

Влияние тепловой обработки на показатели релаксации искусственных кож для верха обуви

**С. Л. Фурашова,
Ю. В. Милюшкова**

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Натуральная кожа является лучшим материалом для верха обуви благодаря своей долговечности и высоким гигиеническим свойствам. Учитывая стоимость натуральных кож, альтернативными материалами для верха обуви являются искусственные кожи с более низкой стоимостью. Однако особенность структур искусственных кож, состоящих из слоев различных полимеров, вызывает необходимость разработки технологии изготовления обуви с учетом свойств материалов верха. При выполнении формообразующих операций заготовка верха обуви подвергается тепловому воздействию, в результате чего снижаются усилия растяжения, повышается скорость релаксационных процессов и возрастает величина остаточных удлинений.

Анализ литературных источников показал, что реологические свойства искусственных кож изучались в основном в более ранних трудах, однако не были изучены реологические свойства искусственных коллагеновых кож, поэтому такие исследования являются актуальными.

Целью работы является оценка показателей релаксации искусственных коллагеновых кож, применяемых для изготовления верха обуви, при растяжении и воздействии тепла и установление оптимальных режимов тепловой обработки при выполнении формообразующих операций изготовления обуви с верхом из таких материалов.

Методика проведения эксперимента заключалась в деформировании образцов с использованием автоматизированного комплекса, позволяющего регистрировать усилия и осуществлять расчет показателей релаксации. Режимы теплового воздействия на образцы соответствовали технологии изготовления обуви из искусственных кож на обувных предприятиях.

Установлено, что искусственные кожи артикулов «Лак М1614» и «Марсель» можно рекомендовать для изготовления обуви в качестве материалов верха, так как показатели их релаксационных свойств соизмеримы с показателями натуральной кожи. Режимы формования образцов из искусственной кожи «Нубук» требуют оптимизации, так как показатели их релаксационных свойств существенно ниже рекомендуемого значения (не менее 45 %).

Полученные результаты имеют практическое значение при установлении технологических режимов формования заготовок из искусственных кож на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

Ключевые слова: искусственные коллагеновые кожи для верха обуви, формование, тепловая обработка, показатели релаксации, формоустойчивость.

Информация о статье: поступила 12 марта 2026 года.

The effect of heat treatment on the relaxation rates of artificial leather for shoe upper

**Svetlana L. Furashova,
Yuliya V. Miliushkova**

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. Genuine leather is the best material for shoe upper due to its durability and high hygienic properties. Given the cost of genuine leather, synthetic leather is a cheaper alternative for shoe upper. However, the unique structure of synthetic leather, consisting of layers of various polymers, necessitates the development of shoe manufacturing technologies that take into account the properties of the upper materials. During shaping operations, the shoe upper is subjected to heat, which reduces tensile forces, increases the rate of relaxation processes, and increases the magnitude of residual elongation. An analysis of the literature revealed that the rheological properties of artificial leathers were studied mainly in earlier works, but the rheological properties of artificial collagen leathers were not studied, so such studies are relevant.

The aim of the work is to evaluate the relaxation indices of artificial collagen leathers used for the production of shoe upper under stretching and exposure to heat and to establish optimal heat treatment modes when performing shaping operations in the production of shoes upper made of such materials.

The experimental methodology involved deforming samples using an automated system capable of recording forces and calculating relaxation parameters. The thermal conditions applied to the samples corresponded to those used in artificial leather footwear manufacturing.

It has been determined that artificial leathers of the "Lac M1614" and "Marseille" product categories can be recommended for shoe upper, as their relaxation properties are comparable to those of genuine leather. The molding conditions for "Nubuck" artificial leather samples require optimization, as their relaxation properties are significantly lower than the recommended value (at least 45 %).

These results are of practical importance for determining molding conditions for artificial leather blanks during the design and engineering preparation stage.

Keywords: artificial collagen leather for shoe upper, molding, heat treatment, relaxation indicators, shape stability.

Article info: received March 12, 2026.

Введение

Лучшим материалом для верха обуви является натуральная кожа, так как она обладает необходимым комплексом физико-механических и гигиенических свойств. В настоящее время наряду с натуральной кожей для производства заготовок верха обуви широко применяются различные виды искусственных кож. Искусственные кожи представляют собой материал, в большинстве случаев имеющий многослойную структуру, состоящую из волокнистой основы (ткань, трикотажное или нетканое полотно), пропитанной и (или) покрытой пленкообразующими полимерными композициями.

Искусственные кожи уступают натуральным козам по ряду показателей. Основными недостатками искусственных кож являются: неудовлетворительные формовочные свойства, формоустойчивость и приформовываемость обуви к стопе, низкие гигиенические свойства, преждевременное разрушение материала под влиянием факторов окружающей среды и потовыделения.

Вместе с тем, искусственные кожи имеют высокие технологические свойства. Однородность свойств по площади позволяет применять многослойный раскрой и открывает широкие возможности для автоматизации производства. Наличие полимерного покрытия в искусственных кожах позволяет использовать тепловой или высокочастотный нагрев, тиснить, сваривать и формовать детали с высокой производительностью при хорошем качестве. Обувь, изготовленная с верхом из искусственных кож, имеет более низкую стоимость по сравнению с обувью с верхом из натуральных кож, а разнообразие цветовой гаммы и фактуры поверхно-

сти этих материалов позволяет расширять ассортимент изготавливаемой обуви.

Перспективным материалом для изготовления деталей верха обуви являются коллагеновые искусственные кожи, они имеют многослойную пористую структуру из нетканой волокнистой основы, состоящей из смеси коллагеновых волокон (которые получают из отходов кож) и небольшого количества химических волокон, проклеенных полиэфируретановыми композициями, или бутадиенстирольными и акрилонитрильными латексами, и пористого лицевого покрытия. Благодаря такому строению эти кожи обладают хорошей гигроскопичностью, влагопоглощением и влагоотдачей. Искусственные коллагеновые кожи эластичные, кожеподобные, хорошо поддаются окрашиванию и тиснению. Обувь с верхом из коллагеновых искусственных кож приформовывается к стопе значительно лучше, чем обувь с верхом из других искусственных кож, но все же хуже, чем обувь из натуральной кожи.

