m_l\ddot{\gamma}_3 + \mu_3\dot{\gamma}_3. \quad (12)$$

Уравнения (10), (11) – реологические модели Кельвина – про дифференцируем один раз:

$$\dot{\tau}_1 = G_1\dot{\gamma}_1 + \mu_1\ddot{\gamma}_1, \quad (13)$$

$$\dot{\tau}_2 = G_2\dot{\gamma}_2 + \mu_2\ddot{\gamma}_2. \quad (14)$$

Также про дифференцируем уравнение (12) параллельного соединения модели Хусанова и Ньютона (5):

$$\dot{\tau}_3 = m_l\ddot{\gamma}_3 + \mu_3\dot{\gamma}_3. \quad (15)$$

Уравнение (1) разделим на модуль упругости G_1 и получим следующее уравнение:

$$\frac{\tau_1}{G_1} = \dot{\gamma}_1 + \frac{\mu_1}{G_1}\ddot{\gamma}_1. \quad (16)$$

Уравнение (2) разделим на модуль упругости G_2 и получим:

$$\frac{\tau_2}{G_2} = \dot{\gamma}_2 + \frac{\mu_2}{G_2}\ddot{\gamma}_2. \quad (17)$$

Продифференцируем уравнение (8) один раз и получим следующее уравнение:

$$\frac{\dot{\tau}_1}{G_1} = \dot{\gamma}_1 + \frac{\mu_1}{G_1}\ddot{\gamma}_1. \quad (18)$$

Продифференцируем уравнение (17) один раз и получим:

$$\frac{\dot{\tau}_2}{G_2} = \dot{\gamma}_2 + \frac{\mu_2}{G_2}\ddot{\gamma}_2. \quad (19)$$

Разделим уравнение (15) на вязкость μ_3 :

$$\frac{\tau_3}{\mu_3} = \frac{m_l}{\mu_3}\ddot{\gamma}_3 + \dot{\gamma}_3. \quad (20)$$

Сложим уравнения (10), (11) и (12) и получим:

$$\frac{\dot{\tau}_1}{G_1} + \frac{\dot{\tau}_2}{G_2} + \frac{\tau_3}{\mu_3} = \dot{\gamma}_1 + \frac{\mu_1}{G_1}\ddot{\gamma}_1 + \dot{\gamma}_2 + \frac{\mu_2}{G_2}\ddot{\gamma}_2 + \dot{\gamma}_3 + \frac{m_l}{\mu_3}\ddot{\gamma}_3. \quad (21)$$

После сложения $\gamma_1+\gamma_2=\gamma$ получим следующее уравнение:

$$\frac{\dot{\tau}_1}{G_1} + \frac{\dot{\tau}_2}{G_2} + \frac{\tau_3}{\mu_3} = \dot{\gamma} + \frac{\mu_1}{G_1}\ddot{\gamma}_1 + \frac{\mu_2}{G_2}\ddot{\gamma}_2 + \frac{m_l}{\mu_3}\ddot{\gamma}_3. \quad (22)$$

Примем следующее условие:

$$\frac{\mu_1}{G_1} = k_1 \frac{\mu_2}{G_2} = k_2 \frac{m_l}{\mu_3}. \quad (23)$$

В таком случае общее уравнение реологической модели влажного волокнистого материала принимает следующий вид:

$$\left(\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2}\right)\dot{\tau} + \frac{\tau}{\mu_3} = \dot{\gamma} + \left(1 + \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}\right)\frac{\mu_1}{G_1}\ddot{\gamma}. \quad (24)$$

Таким образом, на основе аналогов выведены реологические модели (9) и (24), позволяющие точнее описать деформационные свойства влажных волокнистых материалов.

Следует отметить, что в случае влажных волокнистых материалов нет необходимости вводить реологическую модель Сен-Венана.

На рис. 3 показана зависимость величины деформации волокнистого полуфабриката γ от изменения напряжения его растяжения τ .

