Uzbek Journal "Problems of Mechanics"

научная статья

DOI: 10.68846/pmjournal-2026-37-00014

Совершенствование и исследование машины для предфинишной отделки кожи и меха

Лочинбек Турсунбоев[1*]

[1] Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан, 100125, Ташкент, Мирзо-Улугбекский район, ул. Дурмон йули, 40

[*] **Автор для корреспонденции:** tursunboyevlochinbek027@gmail.com

Поступила: 10 июля 2026 | **Доработана:** 15 августа 2026 | **Принята:** 05 сентября 2026 | **Опубликована:** 30 сентября 2026

АННОТАЦИЯ

В статье представлен систематизированный обзор технологических машин и устройств, а также технологий шлифования и финишной обработки кожи и кожевой ткани меха. Разработана шлифовальная машина, которая обеспечивает обработку кожевенного и мехового полуфабриката с учетом полного использования абразивных материалов. На рабочем барабане за счет возможности переворачивания и быстрой замены шлифовальных листов, создаются условия для ведения процесса шлифования в оптимальном режиме в зависимости от вида и свойств кожсырья. Кроме того, рациональное обоснование геометрических, кинематических и управляющих параметров машины с шлифовальным барабаном способствует повышению её экономической эффективности и обеспечению сохранности. В данной работе проводится анализ прочности рабочего барабана барабанной шлифовальной машины для кожи. В качестве барабана рассматривается цилиндрический вал, вращающийся под действием груза. В процессе шлифования кожи на поверхность барабана действуют силы трения и иногда неравномерно распределенные нагрузки. Поскольку барабан постоянно работает в режиме вращения, на его стенке возникают центробежная сила, возникающая от вращения, контактное давление с кожей, изгиб, вызванный нагрузками, передаваемыми на ось барабана, и крутящее напряжение, вызванное моментом, передаваемым через вал. Поэтому необходимо анализировать барабан как сложную механическую систему. Проведённое расчётно-теоретическое исследование изготовленного шлифовального барабана показало, что при частоте вращения (n=1200) об/мин и среднем расчётном радиусе (r=0.145) м окружное нормальное напряжение составляет около (2.61) МПа. Проверка расчётной модели в предельном случае показала, что при отсутствии вращения $\omega \to 0$ окружное напряжение стремится к нулю. Установлено также, что напряжение линейно зависит от плотности материала и квадратично зависит от угловой скорости и радиуса. Полученные расчётные результаты подтверждают согласованность принятой аналитической модели с параметрами изготовленного шлифовального барабана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

шлифование кожи, кожевая ткань меха, абразивная обработка, шлифовальные машины, контактное давление, автоматизация, финишная обработка, давление обработки, абразионная стойкость.

Improvement and Research of a Machine for the Pre-Finishing of Leather and Fur

Lochinbek Tursunboyev[1*]

[1] Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences, 100125, Tashkent, Mirzo-Ulugbek District, Dormon Yuli Street 40, Uzbekistan

[*] **Corresponding author:** tursunboyevlochinbek027@gmail.com

ABSTRACT

The article provides a systematized overview of technological machines and devices, as well as technologies for grinding and finishing leather and fur leather fabrics. A grinding machine has been developed that ensures the processing of leather and fur semi-finished products, taking into account the full use of abrasive materials. On the working drum, due to the ability to overturn and quickly replace the grinding sheets, conditions are created for conducting the grinding process in an optimal mode depending on the type and properties of the leather raw material. Furthermore, the rational justification of the geometric, kinematic, and control parameters of the grinding drum machine contributes to increasing its economic efficiency and ensuring its safety. This work analyzes the strength of the working drum of the drum-type leather grinding machine. A cylindrical shaft rotating under the action of a load is considered a drum. During the leather grinding process, friction forces and sometimes unevenly distributed loads act on the drum surface. Since the drum is constantly operating in rotational mode, a centrifugal force arising from rotation, contact pressure with the skin, bending caused by loads transmitted to the drum axis, and torque caused by a moment transmitted through the shaft arise on its wall. Therefore, it is necessary to analyze the drum as a complex mechanical system. The conducted theoretical and computational study of the fabricated grinding drum showed that, at a rotational speed of (n=1200) rpm and an average calculated radius of (r=0.145) m, the circumferential normal stress is approximately (2.61) MPa. Verification of the computational model in the limiting case showed that, in the absence of rotation, $\omega \to 0$, the circumferential stress tends to zero. It was also established that the stress depends linearly on the material density and quadratically on the angular velocity and radius. The obtained computational results confirm the consistency of the adopted analytical model with the parameters of the fabricated

grinding drum.

KEYWORDS

leather grinding, pelt dermis, abrasive processing, grinding machines, contact pressure, automation, finishing, processing pressure, abrasion resistance.

1. Введение

В производстве продукции легкой промышленности (одежды, обуви, кожгалантереи и т.д.) используются не только текстильные материалы, но и натуральная, искусственная кожи и мех. Изделия из этих материалов стали широко распространены, а с развитием технологий появились и разнообразные способы их изготовления.

Производство кожевенного и мехового сырья прошло долгий путь развития и в настоящее время является одной из ведущих отраслей во многих странах мира. Благодаря новейшим технологиям кожевенное производство превратилось в одну из перспективных отраслей лёгкой промышленности, которая заключается в механической и физико-химической обработке шкур животных, в первую очередь крупного рогатого скота, морских млекопитающих, пресмыкающихся и рыб [1].

Механическая обработка кожи, меха и их полуфабрикаты, представляют собой сложную многопараметрическую задачу, включающую контактную механику, реологию капиллярно-пористых материалов и кинематику процесса.

Рассмотренные работы в совокупности развивают данную область.

В работе Аманов и др. предложена усовершенствованная реологическая модель кожи, включающая новый параметр — коэффициент инерционности деформации, интегрированный в комбинированную модель (Кельвина, Бингама–Шведова и Хусанова) [3]. Введение параметра, учитывающего инерционное сопротивление при высоких скоростях деформации, является значимым вкладом, особенно для процессов валковой обработки. Однако модель носит феноменологический характер и не имеет достаточной верификации в условиях промышленных динамических нагрузок. Экспериментальная методика (коническое вдавливание) не полностью отражает условия плоской деформации между валками, что ограничивает её прикладную ценность.

Деформация и движение кожи между валками подробно исследованы в работе Бахадиров и Мусиров [4], где разработана математическая модель напряжённо деформированного состояния и движения волокон. Учёт внутренней кинематики волокон, что редко встречается в упрощённых моделях. Аналитическое описание угла захвата и зоны деформации, важное для устойчивости процесса. При этом, предположение о равенстве скоростей валков и упрощённые условия трения снижают точность модели.

Дополняя это направление, Набиев и др. исследуют условия вертикальной подачи кожи в валковую систему [5], учитывая силы трения, геометрию валков и тяговые усилия. Работа закрывает важный аспект — условия входа материала в зону обработки, где часто возникают дефекты. Однако модель в основном квазистатическая и не учитывает динамические эффекты (вибрации, неустойчивость).