Типовой технологический процесс изготовления обуви с верхом из различных материалов включает ряд операций, многие из которых связаны с воздействием температур в широком диапазоне значений. При производстве обуви используются сверхвысокие (более 800 °C), высокие (200–800 °C), средние и малые (не более 200 °C) тепловые потоки.

Тепловые процессы оказывают различные воздействия на свойства материалов. Сверхвысокие потоки тепла приводят к деструкции полимерного материала и его разрушению. Подобные тепловые воздействия используются при раскрое материала лазером и обжиге

краев деталей. Высокие тепловые потоки существенно изменяют термомеханические свойства материалов в зоне обработки, при этом явных деструктивных явлений и разрушения материала не наблюдается. Такие тепловые воздействия применяются, например, при безниточном соединении деталей заготовки из искусственных кож и тиснении лицевой поверхности деталей. Средние и малые тепловые потоки не приводят к деструкции обувного материала и его термическому разрушению, а улучшают механические и упруго-пластические свойства материалов. Применяются такие воздействия преимущественно для придания обувным материалам свойств формовости и формоустойчивости.

Технология изготовления обуви с верхом из искусственных кож, учитывая сложную структуру и состав этих материалов, имеет отличительные особенности на всех стадиях ее изготовления по сравнению с производством обуви с верхом из натуральных кож.

Наиболее сложными процессами в производстве обуви являются технологические операции формования заготовки верха обуви, от выполнения которых во многом зависит качество изделия. На этапе формования заготовка верха обуви неоднократно испытывает тепловые воздействия. Материал подвергается повышенным температурам на операциях: пластификация носочно-пучковой части заготовки, затяжка заготовки верха обуви, термофиксация обуви и разглаживание верха обуви струей горячего воздуха.

При растяжении заготовки в процессе формования обуви в структуре материалов возникают релаксационные процессы, от скорости протекания которых, зависит продолжительность производственного цикла изготовления обуви и формоустойчивость изделия после снятия с колодки. Воздействие температуры на заготовку верха обуви в процессе её подготовки к формованию, при формовании, а также фиксации формы, снижает энергию межмолекулярного взаимодействия в структуре материала, что приводит к ускорению релаксационных процессов и материалы отформованной заготовки быстрее возвращаются в равновесное состояние.

Процессам релаксации, протекающим в структуре различных обувных материалах при растяжении, а также при воздействии различных технологических факторов уделялось внимание в научных исследованиях разных лет.

Процессы релаксации, возникающие в материалах заготовок из натуральных и искусственных кож,

текстильных материалов при одноосном и двухосном растяжении и при воздействии влаги и тепла, изучались достаточно подробно в ранних исследованиях (Растенис и Гутаускас, 1972; Луцык и Хомяк, 1979; Островский, К. Ю. и Островский, Ю. К., 2000). По результатам этих исследований можно судить о характере релаксационных процессов, протекающих в структуре обувных материалов при влиянии различных технологических факторов. Однако необходимо отметить, что в этих исследованиях не были изучены искусственные коллагеновые кожи.

Из применяемых для верха обуви материалов достаточно подробно в последние годы исследованы деформационно-прочностные показатели и релаксационные процессы, протекающие в системах материалов верха для войлочной обуви. На основе анализа кривых релаксации и петель гистерезиса исследована формовость и формоустойчивость обуви с верхом из войлока при одноцикловом растяжении (Зарицкий и Леденева, 2014; Леденева, 2023; Ledeneva and Bokova, 2024).

Свойства современных коллагеновых искусственных кож для верха обуви изучены недостаточно. В работе (Даниленко и Фурашова, 2022) проведены исследования релаксационных свойств коллагеновых искусственных кож, применяемых для производства заготовки верха обуви. Показано влияние различных видов тиснения лицевой поверхности искусственных кож на показатели релаксации, формовости и формоустойчивости.

В последнее время широко исследованы вопросы прогнозирования процессов релаксации полимерных материалов текстильной и легкой промышленности и осуществлена оценка точности предложенных методов (Макаров, Переборова, Егорова и др., 2017; Демидов, Переборова, Макаров и др., 2022; Переборова и Макаров, 2023; Козлов и Киселев, 2023; Вагнер, Егорова и Егоров, 2024; Переборова, Вагнер, Титова и др., 2024).

Прогнозирование релаксационных свойств натуральных и искусственных кож, текстильных материалов, а также их систем осуществлялось в более ранних работах. Для математического описания релаксационных процессов полимерных материалов предлагалось использовать уравнение Кольрауша, систему уравнений Максвелла-Томсона, модель Кельвина-Фойгта и теорию наследственной вязкоупругости Больцмана-Вольтерры (Бурмистров и Кочеров, 1998; Фурашова, Горбачик и Скоков, 2008).

Моделирование процессов релаксации обувных материалов позволяет с высокой точностью прогнозировать

вать величину остаточных усилий в любой момент времени, что дает возможность осуществить рациональный выбор материалов для обуви высокого качества (Фурашова, Горбачик и Скоков, 2010).

Постоянное расширение ассортимента искусственных кож для верха обуви за счет использования передовых полимерных составов, внедрения новых типов покрытий и широкого использования коллагеновых волокон в качестве основ искусственных кож требует изучения свойств новых материалов и особенностей их поведения в процессе проведения технологических операций производства обуви. Учитывая, что искусственные кожи состоят из слоев различных полимеров, при установлении технологических режимов обработки обуви с верхом из искусственных кож на этапе формования необходимо учитывать особенности поведения этих полимеров при воздействии на них высоких температур.