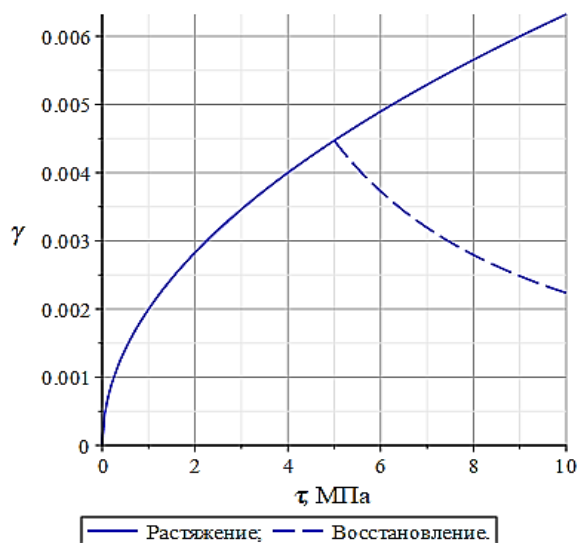


Рис. 3

На графике кривая растяжения отражает прилагаемую нагрузку (давление) на влажный волокнистый полуфабрикат (например, при его деформировании).

Кривая частичного восстановления отражает поведение волокнистого полуфабриката после снятия нагрузки (релаксация).

Из графика видно, что момент воздействия напряжения на волокнистый полуфабрикат возрастает не мгновенно, а от нуля (рис. 3). При снятии нагрузки полуфабрикат меняет свое поведение, скорость восстановления постепенно убывает. Такое поведение волокнистого полуфабриката можно охарактеризовать изменением содержания влаги и неоднородностью его структуры.

График достаточно точно характеризует поведение влагонасыщенного волокнистого полуфабриката при деформировании.

ВЫВОДЫ

Выведены реологические модели, позволяющие точнее описать деформационные свойства влажных волокнистых текстильных материалов и кожевенных полуфабрикатов.

1. Блинов О.В., Баранов А.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б. Влияние физико-механических характеристик и архитектуры ткани на триботехнические характеристики ее поверхности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4(406). С. 157...163. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_157. – EDN IWOJKG.

2. Еришов С.В., Калинин Е.Н. Интенсификация процесса механического обезвоживания волокнистых материалов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). Иваново: ИВГПУ, 2019. № 1-2. С. 234...238. – EDN PJFUEY.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612811 Российская Федерация. Система для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя и определения ее неравномерности в нетканых плоских структурах. – EDN DNBFMK.

4. Блинов О.В., Еришов С.В., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н. Моделирование текстильных композитных материалов для воздушных фильтров // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). Иваново: ИВГПУ, 2018. № 1. С. 231...233. – EDN XPLJMT.

5. Еришов С.В., Суворов И.А., Кузнецов В.Б. и др. Синтез 3D-модели тканой армирующей структуры текстильного композита средствами методологии численного объектно-ориентированного моделирования // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 1 (391). С. 114...119. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_114

6. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Буряк Е.А. и др. Математическое моделирование и системный анализ процессов релаксации текстильных эластомеров хирургического назначения для качественной оценки их функциональных и эксплуатационных свойств // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 1(391). С. 157...163. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_157. – EDN OCSOFR.

7. Железняков А.С., Шеромова И.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния композитных материалов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации – 2014): сб-к матер. междунар. науч.-техн. конф. М.: МГУДТ, 2014. Ч. 1. С. 182...185. – EDN TAEART.

