

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 675.055.345

### Разработка автоматизированного станка для тиснения по материалам больших размеров

Ю.В. Марченко<sup>1</sup>, С.И. Попов<sup>1</sup>, Э.В. Марченко<sup>2</sup>, И.В. Панчев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

#### Аннотация

В статье представлен разработанный автоматизированный станок для тиснения по коже и другим материалам больших размеров, поставляемым в рулонах. Приведена компоновка станка для тиснения. Проведен расчет исполнительного устройства — тиснильного и опорного валов, а также расчет нагревательного элемента. Разработана конструкция станка, описаны кинематика, системы управления, выбраны материалы валов и ТЭН, выполнены статические расчеты и теплотехнический расчет. Новый станок за счет видоизменения технологической оснастки и компоновки позволяет получать необходимый размер переноса изображения на изделие, обладает большей универсальностью и производительностью. Результаты важны для масштабной автоматизации тиснения.

**Ключевые слова:** тиснение, автоматизированный станок, прочностной расчет

**Для цитирования.** Марченко Ю.В., Попов С.И., Марченко Э.В., Панчев И.В. Разработка автоматизированного станка для тиснения по материалам больших размеров. *Молодой исследователь Дона*. 2026;11(1):56–63.

### Development of an Automated Embossing Machine-Tool for Large-Sized Materials

Julianna V. Marchenko<sup>1</sup>, Sergey I. Popov<sup>1</sup>, Edward V. Marchenko<sup>2</sup>, Ivan V. Panchev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>2</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

#### Abstract

The article presents an automated machine-tool developed for embossing leather and other materials of a large-size supplied in rolls. The embossing machine-tool layout was provided. The calculation of an execution unit (the embossing and support rollers), as well as of the heating element was performed. The design of a machine-tool was developed, the kinematics and control systems were described, the materials for rollers and heating element were selected, and static and heat engineering calculations were performed. By modifying the technological equipment and layout of the newly developed machine-tool, it is possible to transfer the required size image to the product. The machine is attributed with better versatility and productivity. The results contribute to multiplying automation in the embossing process.

**Keywords:** embossing, automated machine-tool, strength calculation

**For Citation.** Marchenko YuV, Popov SI, Marchenko EV, Panchev IV. Development of an Automated Embossing Machine-Tool for Large-Sized Materials. *Young Researcher of Don*. 2026;11(1):56–63.

**Введение.** Статья посвящена технологии и оборудованию для тиснения по коже и другим материалам с возможностью использования специальной фольги для горячего тиснения, позволяющим автоматизировать процесс и повысить его качество.

Тиснение — это процесс переноса необходимого изображения на материал, в частности натуральную кожу, за счет давления, оказываемого на материал специальным штампом, имеющим зеркальную форму необходимого к переносу рисунка. Долговечность переносимого изображения достигается за счет того, что при механическом, а при горячем тиснении еще и температурном воздействии, материал изменяет свою структуру и плотность. Как результат, при эксплуатации изображение сохраняет четкость и не истирается [1, 2].

В существующем перечне оборудования для тиснения отсутствуют предложения для работы с материалом большой площади, которое было бы востребовано в различных областях, например, в мебельной индустрии открылась бы возможность производить диваны, кресла, софы и многие другие неотъемлемые атрибуты нашей повседневной жизни. Но и для производства уже существующих вещей такая технология значительно облегчит работу на следующей стадии производства, так как будет не нужно подбирать участок для раскроя, весь материал будет однородным без технологических пробелов.

Целью работы является создание высокопроизводительного автоматизированного станка для тиснения по коже и другим материалам больших размеров, поставляемым в рулонах. Новый станок за счет видоизменения технологической оснастки и компоновки позволит получать необходимый размер переноса изображения на изделие, и при этом будет обладать большей универсальностью и производительностью, чем любой другой из представленных на Российском и мировом рынке станков этой категории.