Исходя из этого, целью настоящей работы является определение влияния режимов тепловой обработки заготовок обуви с верхом из современных искусственных кож на релаксационные процессы, протекающие в материале при формовании и установление оптимальных режимов тепловой обработки при выполнении формообразующих операций изготовления обуви с верхом из коллагеновых искусственных кож.

Методы и средства исследования 1

Метод исследования релаксационных свойств материалов при одноосном растяжении заключался в деформировании образцов на разрывной машине «FRANK» и в определении с использованием автоматизированного комплекса усилий в испытуемом образце, а также обработки результатов испытаний с записью кривых релаксации усилий (Горбачик, Томашева, Фурашова и др., 2006).

В ходе испытаний материалов на растяжение, усилия, возникающие при деформации образца, соответствующие им значения удлинений, а также релаксация усилий при фиксированном удлинении регистрируются датчиками разрывной машины «FRANK» и преобразуются посредством аналогового устройства в цифровые значения, которые передаются ПЭВМ. Полученный массив данных представляет собой значения усилий, зафиксированные каждые 250 микросекунд.

Для выполнения поставленной цели были исследованы несколько видов материалов, применяемых для заготовки верха обуви: натуральная кожа арт. «Мираж»

и искусственные кожи артикулов: «Нубук», «Марсель» и «Лак М1614». Отобранные искусственные кожи состоят из нетканой основы, включающей смесь кожевенных и искусственных волокон, вспененного полимерного слоя и полиуретанового покрытия.

Учитывая различную деформационную способность исследуемых материалов по направлениям, раскрой образцов искусственных кож производился вдоль рулона и поперек рулона, натуральной кожи – вдоль и поперек хребтовой линии. Выкраивались образцы прямоугольной формы размерами 200×40 мм с рабочей частью 150×40 мм. Релаксационные свойства материалов исследовались для двух групп образцов, по пять параллельных образцов в каждом испытании. Первая группа образцов исследовалась в нормальных условиях, без воздействия тепловой обработки, вторая группа образцов подвергалась тепловому воздействию.

Методика проведения эксперимента для первой группы образцов заключалась в следующем: образцы закреплялись в зажимах разрывной машины «FRANK» и подвергались одноосному растяжению на 15 % со скоростью 100 мм/мин, время выдержки деформированных образцов составляло 1 час, что соответствует времени выдержки обуви на колодке в процессе формообразующих операций. В течение всего эксперимента для испытуемых образцов материалов осуществлялась запись кривых релаксации усилий с выводом их на экран монитора.

В основу методики эксперимента для второй группы образцов положено моделирование технологического процесса изготовления обуви с верхом из натуральных и искусственных кож. Типовая технология формования верха обуви из натуральных кож предусматривает увлажнение и пластификацию носочно-пусковой части заготовки перед формованием и выполнение операции тепловой фиксации формы верха обуви. При изготовлении обуви из искусственных кож перед формованием заготовку пластифицируют, а фиксация формы верха обуви выполняется способом тепловой обработки. Технологические параметры гидротермических воздействий на испытуемые образцы приняты согласно технологии, используемой на обувных предприятиях при изготовлении обуви с верхом из аналогичных материалов.

Пластификация образцов из искусственных кож производилась на лабораторной установке контактным способом в течение 12 с при температуре 120 °С,

а образцы из натуральной кожи пластифицировались термодиффузионным контактным способом с применением увлажнителя и соблюдением аналогичных температурных и временных параметров. Затем пластифицированные образцы закреплялись в зажимах разрывной машины «FRANK» и деформировались по заданным параметрам. Через 15 мин после начала растяжения образцы подвергались тепловому воздействию конвективным способом при температуре 140 °С в течение 4 мин, что имитировало процесс тепловой фиксации заготовки верха обуви после формообразующих операций. Общее время выдержки деформированных образцов составляло 1 час.

С использованием полученного массива данных в автоматическом режиме программного комплекса рассчитывались основные показатели, характеризующие процесс релаксации:

– доля быстропотекающих процессов релаксации усилия (δP_{σ}), %:

$$\delta P_{\sigma} = \frac{P_{\sigma} - P_1}{P_{\sigma}} \cdot 100, \quad (1)$$

где P_{σ} – усилие в начале процесса релаксации, Н; P_1 – усилие после протекания быстрых процессов перестройки структуры материала (5 секунд после момента

начала процесса релаксации), Н.

– общая доля релаксации усилия ($\delta P_{\text{общ}}$), %:

$$\delta P_{\text{общ}} = \frac{P_{\sigma} - P_2}{P_{\sigma}} \cdot 100, \quad (2)$$

где P_2 – усилие через один час после начала процесса релаксации, Н.

Результаты исследований 1

Полученные показатели релаксации исследуемых материалов верха обуви представлены в таблице 1.

Анализ результатов 1

Значение показателя начального усилия (P_0) зависит от физико-механических свойств материала и оказывает большое влияние на формуемость заготовки верха обуви. Показатель характеризует нагрузку, необходимую для растяжения образцов на 15 %. Как показывают данные таблицы для исследуемых материалов P_0 находится в широких пределах от 36,8 Н до 389,2 Н. Величина начального усилия в продольном направлении значительно превышает усилие в поперечном направлении как для образцов первой группы, так и для второй группы образцов. В искусственных кожах наблюдается большая анизотропия свойств, по сравнению с натуральной кожей. При тепловом воздействии начальное усилие при растяжении уменьшается для образцов

Таблица 1 – Показатели релаксации исследуемых материалов
Table 1 – Relaxation indices of the studied materials