8. Sudesna Roy, Hemalata Jena. 4 - Tribological, rheological, and mechanical properties of polymer nanocomposite films and coatings // Polymer Nanocomposite Films and Coatings. Processes, Fundamental Properties and Applications Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. 2024, Pages 103...139. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19139-8.00003-6>

9. Amanov A.T., Bahadirov G.A., Amanov T.Y. etc. Determination of Strain Properties of the Leather

Semi-Finished Product and Moisture-Removing Materials of Compression Rolls // *Materials*. Volume 12, Issue 21, November (1) 2019. Basel, Switzerland. – <https://doi.org/10.3390/ma12213620>

10. *Amanov A.T., Bahadirov G.A., Tsoy G.N., Nabiev A.M.* The Improvement of the Rheological Model of Leather // *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, Vol. 13 (2023) No. 1, Indonesia. Pages: 321...328. DOI:10.18517/ijaseit.13.1.17360

11. *Филин А.П.* Прикладная механика твердого деформируемого тела. М.: Наука, 1975. 832 с.

12. Пат. UZ IAP 05761. Способ определения реологического параметра в процессе деформирования материала.

REFERENCES

1. *Blinov O.V., Baranov A.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B.* Influence of the physical and mechanical features and architecture of the fabric on the tribotechnical characteristics of its surface // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. No. 4 (406). P. 157...163. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_157. – EDN IWOJJKG.

2. *Ershov S.V., Kalinin E.N.* Intensification of the process of mechanical dehydration of fibrous materials // *Physics of fibrous materials: structure, properties, science-intensive technologies and materials (SMARTEX)*. Ivanovo: IVGPU, 2019. No. 1-2. P. 234...238. – EDN PJFUEY.

3. Certificate of state registration of computer program No. 2023612811 Russian Federation. System for analyzing the quality of the textile surface of the fiber-composite layer and determining its unevenness in non-woven flat structures. – EDN DNBFBMK.

4. *Blinov O.V., Ershov S.V., Kuznetsov V.B., Kalinin E.N.* Modeling of textile composite materials for air filters // *Young scientists - for the development of the National Technological Initiative (POISK)*. Ivanovo: IVGPU, 2018. No. 1. P. 231...233. – EDN XPLJMT.

5. *Ershov S.V., Suvorov I.A., Kuznetsov V.B. etc.* Synthesis of a 3D model of a woven reinforcing structure of a textile composition by means of the methodology of numerous object-oriented simulation // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 1 (391).

P. 114...119. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_114

6. *Pereborova N.V., Makarov A.G., Buryak E.A. et al.* Mathematical modeling and system analysis of the processes of relaxation of textile elastomers of surgical purposes for a qualitative assessment of their functional and operational properties // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. No. 1 (391). P. 157...163. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_157. – EDN OCSOFR.

7. *Zheleznyakov A.S., Sheromova I.A.* Modeling of stress-strain state of composite materials // *Design, technology and innovation in textile and light industry (Innovations – 2014): collection of materials of the International scientific and technical conference*. Moscow: MSUDT, 2014. Part 1. P. 182...185. – EDN TAEART.

8. *Sudesna Roy, Hemalata Jena.* 4 - Tribological, rheological, and mechanical properties of polymer nanocomposite films and coatings // *Polymer Nanocomposite Films and Coatings. Processes, Fundamental Properties and Applications Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. 2024, Pages 103...139. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19139-8.00003-6>

9. *Amanov A.T., Bahadirov G.A., Amanov T.Y. etc.* Determination of Strain Properties of the Leather Semi-Finished Product and Moisture-Removing Materials of Compression Rolls // *Materials*. Volume 12, Issue 21, November (1) 2019. Basel, Switzerland. – <https://doi.org/10.3390/ma12213620>

10. *Amanov A.T., Bahadirov G.A., Tsoy G.N., Nabiev A.M.* The Improvement of the Rheological Model of Leather // *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, Vol. 13 (2023) No. 1, Indonesia. Pages: 321...328. DOI:10.18517/ijaseit.13.1.17360

11. *Filin A.P.* Applied mechanics of a solid deformable body. Moscow: Nauka publishing house, 1975. 832 p.

12. Patent UZ No. IAP 05761. Method for determining the rheological parameter during the process of material deformation.

Рекомендована лабораторией "Теория механизмов и машин" Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан. Поступила 13.02.25.