**Основная часть.** Проектируемый станок для тиснения должен обладать следующими возможностями: работа как с листовым материалом, так и с материалом, поставляемым в рулонах больших габаритов, горячее тиснение фольгой, блинтовое тиснение, а также иметь высокую производительность и обеспечивать высокое качество, при минимальном человеческом участии. На рис. 1 представлена схема разработанного станка для тиснения, состоящего из следующих основных узлов: тиснильный вал, опорный вал, нагревательное устройство, двигатель опорного вала и вала клише, устройство смотки фольги, двигатель для устройства смотки фольги, устройство смотки материала, двигатель для устройства смотки материала, устройство подачи фольги, устройство подачи материала, гидропривод, редуктор, валик преднатяжителя, стол, гравитационные конвейерные ролики, каркас, корпус.

**Введение.** Статья посвящена технологии и оборудованию для тиснения по коже и другим материалам с возможностью применения специальной фольги для горячего тиснения, что позволяет автоматизировать процесс и повысить качество получаемого изображения.

Тиснение — процесс переноса заданного изображения на материал, в частности на натуральную кожу, за счёт давления, создаваемого специальным штампом зеркальной формы требуемого рисунка. Долговечность перенесённого изображения обеспечивается тем, что при механическом, а при горячем тиснении также и при температурном воздействии материал изменяет свою структуру и плотность. В результате при эксплуатации изображение сохраняет чёткость и не истирается [1, 2].

В имеющемся ассортименте оборудования для тиснения отсутствуют предложения, ориентированные на работу с материалом большой площади; такие решения востребованы в различных отраслях. В мебельной индустрии это откроет возможности для производства диванов, кресел, соф и других предметов обстановки. Кроме того, внедрение технологии обработки рулонного материала упростит последующие производственные операции, устранив необходимость подбора участков для раскроя и обеспечив однородность материала без технологических разрывов.

Цель работы — создание высокопроизводительного автоматизированного станка для тиснения по коже и другим материалам больших размеров, поставляемым в рулонах. За счёт оптимизации технологической оснастки и компоновки новый станок позволит формировать требуемый размер переноса изображения на изделие, обладая при этом большей универсальностью и производительностью по сравнению с существующими образцами на российском и мировом рынках данной категории.

**Основная часть.** Проектируемый станок для тиснения должен обеспечивать следующие режимы работы: обработку листового материала и рулонных материалов больших габаритов; горячее тиснение фольгой; блинтовое тиснение; высокую производительность и стабильное качество при минимальном участии оператора. На рис. 1 представлена схема разработанного станка для тиснения, включающего следующие основные узлы:

- тиснильный вал;
- опорный вал;
- нагревательное устройство;
- двигатель опорного вала и вала клише;
- устройство смотки фольги;
- двигатель для устройства смотки фольги;
- устройство смотки материала;
- двигатель для устройства смотки материала;
- устройство подачи фольги;
- устройство подачи материала;
- гидропривод;
- редуктор;

- валик преднатяжитель;
- стол;
- гравитационные конвейерные ролики;
- каркас;
- корпус.

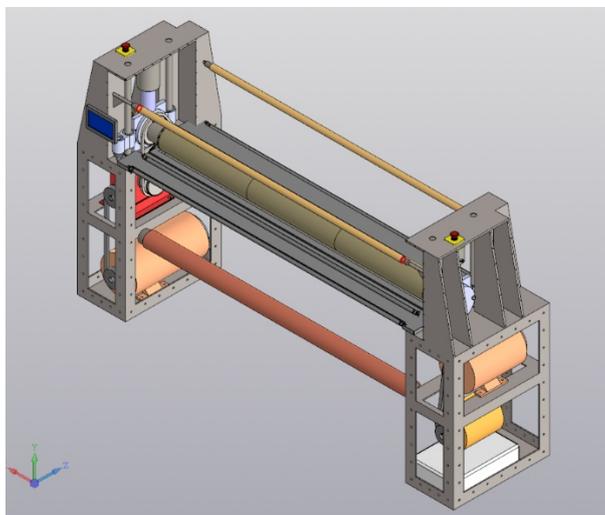


Рис. 1. Схема станка для тиснения

На рис. 2 показана кинематическая схема станка для тиснения.