В работе Аманов и др. предложен метод многослойного механического обезвоживания с использованием влагоудаляющих материалов [6]. Показано возможность одновременной обработки до пяти слоёв кожи. Повышение производительности более чем в 5 раз. Применение метода D-оптимального планирования эксперимента. Результаты получены в лабораторных условиях, что ограничивает их промышленную применимость. Метод перспективен с точки зрения интенсификации процесса, но требует анализа компромисса «производительность–качество».

В работе Бахадиров и др. рассматривается устройство подачи кожи, обеспечивающее устранение складок [7]. Где учитывается механические свойства материала (модуль упругости, плотность). Предлагается практическое решение: использование наклонных вращающихся роликов, устраняющих складки. Но, замена трения скольжения на трение качения упрощает реальные контактные условия. Недостаточно проработаны вопросы силового взаимодействия и энергопотребления. Работа решает важную технологическую задачу — подготовку материала перед обработкой, напрямую влияющую на качество.

В работе Аманов и др. исследован механизм создания давления в валковой машине [8]. Рассматривается обеспечение стабильного давления при изменении толщины материала. Показано повышение производительности (в 2 раза и более) при снижении усилия. Однако отсутствует интеграция с системами автоматического управления и обратной связи. Оптимальные параметры не универсальны для различных типов кожи.

Исследовано влияние скорости резания, силы, твердости полимерного шлифовального круга, подачи и размер зерна, на процесс абразивного шлифования ленточной шлифовальной машиной для моделирования удаления материала. Процесс характеризуется высокой неопределенностью во время взаимодействия абразивов с нижележащей поверхностью. Предложенные регрессионные модели могут быть применены для удаления материала ленточной шлифовальной машиной [9].

Шлифование кожи и кожевой ткани меха является одной из ключевых операций механической обработки в кожевенной промышленности. Основная цель данной операции заключается в формировании требуемых геометрических, шероховатостных и эксплуатационных характеристик поверхности материала. Шлифование обеспечивает выравнивание толщины, удаление дефектных слоев, повышение адгезионных свойств поверхности и подготовку материала к последующим технологическим операциям отделки [3]. Вопросы охраны труда, ресурсосбережения и утилизации отходов кожевенного производства рассмотрены в работах [10–12].

В отличие от металлов, кожа представляет собой сложный многокомпонентный волокнистый композиционный материал, состоящий из переплетенных коллагеновых волокон, обладающих сложной иерархической структурой и выраженной анизотропией механических свойств Механическое воздействие на кожу, включая шлифование, сопровождается деформацией, разрушением и перераспределением волокон, что определяет конечные физико-механические характеристики материала [3]. В связи с этим выбор рациональных конструктивных и технологических параметров оборудования является критически важной задачей.

Процесс шлифования применяется для удаления поверхностных дефектов, формирования заданной шероховатости, улучшения адгезии покрытий и подготовки поверхности к последующим операциям отделки. В современных условиях повышение требований к качеству продукции требует разработки новых конструктивных решений оборудования и оптимизации технологических режимов обработки [13–15].

Современные исследования демонстрируют, что параметры шлифования оказывают значительное влияние на целостность поверхности, микроструктуру и функциональные свойства материала [16, 17]. Это особенно важно для кожевой ткани меха, которая

обладает более сложной структурой и повышенной чувствительностью к механическим воздействиям.

Исследования подтверждают, что параметры шлифования напрямую влияют на целостность структуры, адгезионные свойства и долговечность кожевенных материалов. При этом оптимизация технологических режимов является сложной междисциплинарной задачей, включающей механику контактного взаимодействия, трибологию, реологию и конструирование оборудования [17–19]. Дополнительную сложность представляет влияние влажности материала, которая изменяет модуль упругости, прочность межволоконных связей и механизм разрушения структуры [20]. Это требует разработки адаптивных технологических режимов обработки и новых конструктивных решений оборудования [7].

Данные механизмы принципиально отличаются от процессов шлифования древесных материалов и MDF, где удаление материала происходит преимущественно за счет резания [20].

Шероховатость поверхности является одним из основных показателей качества шлифования. Она зависит от зернистости абразива, скорости обработки и давления [20, 21].

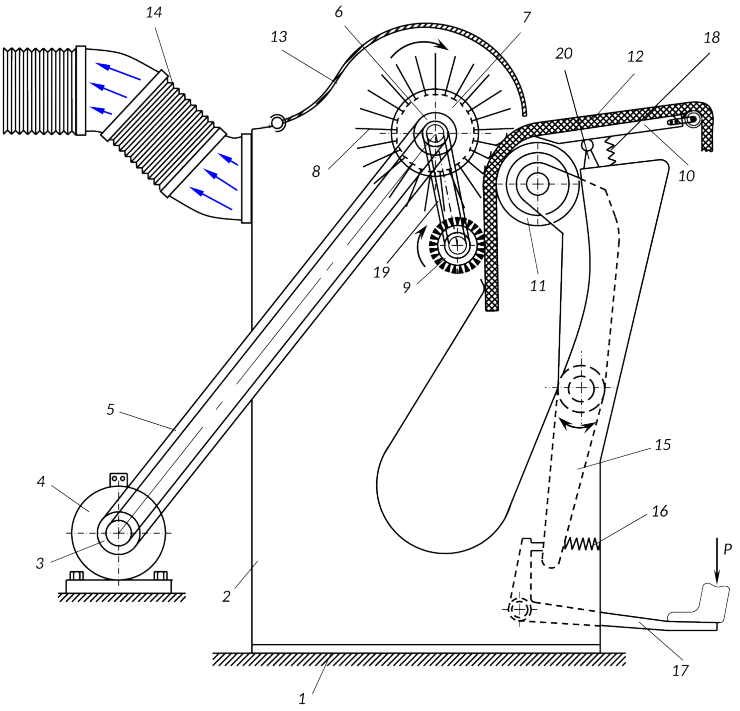
Увеличение зернистости приводит к снижению шероховатости, однако может снижать производительность. Увеличение давления повышает производительность, но увеличивает риск повреждения структуры материала [9, 21, 22].

Использование современных приводных систем позволяет обеспечить стабильную скорость обработки и повысить качество поверхности [23].

Дополнительно необходимо учитывать деформацию материала при транспортировке между роликами [4, 5].

Современные технологии включают использование наноматериалов и функциональных покрытий для улучшения свойств поверхности кожи [13, 14, 24]. Эти технологии позволяют повысить износостойкость, антибактериальные свойства и устойчивость к внешним воздействиям. Влажность материала оказывает значительное влияние на механические свойства и параметры обработки. Оптимальный выбор параметров обеспечивает баланс между производительностью и качеством обработки.

На сегодняшний день проведен ряд научных исследований, направленных на совершенствование конструкций технологических машин для механической обработки кожевенного и пушно-мехового сырья и научное обоснование их параметров. На основе результатов этих исследований были разработаны технические решения по усовершенствованию конструкции шлифовальной машины для кожевенного сырья.



Фиг. 1

Рисунок 1. Схема усовершенствованной шлифовальной машины (ИМСС АН РУз).
Diagram of the improved grinding machine (IMSS, Academy of Sciences of Uzbekistan).