Наименование материала	Обработка	Показатели релаксации по направлениям раскрытия образцов					
		P_{σ} , Н		δP_{σ} , %		$\delta P_{\text{общ}}$, %	
		вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек
НК арт. «Мираж»	без обработки	389,2	306,3	11,7	14,7	31,7	34,6
	тепловое воздействие	269,9	203,6	19,8	24,6	52,2	59,4
ИК арт. «Лак М1614»	без обработки	186,5	44,5	15,9	11,8	42,9	64,7
	тепловое воздействие	151,5	36,9	19,0	13,6	46,3	67,7
ИК арт. «Марсель»	без обработки	171,1	39,2	13,8	22,0	33,9	38,9
	тепловое воздействие	153,9	36,8	16,4	26,4	47,4	58,6
ИК арт. «Нубук»	без обработки	226,7	62,3	13,7	17,0	37,2	39,3
	тепловое воздействие	178,5	54,2	15,0	21,2	40,8	41,5

натуральной кожи в среднем на 30 %. Для образцов искусственных кож снижение начального усилия находится в пределах от 6 до 21 %, что в среднем составляет 13,5 %. Таким образом, уменьшение показателя начального усилия при растяжении образцов подвергнутых тепловой обработке свидетельствует об улучшении формоустойчивости исследуемых материалов верха обуви.

Показатель доли быстропротекающих процессов (δP_0) характеризует скорость релаксационных процессов в первые 5 секунд после окончания растяжения. Значение показателя зависит от структуры материала и оказывает влияние на интенсивность падения напряжений в образце, находящемся под нагрузкой. Анализ данных таблицы показывает, что значение параметра δP_0 находится в интервале от 11,7 % до 26,4 %. Тепловое воздействие на материал повышает значение показателя доли быстропротекающих процессов для образцов из натуральной кожи в среднем на 40 %, а для образцов искусственных кож в среднем на 18 %.

Показатель общей доли релаксации ($\delta P_{общ}$) отражает падение усилий, происходящее в материале в течение времени наблюдения за процессом релаксации, чем больше его значение, тем лучше релаксирует материал и остаточные напряжения в материале заготовки будут минимальны на момент снятия обуви с колодки. По мнению исследователей, релаксационная способность обувных материалов считается достаточной для обеспечения хорошей формоустойчивости обуви, если общая доля релаксации после выполнения формообразующих операций и операций фиксации формы составляет не менее 45 % [Растенис и Гутаускас, 1972; Луцык и Хомяк, 1979; Адигезалов, 1983].

Как показывает анализ данных таблицы показатель общей доли релаксации ($\delta P_{общ}$) в образцах натуральной кожи составляет 31,7 % и 34,6 %, соответственно вдоль и поперек хребтовой линии. Тепловое воздействие на материал позволяет повысить значение анализируемого показателя до 52,2 % и 59,4 %, соответственно вдоль и поперек хребтовой линии. Величина анализируемого показателя согласуется с данными, полученными в более ранних исследованиях [Растенис и Гутаускас, 1972; Луцык и Хомяк, 1979; Островский, К. Ю. и Островский, Ю. К., 2000; Даниленко и Фурашова, 2022].

Значение показателя общей доли релаксации ($\delta P_{общ}$) в образцах искусственной кожи находится в широких пределах и варьирует от 33,9 % до 42,9 % и от 38,9 % до 64,7 %, соответственно вдоль и поперек рулона.

Тепловое воздействие на искусственные кожи повышает значение $\delta P_{общ}$ от 40,8 % до 47,4 % и 41,5 % до 67,7 % соответственно вдоль и поперек рулона. Максимальное повышение значения показателя общей доли релаксации ($\delta P_{общ}$) при тепловой обработке наблюдается в образцах искусственной кожи «Марсель», увеличение показателя произошло в среднем на 31 %.

Кривые релаксации усилий образцов искусственной кожи «Марсель» без обработки и подвергнутых тепловому воздействию представлены на рисунке 1.

На кривых выделены характерные точки и участки.

Точка P_0 соответствует начальному усилию, возникающему при растяжении образца на 15 %.

Точка P_2 характеризует величину остаточного усилия, сохранившегося в образце на момент снятия деформирующей нагрузки через один час после начала процесса релаксации.

Участок P_{0-1} отражает процесс релаксации, протекающий в структуре материала в нормальных условиях в первые 15 мин до теплового воздействия (точка 1).

Участок 1-2 соответствует времени осуществляемого теплового воздействия на образец (4 мин). Тепловое воздействие вызывает резкое падение усилий, вследствие прогрева материала, что значительно ускоряет процесс релаксации. Точка 2 определяет окончание теплового воздействия, в этот момент усилия в материале минимальны.

После прекращения теплового воздействия на кривой наблюдается незначительное кратковременное возрастание внутренних усилий (участок 2-3), вызванное термическим эффектом – сжатием материала при охлаждении.

Последующая выдержка материала в напряженном состоянии в нормальных условиях в течение заданного времени эксперимента приводит к незначительному снижению усилий до точки P_2 . Характер наклона кривых показывает интенсивность релаксационных процессов в исследуемых образцах.

Сравнительный анализ кривых релаксации образцов искусственной кожи «Марсель», исследованных в нормальных условиях и подвергнутых тепловому воздействию показал, что пластификация образцов контактным способом в течение 12 с при температуре 120 °C снижает показатель начального усилия на 17 Н в образцах, выкроенных вдоль рулона и на 2,5 Н в образцах, выкроенных поперек рулона.