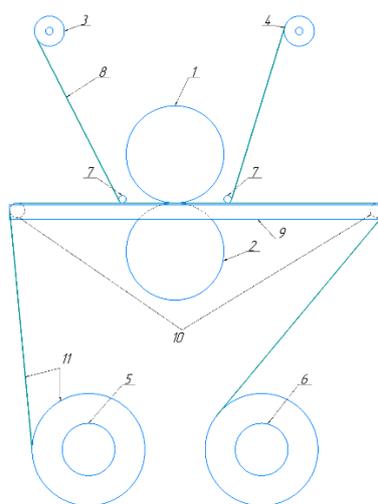


Рис. 2. Кинематическая схема станка для тиснения: 1 — тиснильный вал; 2 — опорный вал; 3 — устройство подачи фольги; 4 — устройство смотки фольги; 5 — устройство подачи материала; 6 — устройство смотки материала; 7 — валик преднатяжитель; 8 — фольга; 9 — стол; 10 — гравитационные конвейерные ролики; 11 — материал

Станок работает следующим образом (рис. 2). На устройство подачи материала 5 закрепляется рулон с кожей либо другим материалом, оператор подводит край материала 11 к тиснильному валу 1, далее продельывает такую же операцию с фольгой 8, закрепленной на устройстве подачи фольги 3, после чего запускает станок. Материал проходит через тиснильный вал 1 и опорный вал 2, для дальнейшего автоматического регулирования скорости подачи материала оператор закрепляет выходящий край фольги на устройстве смотки фольги 4, а готовый материал на устройстве смотки материала 6.

Для управления основными узлами станка система управления разделена на три основные части: система управления вращением вала клише и опорного вала, система управления устройствами смотки фольги и материала, система управления гидроприводом. Кроме того, у станка имеется регулировка температуры вала клише.

Алгоритм работы станка выглядит следующим образом: включение станка, установка материала, ввод данных на панели оператора (скорость подачи материала; температура; сила нажатия; длина тиснения), старт. На контроллере МК4 происходит распределение задач на кнопки аварийной остановки и микроконтроллеры МК1, МК2, МК3. МК1 управляет включением ТЭН и работой гидропривода. Управление ТЭН осуществляется на основе показаний датчика температуры LN222 Pt100, если температура равна заданной, ТЭН выключается, если нет —

продолжает работать. Информацию об усилии получаем путем опроса датчика усилия Burster 8451-6100. Микроконтроллер МК2 отвечает за управление двигателем главного движения 2ПН112ЛГ. Микроконтроллер МК3 отвечает за включение шагового двигателя ШДР86, предназначенного для смотки фольги и такого же двигателя для смотки материала. Также, установлены счетчики количества оборотов двигателя, на основе показаний которых определяем длину тиснения, в случае если она равна заданной — станок останавливается. Если нет, то процесс продолжается до тех пор, пока заданное количество материала не будет обработано тиснением.

#### Расчет исполнительного устройства - тиснильного и опорного валов

Тиснильный вал состоит из вала клише и полого вала, на котором закрепляется вал клише. Для изготовления вала клише выбрали латунь марки Л68 ГОСТ 15527-2004, которая обладает оптимальным сочетанием необходимых для клише свойств [3, 4].

Геометрические параметры определяли из соображения минимального необходимого размера рисунка, который при постоянном закликивании не бросался бы в глаза. За основу приняли изображение на формате А3 (297 x 420 мм), расположенное по горизонтали — 420 мм. Подобрана из существующего перечня проката труба латунная с внешним диаметром  $D = 130$  мм, внутренним  $d = 110$  мм.

Длина принята равной 1650 мм, поскольку планируется обработка не только кожи, но и других материалов, поставляемых в рулонах, которые зачастую имеют ширину 1600 мм, дополнительные 50 мм берем для запаса, поскольку допуски у таких материалов позволяют производителю выпускать их больше 1600 мм. Обработка клише таких размеров процесс крайне сложный, принимаем решение разбить его на три составные части, по  $L = 550$  мм.

Станок работает следующим образом (рис. 2). На устройство подачи материала 5 крепится рулон кожи или другого материала, оператор подводит край материала 11 к тиснильному валу 1, аналогично подводит фольгу 8, закреплённую на устройстве подачи фольги 3, после чего запускает станок. Материал проходит через тиснильный вал 1 и опорный вал 2. Для автоматического регулирования скорости подачи оператор закрепляет выходящий край фольги на устройстве смотки фольги 4, а готовый материал — на устройстве смотки материала 6.