Задача данной машины заключается в расширении функциональных возможностей машины для шлифования кожи. Преимущество данной машины перед известными шлифовальными машинами заключается в том, что повышается полнота использования листовых шлифовальных материалов, разглаживаются складки и морщины на коже и увеличивается её выход по площади. Увеличивается срок службы шлифовальной бумаги. Кроме того, возможность быстрого снятия-установки и переворачивания шлифовальной бумаги для повторного использования сокращает время технического обслуживания, уменьшает простои машины в производстве и повышает производительность труда.

Конструктивная основа и практическая реализация. Предлагаемая в настоящей работе машина разработана на основе технического решения, защищённого патентом автора [2] «Машина для шлифования кож». В соответствии с запатентованным техническим решением был изготовлен шлифовальный барабан с винтовым расположением рабочих элементов, после чего на его основе была собрана новая машина для шлифования кож.

Таким образом, в настоящей статье запатентованная конструкция рассматривается как исходная техническая основа, а основное внимание уделяется её практической реализации в виде изготовленного и собранного образца машины, а также расчётно теоретическому исследованию рабочего барабана и условий его эксплуатации.

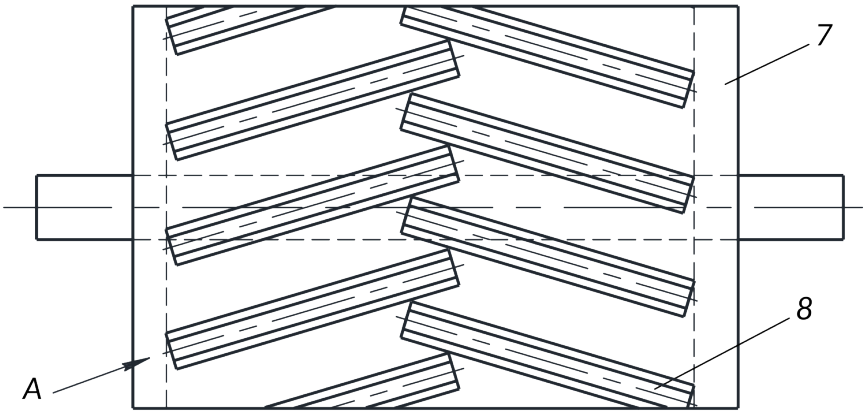
В отличие от патентного описания, в настоящей работе рассматриваются изготовленный шлифовальный барабан, конструктивное исполнение его элементов, условия взаимодействия рабочего органа с обрабатываемой кожей, а также расчёт напряжённого состояния вращающегося барабана. Патентная конструкция предусматривает винтовое расположение пазов и съёмных шлифовальных элементов, тогда как в настоящей работе данное техническое решение реализовано в изготовленной конструкции машины и исследуется с точки зрения её механической работоспособности и рабочих параметров.

Изготовленный образец выполнен в соответствии с техническим решением патента [2] без изменения конструкции. Новизна настоящей работы по отношению к патенту заключается в изготовлении и сборке машины, определении её конструктивных и кинематических параметров (таблица 2) и расчёте напряжённого состояния вращающегося барабана.

В качестве прототипа для сравнения принята серийная машина МШ-600-К [1]. Предлагаемая конструкция отличается от неё следующим: 1) абразивный материал размещается на барабане не сплошным листом по всей поверхности, а винтовыми лентами шириной 30 мм с промежутком 30 мм; 2) шлифовальные лепестки закрепляются в Z-образных профилях с винтовыми пазами и могут сниматься и переворачиваться для работы второй стороной; 3) предусмотрен вариант лепестков в виде замкнутого транспортёра на гибком металлическом листе с резиновым слоем; 4) диаметр барабана 300 мм вместо 195 мм, ширина 500 мм вместо 600 мм, частота вращения 1200 об/мин вместо 1011 об/мин; 5) кожа подаётся вручную, с прижимом вала 11 педалью 17.

На рисунке 1 представлена общая схема изготовленной машины для шлифования кожевенного и мехового полуфабрикатов, реализующей техническое решение, защищённое патентом. Шлифовальная машина состоит: из опоры 1, станины 2, барабана 7, электродвигателя 3, шкива 4, ремней 5, 19, щетки 9, стола 10 с шарниром 20 и пружиной 18, прижимного вала 11, рычага 15 , пружины 16, педали 17, гибкой трубы 14, с откидной крышкой 13,опоры 21 из металла или полмерного материала, Z-образных профилей 22, 23, шлифовальных лепестков 24 (вместо позиции для второго варианта), листов 25, 26, винтов 27, 28, болта 29 и гайки 30. Стол 10 установлен на шарнире 20 и пружины 18 для возможности ее поворота, а пружина 18 предназначена для возврата стола 10 в исходное горизонтальное положение [2].

Это позволяет при износе шлифовальных частиц шлифовальный барабан необходимо перевернуть и поставить, тогда будет работать другая сторона с абразивными частицами при шлифовании. Несколько шлифовальных лепестков 8 согнуть вдвое и вставить в пазы опоры 21. Затем их вставляют опоры 21 со шлифовальными лепестками во входные пазы шлифовального барабана 7 и в конце вставляют болты 29 и затягивают гайкой 30для устранения от выпаения из пазов (рис. 2). На шлифовальный барабан 7 вдоль его оси установлены сваркой два Z-образных профилей 22, 23 с винтовыми пазами, а затем туда вставляют шлифовальные лепестки 24 и пластины 25, 26 изатягивают винтами 27, 28. На пазы шлифовального барабана 7 установлены болты 29 и затянуты гайками 30.



Фиг. 3

Рисунок 2. Шлифовальный барабан с Z-образными профилями (вид сверху).
Grinding drum with Z-shaped profiles (top view).

При износе шлифовальных лепестков 8 их вытаскивают из пазов шлифовального барабана 7 и переворачивают и вставляют в пазы. При этом работает другая сторона лепестков 8. А при износе лепестков 24 откручивают винты 27, 28 и снимают лепестки 24 и преворачивают и вставляют между пластинами 25, 26 и закрепляют винтами 27, 28 (рисунок.3). Далее вставляют болт 29 в шлифовальный паз барабана 7 и закручивают гайкой 30. Привод щетки 9 осуществляется от электродвигателя через ремни и шкивы.

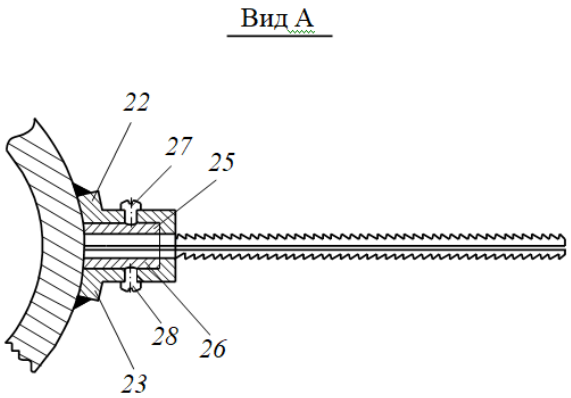


Рисунок 3. Крепление шлифовальной бумаги к барабану.
Attachment of abrasive paper to the grinding drum.

Принцип работы шлифовальной машины для кожи и меха заключается в следующем.