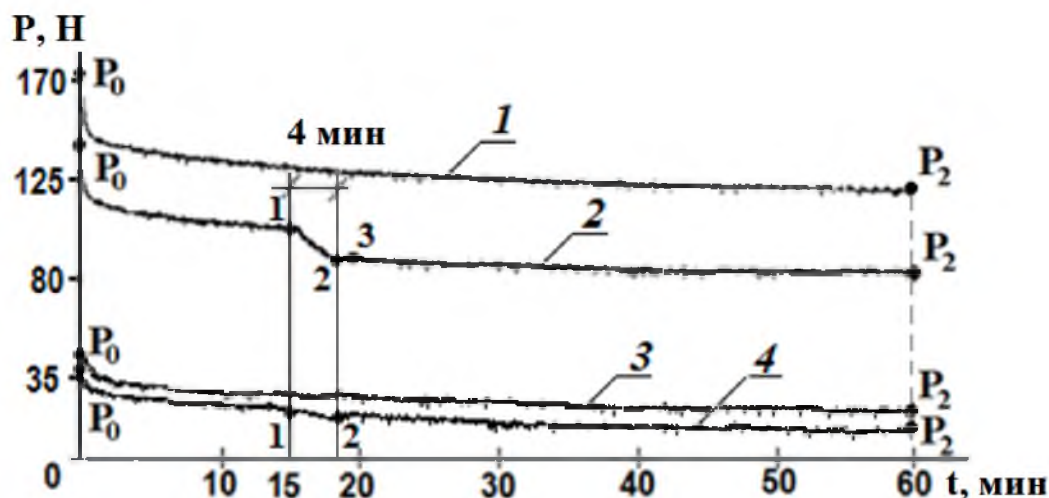


Рисунок 1 – Кривые релаксации усилий образцов искусственной кожи «Марсель»:

1 – вдоль рулона без обработки; 2 – вдоль рулона с тепловой обработкой;
3 – поперек рулона без обработки; 4 – поперек рулона с тепловой обработкой.

Figure 1 – Stress relaxation curves of artificial leather samples "Marcel":

1 – along the roll without treatment; 2 – along the roll with heat treatment;
3 – across the roll without treatment; 4 – across the roll with heat treatment

Тепловое воздействие на деформируемые образцы конвективным способом при температуре 140 °С в течение 4 мин (участок 1–2) вызывает резкое падение регистрируемых усилий в образцах на 16 Н и 3,5 Н, выкроенных вдоль и поперек рулона соответственно.

Общее снижение релаксируемых усилий (точка P_2) по сравнению с первоначальным значением (точка P_0) в образцах не подвергнутых тепловой обработке, выкроенных вдоль рулона, составляет 58 Н и 15 Н в образцах, выкроенных поперек рулона.

Кривые релаксации показывают, что тепловое воздействие повышает интенсивность протекания релаксационных процессов, особенно в образцах, выкроенных поперек рулона, общая доля релаксации [$\delta P_{\text{общ}}$] возрастает на 20 %, в образцах вдоль рулона на 13,5 %.

Исследования показали, что при выбранных температурных воздействиях искусственная кожа «Марсель» имеет релаксационные свойства близкие к свойствам натуральной кожи «Мираж» и соответствуют рекомендуемым значениям. Исходя из этого, выбранные режимы теплового воздействия можно рекомендовать при производстве обуви с верхом из искусственной кожи «Марсель».

Кривые релаксации других исследуемых искусственных кож в основном носят аналогичный характер и отличаются значением показателей P_0 и P_2 , интенсивностью падения и роста усилий (участки 1–2 и 2–3) в зависимости от вида материала и направления раскроя образца.

В образцах искусственных кож артикулов «Нубук» и «Лак» наблюдается повышение показателя $\delta P_{\text{общ}}$ при тепловом воздействии в среднем на 3,5 % в продольном направлении и на 2,5 % в поперечном направлении. При этом искусственная кожа «Лак М1614» имеет высокую релаксационную способность, как в нормальных условиях, так и при тепловой обработке, соизмеримую с показателем общей доли релаксации натуральной кожи. Значение показателя общей доли релаксации искусственной кожи «Нубук» составляет в среднем 41 %, что меньше рекомендуемого значения и существенно ниже значения аналогичного показателя, как искусственных кож исследуемых артикулов, так и натуральной кожи, что может привести к недостаточной формоустойчивости готовой обуви.

Как следует из данных литературных источников, тепловое воздействие на заготовку с верхом из искус-

ственной кожи в наибольшей степени ускоряет релаксационные процессы, протекающие в структуре материала. Таким образом, подбором режимов тепловой обработки материала заготовки можно достичь более высокого значения показателя общей доли релаксации.

Исходя из этого, следующей задачей, решаемой в данной работе, является корректировка режимов тепловой обработки искусственной кожи «Нубук» с целью достижения более высоких значений показателя общей доли релаксации

Методы и средства исследования 2

Корректировка режимов тепловой обработки осуществлялась с использованием D-оптимального плана второго порядка, который предполагает варьирование факторов на трех уровнях.

В качестве критерия оптимизации принят показатель общей доли релаксации ($\delta P_{\text{общ}}$), который должен составлять не менее 45 %.

В качестве исследуемых факторов выбраны: температура пластификации перед формообразующими

операциями ($T_{\text{пл}}$, °C) и продолжительность воздействия тепловой фиксации после формования верха обуви ($t_{\text{ф}}$, мин). При выборе области определения исследуемых факторов учитывалась режимная технология изготовления обуви из искусственных кож при выполнении таких операций как, «Пластификация носочной части заготовки» и «Тепловая фиксация полуфабриката обуви».

Постоянными факторами в эксперименте являются: время пластификации перед формообразующими операциями ($t_{\text{п}} = 12$ с) и температура тепловой фиксации после формования верха обуви ($T_{\text{ф}} = 140$ °C) (таблица 2).

План эксперимента представлен в таблице 3.