Система управления основными узлами станка разделена на три части: система управления вращением вала клише и опорного вала; система управления устройствами смотки фольги и материала; система управления гидроприводом.

Кроме того, предусмотрена регулировка температуры вала клише.

Алгоритм работы станка следующий: включение станка, установка материала, ввод параметров на панели оператора (скорость подачи материала; температура; сила нажатия; длина тиснения), запуск. На контроллере МК4 происходит распределение задач, обработка сигналов кнопки аварийной остановки и передача команд микроконтроллерам МК1, МК2, МК3. МК1 управляет включением ТЭН и работой гидропривода — управление ТЭН осуществляется по показаниям датчика температуры LN222 Pt100: при достижении заданной температуры ТЭН отключается, в противном случае продолжает работать. Усилие определяется опросом датчика усилия Burster 8451-6100. МК2 отвечает за управление двигателем главного движения 2ПН112ЛГ. МК3 управляет шаговым двигателем ШДР86, предназначенным для смотки фольги, а также идентичным двигателем для смотки материала. Установлены счётчики оборотов двигателей, по показаниям которых отслеживается длина тиснения — при достижении заданной длины станок останавливается, в противном случае процесс продолжается до обработки требуемого объёма материала тиснением.

#### Расчёт исполнительного устройства — тиснильного и опорного валов

Тиснильный вал включает вал клише и полый вал, на котором он закреплён. В качестве материала для вала клише выбрана латунь марки Л68 по ГОСТ 15 527-2004, обладающая оптимальным сочетанием свойств, необходимых для клише [3, 4].

Геометрические параметры определялись исходя из минимального допустимого размера рисунка, который при циклическом повторении не был бы заметен. За основу принято изображение в формате А3 297-420 мм, ориентированное по горизонтали — 420 мм. Выбрана из имеющегося ассортимента латунная труба с наружным диаметром  $D = 130$  мм и внутренним  $d = 110$  мм.

Длина вала принята равной 1650 мм, поскольку планируется обработка не только кожи, но и других материалов в рулонах шириной до 1600 мм; дополнительные 50 мм заложены в запас в связи с допусками на рулоны. Обработка клише таких размеров технологически сложна — принято решение разбить вал на три составные части по  $L = 550$  мм.

#### Расчет массы одного клише

Объем одного клише:

$$V = S \cdot L = 0,0038 \cdot 0,55 = 0,00209 \text{ м}^3,$$

где  $S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(0,13^2 - 0,11^2) = 0,0038 \text{ м}^2$ .

Масса одного клише:

$$m_{\text{ек}} = \rho \cdot V = 8500 \cdot 0,00209 = 17,765 \text{ кг},$$

где  $\rho = 8\,500 \text{ кг/м}^3$  — плотность латуни марки Л68 ГОСТ 15527-2004.

Тогда масса вала клише в сборе:

$$3m_{\text{ек}} = 3 \cdot 17,765 = 53,295 \text{ кг}.$$

### Расчет полого вала

На полом вала зафиксировано клише, через него валу клише сообщается вращение при помощи шпоночного соединения.

Для изготовления полого вала подобрали трубу из латуни Л68 ГОСТ 15 527–2004, с внешним диаметром  $D_1 = 110 \text{ мм}$ , внутренним  $d_1 = 80 \text{ мм}$ . Поскольку у этих валов есть механический контакт во избежание образования гальванической пары взяли тот же материал. Длину вала приняли равной  $L_1 = 2 \text{ м}$ , с запасом 0,35 м для крепления передаточных элементов и установки подшипников.

Объем полого вала:

$$V_1 = S_1 \cdot L_1 = 0,0045 \cdot 2 = 0,009 \text{ м}^3,$$

где  $S_1 = \frac{\pi}{4}(D_1^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4}(0,11^2 - 0,08^2) = 0,0045 \text{ м}^2$ .