Предварительно отводится прижимной вал 11 от шлифовального барабана 7 рычагом 15 и пружиной 16. Далее укладывают кожу 12 на стол 10, так чтобы больше половины длины была ниже прижимного вала 11. Затем на стол укладывают кожу, удерживая другие концы двумя руками. Далее включают электродвигатель 4 и вращают шлифовальный барабан 7 и щетку 9. И далее ногой нажимают на педаль 17, а двумя руками тянут на себя и шлифуют поверхность кожи 12. Отпускают педаль 17 ногой и затем вытягивают кожу 12 и поворачивают ее руками и держат обратную сторону и опускают на более половины длины кожи 12 ниже прижимного вала 11. Затем нажимают ногой на педаль 17 и рычагом 15 и вал 11 с необработанной кожей 12 и подают под шлифовальный барабан 7. Далее руками вытягивают кожу 12 и шлифуют ее остальную часть. При работе со шлифовальными лепестками 8 в виде транспортерной ленты 8 опертого на два валика 33, 34 по концам обеспечивается полное использование абразивных частиц так, как шлифовальный транспортер 8 при контакте с кожей 12 перемещается. Шлифование кож 12 с его растяжкой обеспечивает разглаживание морщин, складок и повышения выхода их по площади. За счет переворота шлифовальных лепестков и установки в шлифовальный барабан срок службы лепестков увеличивается [10, 11].

Шлифовальный лепесток 8 с опорой 21 выполнен в виде транспортера 8 опертого на два полых валика 31, 32 на осях 33, 34. А на металличесий гибкий лист 35 приварены ушки 36, 37, 38, 39, которые одеты на оси 33, 34 и затянуты гайками 40, 41, 42, 43. Поверх металлического гибкого листа 35 с обеих сторон приклеены резины 44 и 45. Металлический гибкий лист 35 закреплен на опору 21 потайными винтами 46,47 по ее длине. Установка лепестков от середины под некоторым углом к его продольной оси по концам шлифовального барабана 7 обеспечивает разглаживание кожи 12 и ее растяжение. Это обеспечивает вытяжку кожи 12 и устраняет морщины и также повышает выход кожи по площади.

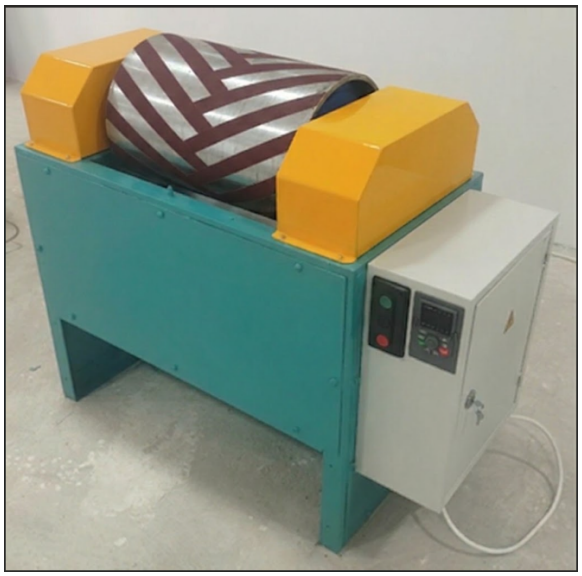


Рисунок 4. Общий вид машины с регулируемой скоростью шлифовального барабана (ИМСС АН РУз).
General view of the machine with adjustable grinding-drum speed (IMSS, Academy of Sciences of Uzbekistan).

2. Методы

Для оценки технологических преимуществ изготовленной машины целесообразно использовать показатели, непосредственно связанные с конструктивными особенностями шлифовального барабана. В качестве основных показателей предлагается принять степень использования абразивного материала и равномерность обработки поверхности кожи.

Степень использования абразивного материала может оцениваться отношением фактически использованной площади абразивной поверхности к общей рабочей площади шлифовального материала:

$$\eta_a = \frac{A_{\text{исп}}}{A_{\text{общ}}} \times 100\% \quad (1)$$

где η_a– степень использования абразивного материала, %; $A_{\text{исп}}$ – фактически использованная площадь абразивного материала, м^2 ; $A_{\text{общ}}$ – общая рабочая площадь абразивного материала, м^2 .

Равномерность обработки поверхности кожи может оцениваться по разбросу измеренных значений параметра шероховатости поверхности.

Для каждого режима обработки рекомендуется выполнять несколько независимых измерений в различных точках обработанной поверхности. Для сопоставления изготовленной машины с прототипом испытания должны проводиться при одинаковом типе и толщине кожевенного материала, одинаковой зернистости абразива, частоте вращения барабана, скорости подачи и величине контактного прижима.

Количество независимых образцов и число измерений в каждом образце должны указываться отдельно. При отсутствии завершённых сравнительных испытаний приведённые конструктивные преимущества рассматриваются как проектные предположения, подлежащие экспериментальной проверке.

Таблица 1. Сравнительная характеристика режимов и условий обработки прототипа и предлагаемой машины.
Comparison of processing parameters and operating conditions of the prototype and the proposed machine.

Элемент характеристики	МШ-600-К (Елецк, Россия)	Предлагаемая машина (ИМСС АН РУз)
Зернистость абразива	P100–P400	P100–P400
Угловая скорость, рад/мин	1011	1200
Скорость подачи, м/с	1.25	0.2
Контактный прижим, кг/см^2	3	2–3
Влажность, %	16–18	16–18
Толщина материала, мм	1,2–2,5	1,2–2,5
Ширина рабочего прохода, мм	600	500
Диаметр шлифовального барабана, мм	195	300
Расход абразивной ленты, дм^2	36.7	18.9

Данные МШ-600-К приведены по паспорту машины [1]. Данные предлагаемой машины представляют собой проектные параметры изготовленного образца (таблица 2). В предлагаемой машине кожа подаётся подающим валом со скоростью 0,2 м/с.

Для МШ-600-К площадь абразива рассчитана как площадь боковой поверхности барабана: $\pi \cdot D \cdot B = \pi \cdot 1{,}95 \cdot 6{,}0 \approx 36{,}7$ дм^2. Это соответствует площади одной полной зарядки барабана абразивом. Для предлагаемой машины рабочая (боковая) поверхность барабана составляет Sб=πDB = $\pi \cdot 3{,}0 \cdot 4{,}0 \approx 37{,}7$ дм^2. Доля поверхности, покрываемая абразивной лентой, k = w/(w + s) = 30/(30 + 30) = 0,5. Площадь абразивной ленты Sабр = k·πDB = 0,5·37,7 ≈ 18,9 дм^2.

Каким образом, повышается эффективность использования шлифовальных листовых материалов заменой лепестков в виде замкнутого контура транспортера. Установка резины на металлический листобеспечивает равномерное давление на кожу. Это повышает качество обработки кож. Далее рассматривается рабочая часть шлифовального барабана. Для предварительной оценки напряжённого состояния барабана рассмотрим его стенку как тонкое вращающееся кольцо. Примем, что материал кольца однороден, его радиальная толщина a и ширина b постоянны. Средний радиус кольца обозначим через r, плотность материала — через ρ, а угловую скорость вращения — через ω. При вращении на этот элемент действует центробежная сила (рисунок. 5).