Результаты исследований 2

С использованием программы STATISTICA было получено уравнение регрессии, отражающее зависимость показателя общей доли релаксации ($\delta P_{\text{общ}}$) от температуры пластификации ($T_{\text{пл}}$) и продолжительности тепловой фиксации ($t_{\text{ф}}$). Полученное уравнение, в кодированных значениях переменных, имеет следующий вид:

$$\delta P_{\text{общ}} = 41,0 + 4,2X_1 + 4,3 X_2 + 2,2 X_1 X_2 . \quad (3)$$

Таблица 2 – Уровни варьирования факторов

Table 2 – Levels of variation of factors

Факторы	Температура пластификации $T_{\text{пл}}$, °C (X_1), продолжительность 12 с	Продолжительность тепловой фиксации $t_{\text{ф}}$, мин (X_2), $T_{\text{ф}} = 140$ °C
Max (-)	100	2
0	120	4
Min (+)	140	6

Таблица 3 – План эксперимента

Table 3 – Experiment plan

№ опыта	X_1	X_2	$\delta P_{\text{общ}}$
1	-	-	34,6
2	-	0	37,5
3	-	+	38,4
4	0	-	36,6
5	0	0	40,8
6	0	+	46,0
7	+	-	38,4
8	+	0	46,0
9	+	+	51,0

Анализ результатов 2

Из уравнения видно, что увеличение температуры пластификации (X_1) и продолжительности тепловой фиксации (X_2) приводит к росту показателя общей доли релаксации, влияние этих факторов на критерий оптимизации практически одинаково. Для полученного уравнения характерна значимость коэффициента парного взаимодействия, действие температуры пластификации на показатель общей доли релаксации зависит от уровня, на котором находится фактор продолжительности тепловой фиксации.

Полученный график изолиний показателя общей доли релаксации ($\delta P_{\text{общ}}$) дает возможность визуально определить технологические режимы пластификации и тепловой фиксации, при которых $\delta P_{\text{общ}}$ принимает максимальное значение (рисунок 2).

График изолиний показывает, что максимальное значение показателя общей доли релаксации ($\delta P_{\text{общ}} = 51\%$) достигается при температуре пластификации ($T_{\text{пл}}$) 140°C в течение 12 секунд и тепловой фикса-

ции при температуре ($T_{\text{ф}}$) 140°C в течение 6 минут.

Дальнейшее повышение продолжительности тепловой фиксации и повышение температуры пластификации не рационально, так как это может привести к переходу полимерного покрытия в вязкотекучее состояние, в результате чего на материале могут проявляться такие дефекты как: вылегание основы, эффект «лимонной корки», трещины лицевого слоя, нарушения лицевой поверхности кожи и отклеивание затяжной кромки от подошвы.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что тепловое воздействие, осуществляемое при формировании обуви с верхом из коллагеновых искусственных кож, так же как и при формировании обуви с верхом из искусственных кож, не содержащих коллагеновых волокон, существенно повышает релаксационную способность материалов верха заготовки. По сравнению с натуральными кожами показатели релаксации искусственных коллагеновых кож находятся в более широком интервале и могут зна-

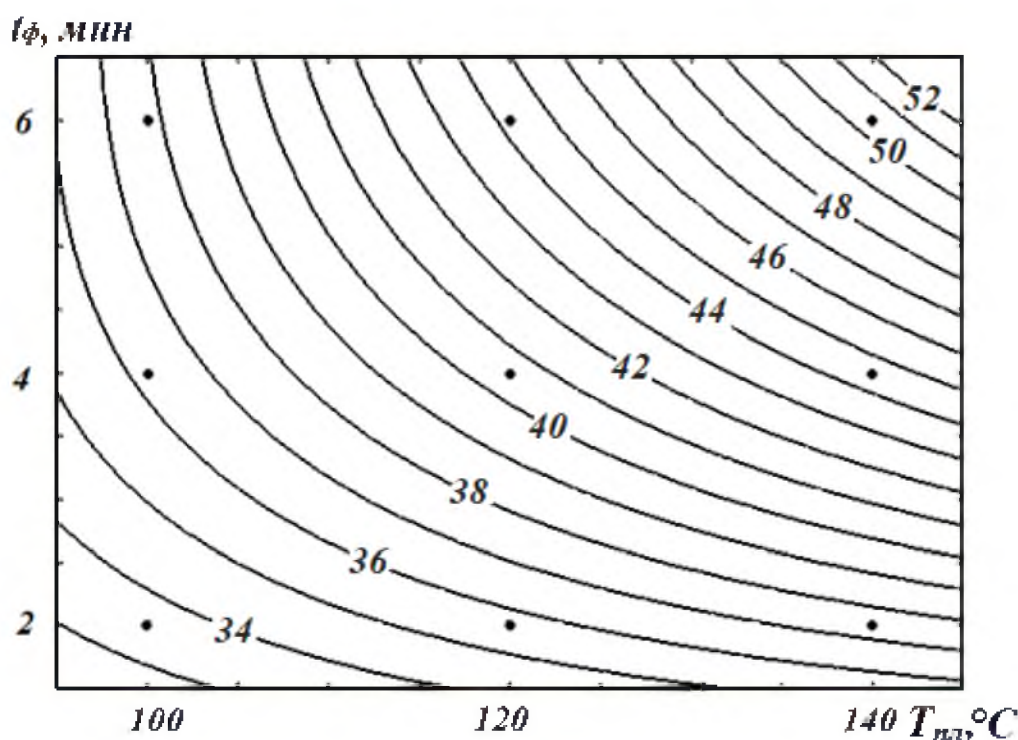


Рисунок 2 – Сечения поверхностей показателя общей доли релаксации материалов
Figure 2 – Cross sections of the surfaces of the indicator of the total proportion of relaxation of materials

чительно отличаться от показателей релаксации, характерных для натуральной кожи.

2. Установлено, что искусственные кожи артикулов «Лак М1614» и «Марсель» можно рекомендовать к использованию в качестве материалов верха, обеспечивающих достаточную формоустойчивость готовой обуви, так как показатели их релаксационных свойств соизмеримы со свойствами натуральной кожи и согласуются с ранее проведенными исследованиями. Общая доля релаксации этих кож составляет более 45 %.

3. Значение показателя общей доли релаксации искусственной коллагеновой кожи «Нубук» существенно ниже рекомендуемого значения (не менее 45 %), и меньше аналогичного показателя, как искусственных

кож исследуемых артикулов, так и натуральной кожи, что может привести к недостаточной формоустойчивости готовой обуви. Для повышения релаксационной способности кожи «Нубук» необходима корректировка технологических режимов тепловой обработки.