Тогда масса полого вала:

$$m_{\text{не}} = \rho \cdot V_1 = 8500 \cdot 0,009 = 76,5 \text{ кг}.$$

Был проведен статический расчет на прочность 3D модели полого вала [5, 6]. Вал жестко зафиксирован в местах крепления подшипников, на всю конструкцию действует сила тяжести. К валу приложен вращательный момент 200 Нм на месте крепления звездочки цепной передачи. К валу приложена нормальная вертикальная сила 86400 Н, область приложения которой представлена на рис. 3.

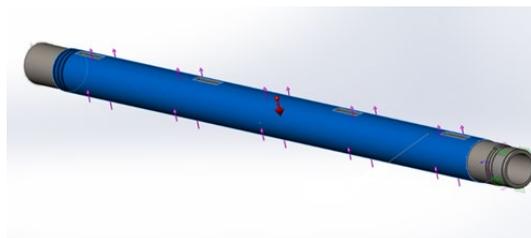


Рис. 3. Область приложения силы вала клише

Создана конечно-элементная сетка 3D модели вала клише. Параметры конечно-элементной сетки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства конечно-элементной сетки вала клише

Точки Якоби, шт	16
Размер элемента, мм	15
Допуск, мм	0,75
Качество сетки	Высокое
Всего узлов, шт	50422
Всего элементов, шт	27639
Максимальное соотношение сторон, мм	7,2606

По результатам статического расчета на прочность видно, что в основном нагруженными элементами являются канавки стопорных колец подшипника. Результаты приведены на рис. 4 и 5.

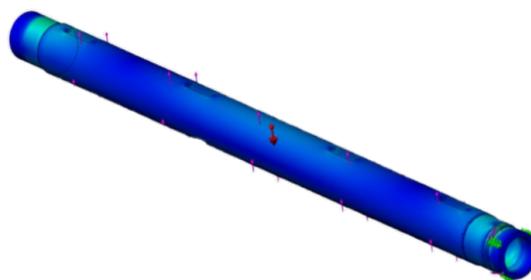


Рис. 4. Результаты статического расчета на прочность вала клише

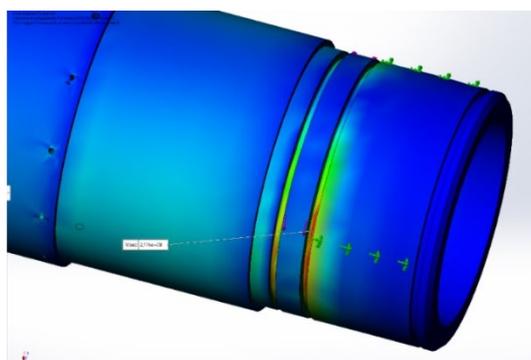


Рис. 5. Результаты статического расчета на прочность вала клише

В результате расчета установлено, что запас прочности составляет 1,9 единиц, следовательно, материал выбран верно.

#### Расчет опорного вала

Выполнен статический расчет на прочность 3D-модели опорного вала. В качестве материала вала выбрана сталь 45. Вал жестко зафиксирован в местах крепления подшипников, к валу приложен вращательный момент 200 Нм на месте крепления зубчатого колеса. К валу приложена нормальная вертикальная сила равная 86 400 Н, область приложения которой представлена на рис. 6.

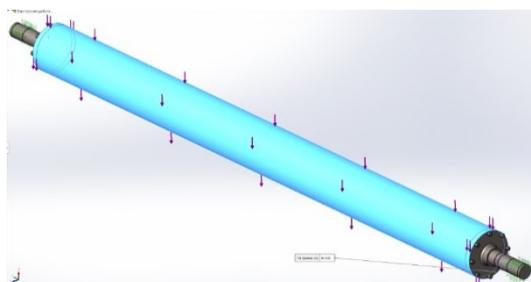


Рис. 6. Область приложения силы опорного вала

Создана конечно-элементная сетка 3D-модели опорного вала. Параметры конечно-элементной сетки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства конечно-элементной сетки опорного вала

Точки Якоби, шт	16
Размер элемента, мм	15
Допуск, мм	0,75
Качество сетки	Высокое
Всего узлов, шт	67247
Всего элементов, шт	33483
Максимальное соотношение сторон, мм	6,2747

По результатам статического расчета на прочность видно, что в основном нагруженными элементами являются фланцы, к которым присоединяются оси. Результаты приведены на рис. 7 и 8.