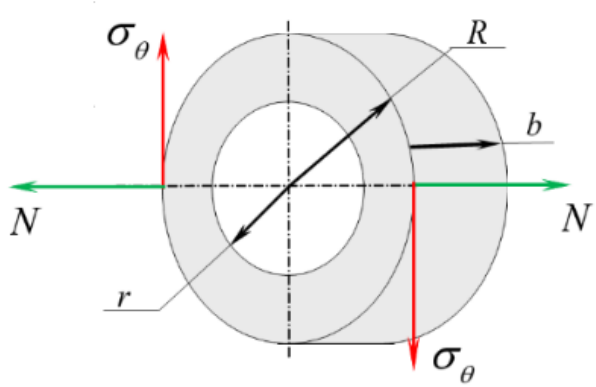


Рисунок 5. Схема отрезка от шлифовального барабана.
Diagram of a segment of the grinding drum.

r – средний радиус кольца, R – внешний радиус кольца, a – радиальная толщина кольца, b-ширина кольца.

$$r = \frac{R + r_i}{2} \tag{2}$$

где R — внешний радиус кольца, r_i — внутренний радиус кольца, r — средний радиус кольца.

Рассмотрим малый элемент кольца, соответствующий центральному углу $d\varphi$. Длина дуги этого элемента равна

$$dl = r\, d\varphi \tag{3}$$

Поэтому объём малого элемента кольца определяется выражением

$$dV = abr\, d\varphi \tag{4}$$

где $r\,d\varphi$ — длина малой дуги

Если плотность материала равна r, то масса малого элемента:

$$dm = \rho abr\, d\varphi \tag{5}$$

где dm — масса малого дифференциального элемента кольца, кг; ρ — плотность материала, кг/м³; a— радиальная толщина кольца, м; b — ширина кольца, м; (r) — средний радиус кольца, м; $d\varphi$— бесконечно малый центральный угол, рад.

В процессе вращения на эту элементарную массу действует центробежная сила инерции. Центробежная сила определяется в соответствии с основными законами классической механики и выражается следующим образом:

$$dF_{\text{цб}} = dm\, \omega^2 r \tag{6}$$

где $dF_{\text{цб}}$— элементарная центробежная сила, Н; ω — угловая скорость вращения, рад/с. Подставляя формулу (4):

$$dF_{\text{цб}} = \rho\omega^2 r^2 ab\, d\varphi \tag{7}$$

На следующем этапе определяется площадь поперечного сечения кольца. Площадь сечения равна:

$$A_s = a\, b \tag{8}$$

В поперечном сечении возникают внутренние силы, обусловленные окружным нормальным напряжением σ_θ:

$$N = \sigma_\theta A_s = \sigma_\theta ab \tag{9}$$

где σ_θ –нормальное напряжение по окружности

Рассмотрим равновесие малого элемента кольца. Две внутренние силы N, действующие на его боковых сечениях, имеют радиальные составляющие

$$2N \sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) \tag{10}$$

Условие равновесия малого элемента имеет вид

$$2\sigma_\theta ab \sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) = \rho\omega^2 r^2 ab\, d\varphi \tag{11}$$

При $d\phi \to 0$

$$\sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) \approx \frac{d\varphi}{2} \tag{12}$$

Тогда

$$2\sigma_\theta ab \sin\tfrac{d\varphi}{2} = \rho\omega^2 r^2 ab\, d\varphi$$

и из этого

$$\sigma_\theta = \rho\omega^2 r^2 \tag{13}$$

Окружное нормальное напряжение $\sigma\theta$, определяемое выражением (13), следует отличать от касательного напряжения τ, возникающего при передаче крутящего момента от привода к барабану. При наличии крутящего момента T касательное напряжение в поперечном сечении определяется зависимостью

$$\tau = \frac{T_r}{J_p} \tag{14}$$

где T_r — крутящий момент, передаваемый валом; r — рассматриваемый радиус; J_p — полярный момент инерции поперечного сечения.

Для полого круглого сечения

$$J_\rho = \frac{\pi}{2}\left(R^4 - r_i^4\right) \tag{15}$$

Таким образом, σ_θ характеризует окружное растягивающее напряжение от вращения барабана, тогда как τ характеризует касательное напряжение от крутящего момента.

Для оценки прочности барабана при совместном действии окружного нормального и касательного напряжений в качестве критерия эквивалентного напряжения принимается критерий Вон Мизеса. При рассмотрении только указанных двух компонентов эквивалентное напряжение определяется как

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_\theta^2 + 3\tau^2} \tag{16}$$

где σ — эквивалентное напряжение по Вон Мизесу.

Частота вращения шлифовального барабана (n) задаётся в оборотах в минуту (об/мин). Для использования в расчётах в системе SI она переводится в угловую скорость ω, выраженную в рад/с: При заданной частоте вращения шлифовального барабана n, выраженной в оборотах в минуту, угловая скорость вращения барабана определяется по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{17}$$

где ω — угловая скорость вращения барабана, рад/с; n — частота вращения барабана, об/мин.

Подставляя выражение для угловой скорости в уравнение (13), получаем выражение для окружного нормального напряжения во вращающейся стенке барабана:

$$\sigma_\theta = \rho \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 r^2 \tag{18}$$

где σ_θ — окружное нормальное напряжение, возникающее в стенке вращающегося барабана, Па; ρ — плотность материала барабана, кг/м^3; n — частота вращения барабана, об/мин; r — средний радиус барабана, м.

3. Результаты

Для выполнения численной оценки напряжённого состояния шлифовального барабана приняты основные конструктивные и кинематические параметры изготовленной машины.

Внешний радиус барабана составляет $R = 0.150$ м, а при толщине стенки $a = 0.010$ м внутренний радиус определяется как

$r_i = R - a = 0.150 + 0.010 = 0.140$м.

Средний радиус цилиндрической стенки определяется выражением

$r = \frac{R+r_i}{2} = \frac{0.150+0.140}{2} = 0.145$ м.

При частоте вращения барабана $n = 1200$ об/мин угловая скорость определяется по формуле

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1200}{60} = 125.66$рад/с.

Таблица 2. Исходные параметры шлифовального барабана.
Input parameters of the grinding drum.

Параметр	Обозначение	Значение	Единица
Внешний радиус	R	0.150	м
Внутренний радиус	r_i	0.140	м
Средний радиус	r	0.145	м
Радиальная толщина стенки	a	0.010	м
Ширина барабана	b	0.500	м
Частота вращения	n	1200	об/мин
Мощность электродвигателя	P	1.50	кВт
Материал барабана	—	Сталь 45	—
Плотность материала	ρ	7850	кг/м^3

Согласно ранее полученному аналитическому выражению окружное нормальное напряжение от центробежного воздействия определяется как

$$\sigma_\theta = \rho\omega^2 r^2$$

Подставляя исходные данные, получаем

$\sigma_\theta = 7850 \cdot (125.66)^2 \cdot (0.145)^2 = 2.606 \times 10^6 Па$,

Или

$\sigma_\theta \approx 2.61\ МПа$

Для предварительной оценки касательного напряжения принимается, что мощность $P = 1.5$ кВт передаётся на барабан при расчётной частоте вращения $n = 1200$ об/мин без учёта потерь в ременной передаче. Тогда расчётный крутящий момент определяется выражением.