4. В работе с применением математических методов планирования эксперимента оптимизированы технологические режимы тепловой обработки искусственной кожи арт. «Нубук». Установлено, что высокого показателя общей доли релаксации ($\delta P_{\text{общ}}$) можно достичь при следующих технологических режимах: температуре пластификации ($T_{\text{п}}$) 140 °С в течение 12 секунд и тепловой фиксации при температуре ($T_{\text{ф}}$) 140 °С в течение 6 минут.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Адигезалов, Л.И.-О. (1983). *Увлажнение, сушка и влажно-тепловая обработка в обувном производстве*. Москва: Легкая и пищевая промышленность, РСФСР.

Бурмистров, А.Г. и Кочеров, А.В. (1998). Компьютерный комплекс «RELAX» для оценки качества материалов. *Кожевенно-обувная промышленность*, № 1, С. 17–19.

Вагнер, В.И., Егорова, М.А. и Егоров, И.М. (2024). Моделирование релаксации полимерных текстильных материалов технического назначения. *Дизайн. Материалы. Технология*, № 1 (73), С. 166–170.

Горбачик, В.Е., Томашева, Р.Н., Фурашова, С.Л., Довыдько, А.П. и Ковалев, А.Л. (2006). Автоматизированный комплекс для оценки механических свойств материалов. *Вестник Витебского государственного университета*, Вып. 11, С. 5–8.

Даниленко, А.Е. и Фурашова, С.Л. (2022). Релаксационные свойства тисненых искусственных кож для верха обуви. *Материалы и технологии*, № 1 (9), С. 45–49.

Демидов, А.В., Переборова, Н.В., Макаров, А.Г. и Киселев, С.В. (2022). Оптимизация математического моделирования релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 2 (398), С. 285–291.

Зарицкий, Б.П. и Леденева, И.Н. (2014). Формуемость и формоустойчивость обуви с верхом из войлока. *Дизайн и технологии*, № 42 (84), С. 33–38.

Козлов, А.А. и Киселев, С.В. (2023). Разработка методов прогнозирования процессов обратной релаксации полимерных текстильных материалов. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии*, № 2, С. 95–98.

Леденева, И.Н. (2023). Анализ и эмпирические модели результатов полуцикловых экспериментов с войлоками для верха обуви. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 5 (407), С. 51–55.

Луцык, Р.В. и Хомяк, Н.Е. (1979). Влияние тепла и влаги на релаксационные свойства и формоустойчивость искусственных и синтетических кож. *Кожевенно-обувная промышленность*, № 10, С. 45–48.

Макаров, А.Г., Переборова, Н.В., Егорова, М.А. и Егоров, И.М. (2017). Математическое моделирование деформационно-релаксационных процессов полимерных материалов в условиях переменной температуры. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, № 4, С. 287–292.

Макаров, А.Г., Переборова, Н.В., Егорова, М.А. и Егоров, И.М. (2017). Разработка критериев достоверности прогнозирования деформационных и релаксационных процессов полимерных материалов. *Химические волокна*. № 2. С. 59–63.

Островский, К.Ю. и Островский, Ю.К. (2000). Способ оценки релаксационных параметров кожи. *Кожевенно-обувная промышленность*, № 5, С. 42–43.

Переборова, Н.В. и Макаров, А.Г. (2023). Проверка критериев доверительного прогнозирования релаксации полимерных текстильных материалов. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна, Серия 1: Естественные и технические науки*, № 3, С. 80–85.

Переборова, Н.В., Вагнер, В.И., Титова, М.Н., Шиков, П.А., Стекольников, А.А., Климова, Н.С., Рудовский, П.Н., Одинцов, А.С., Силаков, А.В. и Тихомирова, С.А. (2024). Оценка точности прогнозирования процессов релаксации полимерных текстильных материалов. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, Т. 68, № 4, С. 88–92.

Растенис, И.К. и Гутаускас, М.М. (1972). Релаксация напряжений при пространственном растяжении текстильных материалов. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, Т. 4, С. 106–108.

Фурашова, С.Л., Горбачик, В.Е. и Скоков, П.И. (2008). Прогнозирование релаксации усилий обувных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Вып. 15, С. 76–81.

Фурашова, С.Л., Горбачик, В.Е. и Скоков, П.И. (2010). Прогнозирование релаксационной способности систем материалов. *Вестник Витебского государственного университета*, Вып. 18, С. 100–105.

Ledeneva, I.N. and Bokova, E.S. (2024). Analysis of the structure and shape stability of felt modified with synthetic latex. *Fibre Chemistry*, vol. 55, No. 5, January, 2024 [Russian Original No. 5, September – October, 2023] DOI 10.1007/s10692-024-10487-1, pp. 337–340.

REFERENCES

Adigezalov, L.I.-O. (1983). *Uvlazhnenie, sushka i vlazhno-teplovaya obrabotka v obuvnom proizvodstve* (Moistening, drying and wet-heat treatment in footwear production). Moscow: Light and food industry, RSFSR [In Russian].

Burmistrov, A.G. and Kocherov, A.V. (1998). Computer complex "RELAX" for assessing the quality of materials. [Komp'yuternyj kompleks «RELAX» dlja ocenki kachestva materialov]. *Kozhevenno-obuvnaja promyshlennost' = Leather and Shoe industry*, No. 1, pp. 17–19 [In Russian].

Wagner, V.I., Egorova, M.A. and Egorov, I.M. (2024). Modeling of relaxation of polymer textile materials for technical purposes [Modelirovanie relaksacii polimernyh tekstil'nyh materialov tehničeskogo naznachenija]. *Dizajn. Materialy. Tehnologija = Design. Materials. Technology*, No. 1 (73), pp. 166–170 [In Russian].

Gorbachik, V.E., Tomasheva, R.N., Furashova, S.L., Dovydko, A.P. and Kovalev, A.L. (2006). An automated complex for evaluating the mechanical properties of materials [Avtomatizirovannyj kompleks dlja ocenki mehanicheskikh svojstv materialov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State University*, Issue 11, pp. 5–8 [In Russian].