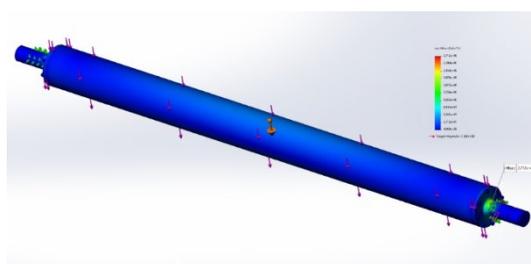


Рис. 7. Результаты статического расчета на прочность опорного вала

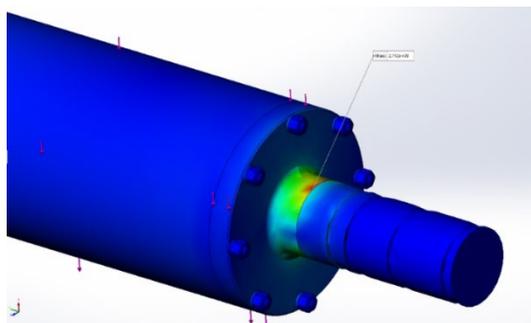


Рис. 8. Результаты статического расчета на прочность опорного вала

В результате расчета установлено, что запас прочности составляет 2 единицы, следовательно, материал выбран верно.

#### Расчет нагревательного элемента

Для равномерного прогрева тиснильного вала по всей площади подходит трубчатый электронагреватель (ТЭН). Необходимое количество выделяемого тепла для нагрева вала до максимальной температуры [7–9]:

$$Q = cm\Delta t = 377 \cdot 129,795 \cdot 230 = 11,255 \text{ МДж},$$

где  $c = 377 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$  — удельная теплоемкость латуни при  $20 \text{ °C}$ ;  $m = m_{\text{пв}} + 3m_{\text{вк}} = 76,5 + 53,295 = 129,795 \text{ кг}$  — совокупная масса валов, которую прогревает ТЭН;  $\Delta t = t_{\text{max}} - t_{\text{н}}$ ;  $t_{\text{max}} = 250 \text{ °C}$  — максимальная температура;  $t_{\text{н}} = 20 \text{ °C}$  — начальная температура равна комнатной.

Временной интервал, за который тиснильный вал бы нагревался до максимальной температуры, принимаем 30 минут.

Тогда необходимая мощность для выполнения этой работы:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{11,255 \cdot 10^6}{30 \cdot 60} = 6253 \text{ Вт} \approx 6,3 \text{ кВт}.$$

Необходимая мощность ТЭН с учетом коэффициента запаса 1,3:

$$P_{\text{сум}} = K \cdot P = 1,3 \cdot 6,3 = 8,19 \text{ кВт} \approx 8,2 \text{ кВт}.$$

Для того, чтобы было удобно менять клише, выбираем ТЭН второго типа с контактами, с одной стороны, а для того, чтобы уменьшить мощность и снизить нагрузку, используем два ТЭН вместо одного [10].

Выбираем ТЭН-355D8,5/4,4"Т"220ф2R30 (355 — развернутая длина, см; D — (125) — заделка контактного стержня, мм; 8,5 — диаметр оболочки, мм; 4,4 — номинальная мощность ТЭН, кВт; "Т" — обозначение среды и оболочки материала; 220 — номинальное напряжение питания; ф2 — форма ТЭН; R30 — радиус скругления на конце ТЭН).

**Заключение.** Разработанный автоматизированный станок для тиснения по коже и другим материалам больших размеров позволяет получать необходимый размер переноса изображения на изделие. Он обладает большей универсальностью и производительностью. В качестве материала для тиснильного и опорного валов предложено использовать латунь. Проведенные расчеты на прочность подтверждают правильность выбранных параметров. В результате расчета выбран нагревательный элемент ТЭН-355D8,5/4,4"Т"220ф2R30.