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{1500}{125.66} = 11.94\ \text{N m} \tag{19}$$

Для кольцевого поперечного сечения барабана полярный момент инерции определяется как

$$J_\rho = \tfrac{\pi}{2}(R^4 - r_i^4)$$

При заданных размерах

$J_\rho = \frac{\pi}{2}\left[(0.150)^4 - (0.140)^4\right] = 1.918 \times 10^{-4}$м^4

Максимальное касательное напряжение от крутящего момента на наружной поверхности барабана определяется выражением

$$\tau_{\text{мах}} = \frac{T\text{К}}{J_p} \tag{20}$$

Следовательно,

$\tau_{\text{мах}} = \frac{11.94 \cdot 0.150}{1.918 \times 10^{-4}} = 9.34 \cdot 10^3$ *Па,*

или

$\tau_{\text{мах}} \approx 0.0093$ *МПа*

При совместном действии окружного нормального напряжения $\sigma\theta$ и касательного напряжения τmax эквивалентное напряжение по критерию Мизеса определяется выражением

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_\theta^2 + 3\tau_{\text{мах}}^2}$$

Подстановка численных значений даёт

$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(2.61)^2 + 3(0.0093)^2} \approx 2.61$ *МПа*

Для стали 45 расчётное значение предела текучести принимается σ = 355 МПа для соответствующего состояния материала согласно ГОСТ 1050–2013 [25]

Тогда условный расчётный запас относительно предела текучести определяется как отношение предела текучести к эквивалентному напряжению:

$$n = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{экв}}} \tag{21}$$

Получаем

$$n = \frac{355}{2.61} \approx 136$$

Таким образом, при принятых исходных параметрах и в рассматриваемой идеализированной расчетной модели эквивалентное напряжение составляет приблизительно 2.61 МПа, а условный запас относительно предела текучести стали 45 равен 136.

Для проверки корректности полученного аналитического выражения проведён контрольный анализ его зависимости от основных параметров. Согласно выражению окружное нормальное напряжение определяется зависимостью

$$\sigma_\theta = \rho\omega^2 r^2$$

При предельном переходе частоты вращения к нулю получаем

$$\lim_{\omega \to 0} \sigma_\theta = \lim_{\omega \to 0} \rho\omega^2 r^2 = 0 \tag{22}$$

Таким образом, при отсутствии вращения центробежное окружное напряжение от вращательного движения отсутствует, что соответствует физическому смыслу рассматриваемой модели. Из уравнения (13) также непосредственно следует линейная зависимость окружного напряжения от плотности материала:

$\sigma_\theta \sim \rho$,

а зависимости от угловой скорости и среднего радиуса имеют квадратичный характер:

$\sigma_\theta \sim \omega^2$, $\sigma_\theta \sim r^2$.

Для дополнительной проверки рассмотрим изменение расчётного напряжения при изменении угловой скорости. Если угловую скорость уменьшить в два раза,

$$\omega_1 = \frac{\omega}{2} \tag{23}$$

то согласно уравнению (36)

$$\sigma_{\theta 1} = \rho\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 r^2 = \frac{1}{4}\sigma_\theta \tag{24}$$

Следовательно, уменьшение угловой скорости в два раза приводит к уменьшению окружного напряжения в четыре раза. Аналогично, при уменьшении среднего радиуса в два раза

$$r_1 = \frac{r}{2} \tag{25}$$

Получаем

$$\sigma_{\theta 1} = \rho\omega^2\left(\frac{r}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}\sigma_\theta \tag{26}$$

При увеличении плотности материала в два раза, напротив, получаем

$$\sigma_{\theta 1} = (2\rho)\omega^2 r^2 = 2\sigma_\theta \tag{27}$$

что подтверждает линейный характер зависимости напряжения от плотности. Для изготовленного шлифовального барабана при R = 0.150 м, ri = 0.140 м и среднемрадиусе r = 0.145 м, частоте вращения n = 1200 об/мин и плотности стали 45 ρ = 7850 кг/м^3 угловая скорость составляет

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 125.66$рад/с

Тогда расчётное окружное напряжение определяется как

$\sigma_{\theta 1} = 7850(125.66)^2(0.145)^2 \approx 2.61\ МПа$

Таким образом, предельный случай $\omega \to 0$, линейная зависимость от плотности материала и квадратичные зависимости от угловой скорости и радиуса подтверждают математическую согласованность принятой расчётной модели. Полученное значение для реального шлифовального барабана соответствует принятой аналитической модели центробежного нагружения.

Допущения и границы применимости расчётной модели

Стенка барабана рассматривается как гладкое тонкостенное кольцо (a/r = 0.010/0.145 ≈ 0.07 < 0.1), вращающееся с постоянной угловой скоростью. Учитываются только два фактора: центробежная сила собственной массы стенки и крутящий момент от привода; при этом принято, что вся мощность двигателя (1.5 кВт) передаётся барабану без потерь. В модели не учитываются:

1. масса Z-образных профилей, шлифовальных лепестков, пластин и крепёжных элементов;
2. контактное давление кожи (0.20–0.29 МПа) и силы трения в зоне шлифования;
3. изгиб барабана как балки на двух опорах от натяжения ремня и прижима вала 11;
4. концентрация напряжений у винтовых пазов, отверстий под болты и сварных швов Z-профилей;
5. податливость подшипниковых опор и торцевых дисков, дисбаланс, вибрации и усталость.

Присоединённая масса (п. 1) увеличивает окружное напряжение приблизительно пропорционально отношению масс, если она равномерно распределена по окружности:

$$\sigma_\theta^i = \rho\omega^2 r^2 \left(1 + \frac{m_{доп}}{m_{дев}}\right), \qquad m_{дев} = 2\pi r a b \rho. \tag{28}$$

$m_{дев} = 2\pi \cdot 0.145 \cdot 0.010 \cdot 0.500 \cdot 7850 \approx 35{,}8$ кг — масса стенки, $m_{доп}$ — масса профилей, лепестков и крепежа. Даже при $m_{доп} = m_{ст}$ напряжение составит лишь ≈ 5.2 МПа. Однако с учётом пп. 2–5 полученный условный запас $n_т \approx 136$ характеризует только напряжения от вращения гладкой стенки; он не является оценкой прочности и безопасности машины в целом и не связан с качеством обработки или ресурсом абразива. Полная оценка прочности барабана с пазами, крепежом и опорами предполагается методом конечных элементов.

4. Обсуждение

В настоящем исследовании проведён анализ конструктивных и расчётных характеристик изготовленной машины для шлифования кож, разработанной на основе запатентованного технического решения. Основное внимание уделено практической реализации шлифовального барабана с винтовым расположением рабочих элементов, оценке его напряжённого состояния при вращении и анализу условий обработки кожевенного материала.

Полученные расчётные результаты показали, что при частоте вращения барабана n=1200 об/мин и среднем расчётном радиусе r=0.145 м окружное нормальное напряжение составляет около 2.61 МПа. Проверка расчётной модели показала, что при предельном случае $\omega \to 0$ окружное напряжение стремится к нулю. Кроме того, установлено, что напряжение линейно зависит от плотности материала и квадратично зависит от угловой скорости и радиуса. Это подтверждает математическую согласованность принятой аналитической модели.