Danilenko, A.E. and Furashova, S.L. (2022). Relaxation properties of embossed artificial leather for shoe tops [Relaksacionnye svojstva tisnenyh iskusstvennyh kozh dlja verha obuvi]. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*, No. 1 (9), pp. 45–49 [In Russian].

Demidov, A.V., Pereborova, N.V., Makarov, A.G. and Kiselev, S.V. (2022). Optimization of Mathematical Modeling of Relaxation-Recovery Processes in Polymer Textile Materials [Optimizaciya matematičeskogo modelirovaniya relaksacionno-vosstanovitelnyh processov polimernyh tekstil'nyh materialov]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, No. 2 (398), pp. 285–291 [In Russian].

Zaritsky, B.P. and Ledeneva, I.N. (2014). Formability and form stability of shoes with felt uppers [Formuemość i formoustojčivost' obuvi s verhom iz vojloka]. *Dizajn i tehnologii = Design and Technology*, No. 42 (84), pp. 33–38 [In Russian].

Kozlov, A.A. and Kiselyov, S.V. (2023). Development of methods for predicting the processes of reverse relaxation of polymer textile materials [Razrabotka metodov prognozirovaniya processov obratnoj relaksacii polimernyh tekstil'nyh materialov]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizajna, Seriya 1: Estestvennye i tehničeskije nauki = Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design, Series 1: Natural and Technical Sciences*, No. 3, pp. 80–85 [In Russian].

Ledeneva, I.N. (2023). Analysis and empirical models of the results of half-cycle experiments with felts for shoe uppers (Analiz i empiricheskie modeli rezultatov poluciklovyykh eksperimentov s vojlokami dlya verha obuvi). *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, No. 5 (407), pp. 51–55 (In Russian).

Luchik, R.V. and Khomyak, N.E. (1979). Study of heat and moisture on relaxation properties and dimensional stability of artificial and synthetic leather (Vliyaniye tepla i vlagi na relaksatsionnye svoystva i formoustojchivost' iskusstvennykh i sinteticheskikh kozh). *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost' = Leather and Shoe industry*, No. 10, pp. 45–48 (In Russian).

Makarov, A.G., Pereborova, N.V., Egorova, M.A. and Egorov, I.M. (2017). Mathematical Modeling of Deformation-Relaxation Processes in Polymer Materials under Variable Temperature Conditions (Matematicheskoe modelirovaniye deformatsionno-relaksatsionnykh processov polimernykh materialov v usloviyakh peremennoy temperatury). *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, No. 4, pp. 287–292 (In Russian).

Makarov, A.G., Pereborova, N.V., Egorova, M.A. and Egorov, I.M. (2017). Development of Reliability Criteria for Predicting Deformation and Relaxation Processes in Polymer Materials (Razrabotka kriteriev dostovernosti prognozirovaniya deformatsionnykh i relaksatsionnykh processov polimernykh materialov). *Himicheskie volokna = Chemical Fibers*, No. 2, pp. 59–63 (In Russian).

Ostrovsky, K.Yu. and Ostrovsky, Yu.K. (2000). A method for assessing the relaxation parameters of the skin (Sposob ocenki relaksatsionnykh parametrov kozhi). *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost' = Leather and Shoe industry*, No. 5, pp. 42–43 (In Russian).

Pereborova, N.V. and Makarov, A.G. (2023). Verification of criteria for confidence prediction of relaxation of polymer textile materials (Proverka kriteriev doveritel'nogo prognozirovaniya relaksatsii polimernykh tekstil'nykh materialov). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna, Seriya 1: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki = Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design, Series 1: Natural and Technical Sciences*, No. 3, pp. 80–85 (In Russian).

Pereborova, N.V., Wagner, V.I., Titova, M.N., Shikov, P.A., Stekolnikov, A.A., Klimova, N.S., Rudovsky, P.N., Odintsovo, A.S., Silakov, A.V. and Tikhomirova, S.A. (2024). Evaluation of the accuracy of forecasting the relaxation processes of polymer textile materials (Ocenka tochnosti prognozirovaniya processov relaksatsii polimernykh tekstil'nykh materialov). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Technology of Light Industry*, vol. 68, No. 4, pp. 88–92 (In Russian).

Rastenis, I.K. and Gutasuskas, M.M. (1972). Stress relaxation during spatial stretching of textile materials (Relaksacija naprjazhenij pri prostranstvennom rastjazhenii tekstil'nykh materialov). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Technology of Light Industry*, vol. 4, pp. 106–108 (In Russian).

Furashova, S.L., Gorbachik, V.E. and Skokov, P.I. (2008). Predicting the relaxation efforts of shoe materials (Prognozirovaniye relaksatsii usilij obuvnykh materialov). *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, Vol. 15, pp. 76–81 (In Russian).

Furashova, S.L., Gorbachik, V.E. and Skokov, P.I. (2010). Forecasting the relaxation capacity of material systems (Prognozirovaniye relaksatsionnoj sposobnosti sistem materialov). *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State University*, Issue 18, pp. 100–105 (In Russian).

Ledeneva, I.N. and Bokova, E.S. (2024). Analysis of the structure and shape stability of felt modified with synthetic latex. *Fibre Chemistry*, vol. 55, No. 5, January, 2024 [Russian Original No. 5, September – October, 2023] DOI 10.1007/s10692-024-10487-1, pp. 337–340.

Информация об авторах

Information about the authors

Фурашова Светлана Леонидовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: slt1966@mail.ru

Милюшкова Юлия Валерьевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: Julie-poste@ya.ru

Svetlana L. Furashova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Clothes Shoes Design and Technology", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: slt1966@mail.ru

Yuliya V. Miliushkova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Clothes Shoes Design and Technology", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: Julie-poste@ya.ru