#### Список литературы

1. Янгирова Р.Г. Особенности обработки изделий из натуральной кожи. Учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ; 2011. 37 с. URL: [https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000461832&dtype=F&ctype=.pdf](https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000461832&dtype=F&ctype=.pdf) (дата обращения: 16.01.2026).
2. Островская А.В., Гарифуллина А.Р., Абдуллин И.Ш. *Технология изделий легкой промышленности. Технология кожи и меха.* Учебное пособие. Казань: Изд-во КНИТУ; 2015. 252 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/62314.html> (дата обращения: 16.01.2026).
3. Ivanov VV, Popov SI, Dontsov NS, Marchenko JuV, Ryzhkin NV, Oleynikova JuA. Chemical and Mechanical Bases of Coating Application in Vibration Technological Systems. In: *Proceedings of the International Scientific-Research Conference "Dynamics of Technical Systems" (DTS-2020). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1029.* IOP Publishing Ltd; 2021. P. 012052. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1029/1/012052>
4. Иванов В.В., Попов С.И., Валявин В.Ю., Марченко Ю.В., Марченко Э.В. Особенности инструментального обеспечения для формирования вибрационных механохимических покрытий. *Мир гальваники.* 2015;(1(29)):34–38.
5. Иванов В.В., Попов С.И., Марченко Ю.В. Использование полимерных рабочих сред для формирования оксидной пленки в условиях виброобработки. *Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева.* 2018;(1(44)):108–113.

6. Бабичев А.П., Иванов В.В., Попов С.И., Донцов Н.С. Особенности механизма формирования вибрационного химико-механического цинкового покрытия. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2018;14(2(158)):51–54.

7. Попов С.И., Донцов Н.С., Марченко Ю.В., Иванов В.В., Гальченко Г.А., Марченко Э.В. *Электрооборудование автомобилей*. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ; 2018. 235 с.

8. Попов С.И., Валявин В.Ю., Подуст С.Ф., Линькова Е.Ф., Юрьева В.В. *Диагностирование и испытание электрооборудования транспортных машин*. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ; 2010. 115 с.

9. Попов С.И., Рункевич Ю.П., Марченко Ю.В., Валявин В.Ю., Донцов Н.С., Иванов В.В. *Технические средства диагностирования транспортных машин*. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ; 2016. 199 с.

10. Попов С.И., Марченко Ю.В., Донцов Н.С., Иванов В.В., Марченко Э.В. Исследование возможности восстановления стенок цилиндра двигателей внутреннего сгорания (ДВС) за счет применения твердосмазочных материалов на основе дисульфида молибдена. В: *Материалы VIII международной научно-технической конференции «Научные технологии на современном этапе развития машиностроения»*. Москва, 19-21 мая. Москва: ООО «Техполиграфцентр»; 2016. С. 179–181.

**Об авторах:**

**Юлианна Викторовна Марченко**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [marchenko-6470@mail.ru](mailto:marchenko-6470@mail.ru)

**Сергей Иванович Попов**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [spopov1957@yandex.ru](mailto:spopov1957@yandex.ru)

**Эдвард Викторович Марченко**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инжиниринг и технологическое оборудование» Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4), [daedwardrambler.ru@mail.ru](mailto:daedwardrambler.ru@mail.ru)

**Иван Вячеславович Панчев**, магистрант кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ivanpancheff@gmail.com](mailto:ivanpancheff@gmail.com)

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**About the Authors:**

**Julianna V. Marchenko**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [marchenko-6470@mail.ru](mailto:marchenko-6470@mail.ru)

**Sergey I. Popov**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [spopov1957@yandex.ru](mailto:spopov1957@yandex.ru)

**Edward V. Marchenko**, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Engineering and Technological Equipment Department, National University of Science and Technology MISIS (4, Leninskiy Ave., Moscow, 119049, Russian Federation), [daedwardrambler.ru@mail.ru](mailto:daedwardrambler.ru@mail.ru)

**Ivan V. Panchev**, Master's Degree Student of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ivanpancheff@gmail.com](mailto:ivanpancheff@gmail.com)

**Conflict of Interest Statement:** the authors declare no conflict of interest.

**All authors have read and approved the final manuscript.**