Предлагаемая конструкция направлена на повышение эффективности использования листовых абразивных материалов. Возможность снятия, установки и переворачивания шлифовальных элементов позволяет использовать их рабочую поверхность повторно после износа одной стороны. Данное конструктивное решение может способствовать снижению расхода абразивного материала и сокращению времени его замены. Однако количественная оценка влияния данной конструкции на срок службы абразива и производительность обработки требует проведения дополнительных сравнительных экспериментальных исследований.

Результаты настоящей работы согласуются с ранее опубликованными исследованиями, в которых рассматриваются вопросы механической обработки кожевенных материалов, их подачи, контактного давления и взаимодействия с рабочими органами машин [3–9, 20, 23]. В частности, предыдущие исследования показывают существенное влияние режимов подачи и контактного воздействия на процесс механической обработки кожевенных материалов. В работах, посвящённых абразивной обработке, также рассматриваются вопросы удаления материала, износа абразивной ленты и влияния параметров контакта на результаты обработки [9, 17–19, 21, 22].

Отличительной особенностью настоящего исследования является практическая реализация запатентованного технического решения в виде изготовленного шлифовального барабана и собранной на его основе машины. В отличие от патентного описания, в настоящей работе дополнительно рассмотрены расчётные параметры вращающегося барабана, его напряжённое состояние и условия эксплуатации.

К сильным сторонам исследования относится сочетание конструктивной разработки и расчётно-теоретической оценки изготовленного рабочего органа. Вместе с тем исследование имеет определённые ограничения. В частности, на данном этапе отсутствует полный комплекс сравнительных экспериментальных данных по качеству обработки кожи, шероховатости поверхности, износу абразивного материала и производительности при одинаковых режимах работы. Поэтому конструктивные преимущества предлагаемой машины не следует интерпретировать как окончательно подтверждённый технологический эффект без проведения дополнительных испытаний.

В дальнейшем целесообразно провести экспериментальное сравнение предлагаемой машины с прототипом при одинаковом типе и толщине кожи, зернистости абразива, частоте вращения, скорости подачи и контактном прижиме. В качестве основных критериев оценки могут быть использованы шероховатость обработанной поверхности, расход и степень использования абразивного материала, производительность обработки и изменение площади кожевенного полуфабриката. Кроме того, перспективным направлением является численное исследование реального барабана с технологическими пазами и крепёжными элементами методом конечных

элементов.

5. Выводы

Рассмотренные исследования вносят значительный вклад в развитие механической обработки кожи, особенно в области валковых технологий. Их сильной стороной является сочетание теоретического анализа и экспериментальных данных. Однако для качественного скачка в развитии отрасли необходим переход к интегрированным моделям, учитывающим одновременно реологию, деформацию, влагоперенос и динамику оборудования.

Разработана усовершенствованная конструкция барабанной машины для шлифования кожевенного и пушно-мехового сырья (рисунок. 6). Предложенные конструктивно-технические предложения позволят достичь следующих преимуществ.

Т-образные пазы и сменные опоры на поверхности шлифовального барабана позволяют быстро снимать, устанавливать и переворачивать шлифовальную бумагу. Это значительно продлевает срок службы абразивного материала и снижает расход сырья.

Установка бумаги на концах шлифовального барабана под углом к центру обеспечивает выравнивание морщин и складок на поверхности кожи и увеличивает выход кожи по площади.

Шлифовальная пластина в виде замкнутого контурного транспортера обеспечивает полное использование абразивных частиц. А слой резины, установленный на металлическом гибком листе, обеспечивает равномерное давление на кожу и улучшает качество обработки.

Схема крепления с Z-образным профилем позволяет оперативно заменять шлифовальную бумагу, что снижает количество простоев на производстве и сокращает время технического обслуживания.

Установлено, что предложенная усовершенствованная конструкция машины для шлифования кожевенного и пушно-мехового сырья имеет важное научно-практическое значение с точки зрения повышения технологической эффективности, улучшения качества обработки и рационального использования абразивных материалов.

Проведённое расчётно-теоретическое исследование изготовленного шлифовального барабана показало, что при частоте вращения (n=1200) об/мин и среднем расчётном радиусе (r=0.145) м окружное нормальное напряжение составляет около (2.61) МПа. Проверка расчётной модели в предельном случае показала, что при отсутствии вращения $\omega \to 0$ окружное напряжение стремится к нулю. Установлено также, что напряжение линейно зависит от плотности материала и квадратично зависит от угловой скорости и радиуса. Полученные расчётные результаты подтверждают согласованность принятой аналитической модели с параметрами изготовленного шлифовального барабана.

Декларации / Declarations

Вклад авторов: Л.Т. — концептуализация, конструирование и изготовление шлифовальной машины, расчётно-теоретический анализ барабана, анализ результатов, подготовка и редактирование рукописи.

Author Contributions: L.T. — conceptualization, design and fabrication of the grinding machine, theoretical and computational analysis of the drum, analysis of results, and manuscript preparation and editing.

Финансирование: Исследование выполнено за счет бюджетных средств Академии наук Республики Узбекистан и Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (2026 г.)

Funding: This research was supported by budget funds of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (2026).

Одобрение этического комитета: Не применимо: исследование содержит инженерное конструирование, расчётно-теоретический анализ и описание технического оборудования; участие людей или животных не предусмотрено.

Ethics Approval: Not applicable: this engineering study describes machine design and theoretical calculations and does not report research involving human or animal subjects.

Информированное согласие и согласие на публикацию: Не применимо: исследование не содержит персональных данных участников и материалов, позволяющих идентифицировать участников исследования.

Informed Consent and Consent for Publication: Not applicable: the manuscript does not report human participant data or identifiable participant materials.

Доступность данных: Исходные данные и результаты расчётов приведены в тексте и таблицах статьи. Данные машины МШ-600-К приведены по [1]; чертежи изготовленного образца и файлы расчётов могут быть предоставлены автором по обоснованному запросу.

Data Availability Statement: The input data and calculation results are provided in the text and tables of the article. The MSh-600-K machine data are taken from [1]; drawings of the fabricated prototype and calculation files may be provided by the author upon reasonable request.

Конфликт интересов: Автор является одним из соавторов патента [2], на основе которого изготовлена машина. Иных конфликтов интересов автор не заявляет.

Conflicts of Interest: The author is a co-author of patent [2], on which the fabricated machine is based. The author declares no other conflicts of interest.

Сведения об использовании искусственного интеллекта: При подготовке исправленной версии рукописи автор использовал инструмент искусственного интеллекта Claude Ai для редактирования текста и проверки согласованности ссылок и обозначений.

Artificial Intelligence Disclosure: In preparing the revised manuscript, the author used the artificial intelligence tool Claude Ai for text editing and checking the consistency of references and notation.

Обозначения и сокращения

Сокращения / Abbreviations

η_a	степень использования абразивного материала / abrasive utilization ratio
$A_{\text{исп}}, A_{\text{общ}}$	использованная и общая площади абразивной поверхности / used and total abrasive areas
R, r_i, r	внешний, внутренний и средний радиусы барабана / outer, inner and mean drum radii
a, b	толщина стенки и ширина барабана / wall thickness and drum width
ρ	плотность материала барабана / density of drum material
ω, n	угловая скорость и частота вращения / angular velocity and rotation rate
σ_θ	окружное нормальное напряжение / circumferential normal stress
τ, T, J_p	касательное напряжение, крутящий момент и полярный момент инерции / shear stress, torque and polar moment of inertia
$\sigma_{\text{экв}}$	эквивалентное напряжение по Мизесу / von Mises equivalent stress
P	мощность электродвигателя / motor power
МШ-600-К	обозначение сравниваемого станка / comparison machine model
ИМСС АН РУз	Институт механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан / Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures
MDF	древесноволокнистая плита средней плотности / medium-density fibreboard

Список литературы

[1] Burmistrov A.G. Mashiny i apparaty proizvodstva kozhi i mekha. – M.: KolosS, 2006. – 384 s.

[2] Mashina dlya shlifovaniya kozh. Patent № IAP 8240. Avtory: Bakhadirov G.A., Nabiev A.M., Tsoy G.N., Khusanov K., Tursunboev L.E., Igamberdiev B.S., Sultanov A.A. Ofitsial'nyy byulleten' Tsentra intellektual'noy sobstvennosti, № 10(294), 25.10.2025.

[3] Auezhan T. Amanov, et al. The Improvement of the Rheological Model of Leather. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 13 (2023) No. 1, pages: 321-328, doi: http:// dx.doi.org/10.18517/ijaseit.13.1.17360.

[4] Bahadirov G., Musirov M. Study of deformation of sheet material moving between rollers // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2467. – Article 060017. – DOI: http:// .doi.org/10.1063/5.0093197.

[5] Ayder Nabiev, et al. Conditions for vertical pulling of semi-finished leather products under driving rollers. E3S Web of Conf., 376 (2023) 01073. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337601073.

[6] Amanov A.T., et al. Improvement of the Process of Mechanical Dehydration of Five-Layer Semi-finished Wet Leather Products. Textile & Leather Review. 2021; 4(4):282-294. doi: http:// dx.doi.org/10.31881/TLR.2021.27.

[7] Bahadirov G., Musirov M., & Nabiev A. Determination of rational parameters of a device for leather feeding to the machining area. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(1 (122), 62–72. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277393.

[8] Amanov A.T., et al. A Study on the Pressure Mechanism Improvement of a Roller-Type Machine Working Bodies. Materials 2023, 16, 1956. http:// dx.doi.org/10.3390/ma16051956.

[9] Pandiyan V., Caesarendra W., Glowacz A., Tjahjowidodo T. Modelling of Material Removal in Abrasive Belt Grinding Process. // A Regression Approach. Symmetry.2020, 12, 99; doi: http:// dx.doi.org/10.3390/sym12010099.

[10] UNIDO. Occupational Safety and Health Aspects of Leather Manufacturing. Vienna, 2021.

[11] Ding X., Li Y., Chen J., Huang X., Chen L., Hu Z. Sustainable utilization of finished leather wastes: A novel collagen hydrolysate-based gypsum additive with high-retarding performance // Process Safety and Environmental Protection.2023. – Vol. 172. – P. 463–472.– doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2023.02.040.

[12] Cirillo C., Iuliano M., Florio C., Fierro F., Gallucci L., Maffei G., Loi A., Scarpa D., Sarno M. High performance leathers finishing through zero waste and metal-free leather wastes valorization. // Scientific Reports.– 2025. – Vol. 15, No. 1. – Article 18105. – doi: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-025-03182-6.

[13] Fierro F., Iuliano M., Cirillo C., Florio C., Maffei G., Loi A., Batakliev T., Adami R., Sarno M. Multifunctional leather finishing vs. applications, through the addition of welldispersed flower-like nanoparticles. // Scientific Reports.2024 Jan 25;14(1):2163. doi: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-51775-4.

[14] Cirillo C., Iuliano M., Fierro F., Florio C., Maffei G. Loi A., Batakliev T., Adami R., Sarno M. Silver Nanoparticle-Based Finishing for Leather Antimicrobial and UV Protection // Micromachines.22025. Vol. 16, No. 4. Art. 376. doi: http://dx.doi.org/10.3390/mi16040376.

[15] Zhang, T.; Wang, Q.; Wang, N.; Yan, L.; Jiang, F.; Zhang, E.; Zhou, W.; Gao, H.; Wang, Y. Surface Integrity in the Grinding of Hardened AISI D2 Steel. Materials 2025,18, 814. https:// doi.org/10.3390/ma18040814.

[16] Wu, Z., Fan W., Qian Ch., Hou G. Contact Mechanism of Rail Grinding with Open-Structured Abrasive Belt Based on Pressure Grinding Plate. Chin. J. Mech. Eng. 36, 42 (2023). https:// doi.org/10.1186/s10033-023-00862-0.

[17] Cao Y., Zhao J., Qu., X., Wang X., Liu B. Prediction of Abrasive Belt Wear Based on BP Neural Network // Machines. 2021. Vol. 9, No. 12. Art. 314. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/machines9120314.

[18] Pandiyan V.P. Modelling and in-process monitoring of robotic abrasive belt grinding process;PhD thesis. Nanyang Technological University, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.32657/10220/47799.

[19] Amanov A.T., Bahadirov G. A., Tsoy G.N., Nabiev A. M. Effect of Multilayer Processing of Semi-finished Leather Products, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 11, No. 4, pp. 248-254, April 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.18178/ijmerr.11.4.248-254.

[20] Palija T., Jaic M., Dzincic I. The impact of sanding system on the surface roughness of medium density fibreboard // Wood Industry and Engineering. 2019. Vol. 01, No. 01. P. 27-32. http://dergipark.org.tr/wie.

[21] Serpin K., Mezghani S., Mansori M. Wear study of structured coated belts in advanced abrasive belt finishing // Surface & Coatings Technology. 2015. Vol. 284. P. 365–376. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.10.040.

[22] Bahadirov G. A., Tsoy G.N., Nabiev A. M. The effect of roller pressure and feed rate on hides squeezing // E3S Web of Conf. Volume 402, 2023. International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023. https:// doi.org/10.1051/e3sconf/202340210016.

[23] Bahadirov G.A., Sultanov T.Z., Abdukarimov A. (2020) Kinematic analysis of tooth-lever differential transmission mechanisms. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 614 012101. doi: http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012101.

[24] Iuliano M., et al. Titania nanoparticles finishing for smart leather surface. Progress in Organic Coatings, 2024, art. 108457. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.

[25] GOST 1050–2013. Metal products from nonalloyed structural quality and special steels. General specifications.. // Interstate Standard, 2013.

Отказ от ответственности / Примечание издателя

Утверждения, мнения и данные во всех публикациях принадлежат исключительно отдельным авторам и участникам и не обязательно отражают взгляды издателя, журнала или редакторов. Издатель, журнал и редакторы не несут ответственности за вред людям или ущерб имуществу, возникшие вследствие использования идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в тексте. **Disclaimer of Liability/Publisher's Note**

The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and do not necessarily reflect the views of the Publisher, the Journal, or the editors. The Publisher, the Journal, and the editors disclaim responsibility for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.