



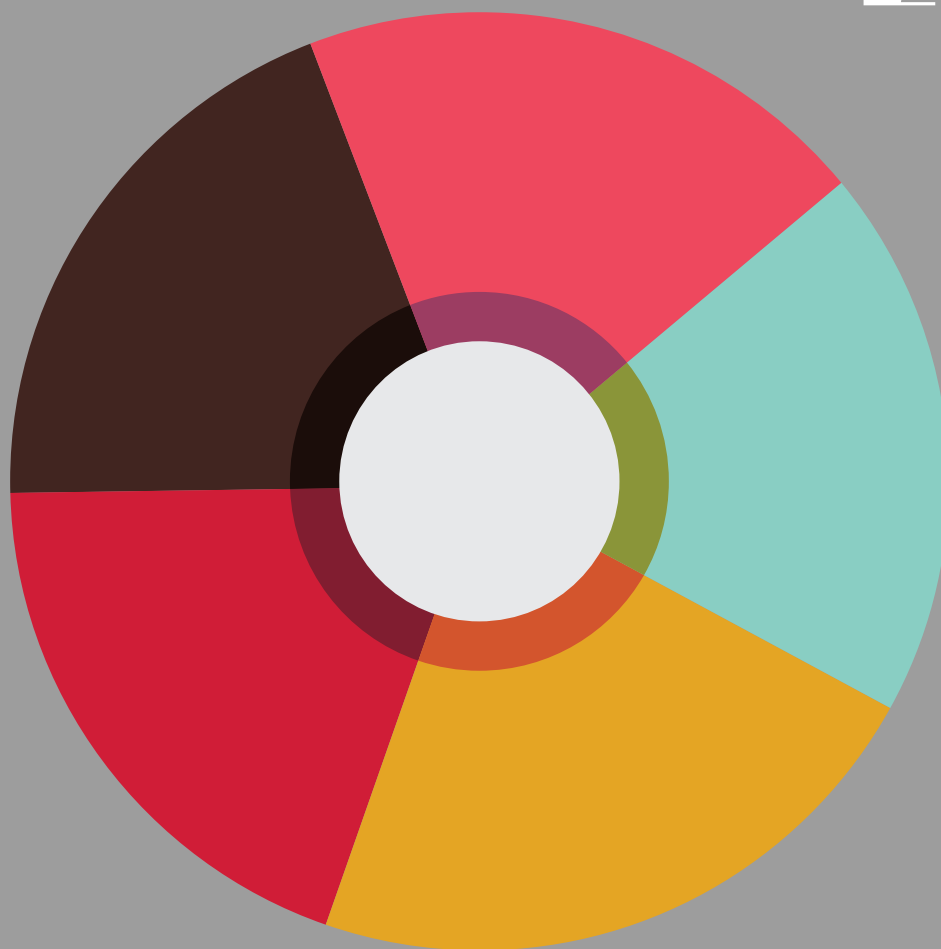
MIST

Современные инновации,
системы и технологии

ISSN 2782-2818

2022

2(4)



MIST

MODERN INNOVATIONS, SYSTEMS AND
TECHNOLOGIES

www.oajmist.com



MIST

Современные инновации,
системы и технологии

Выходит с 2021 года

Главный редактор

И.В. Ковалев, д-р техн. наук, профессор

Редакционная коллегия

С.П. Друкаренко, канд. техн. наук, профессор

А.А. Ступина, д-р техн. наук, профессор

Е.Н. Головенкин, д-р техн. наук, профессор

Н.А. Тестоедов, член-корр. РАН

А.С. Дулесов, д-р техн. наук, доцент

В.И. Пантелеев, д-р техн. наук, профессор

Ю.А. Шурыгин, д-р техн. наук, профессор

А.И. Легалов, д-р техн. наук, профессор

С.В. Ченцов, д-р техн. наук, профессор

Ю.В. Гуляев, академик РАН

И.Н. Карцан, д-р техн. наук, доцент

О.Я. Кравец, д-р техн. наук, профессор

В.В. Хартов, д-р техн. наук, доцент

В.В. Шайдуров, член-корр. РАН

А.А. Колташев, д-р техн. наук, доцент

О.А. Антамошкин, д-р техн. наук, доцент

А.А. Ворошилова, канд. филос. наук, доцент

А.С. Кузнецов, канд. техн. наук, доцент

В.С. Тынченко, канд. техн. наук, доцент

М.В. Сарамуд, канд. техн. наук, доцент

О журнале

Журнал «Современные инновации, системы и технологии» издается редакцией ООО «СНЦ ДНIT».



СНЦ ДНIT

Сибирский научный центр

Редакция проводит полную редакционную обработку статей, а также размещает научные статьи в международных и российских базах цитирования и в открытых репозиториях с целью повышения доступности научных публикаций.



eLIBRARY.RU – одна из крупнейших российских электронных библиотек научных публикаций, которая обладает огромными возможностями поиска и получения информации.



CrossRef – это международный реестр научно-информационных материалов на основе технологии DOI. CrossRef использует технологию открытых стандартов системы DOI и является также официальным регистрационным агентством DOI для образовательных и профессиональных научных публикаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Необходимую информацию о журнале и полный список опубликованных статей, а также аннотации к ним Вы найдете на нашем сайте www.oajmist.com

Издательство и редакция:

ООО "Сибирский научный центр ДНIT" (ООО "СНЦ ДНIT")

660049, Красноярск, ул. Урицкого, 61, офис 101

Телефон: 8 (391) 227-84-84

E-mail: krasnio@bk.ru

www.oajmist.com

Дизайн обложки Е.А. Борисова

Электронная версия: ISSN 2782-2818.

Журнал выходит четыре раза в год.

Цена свободная.

16+

About journal

The journal «Modern Innovations, Systems and Technologies» is published by the editorial offices of LLC «SSC DNIT».



SSC DNIT
Siberian Scientific Centre

The editorial office carries out full editorial processing of articles, as well as places scientific articles in international and Russian citation bases and in open repositories in order to increase the availability of scientific publications.



eLIBRARY.RU – is one of the largest Russian electronic libraries of scientific publications, which has enormous search and information retrieval capabilities.



CrossRef – is an international register of scientific and informational materials based on DOI technology. CrossRef uses the open standards technology of the DOI system and is also the official DOI registration agency for educational and professional scientific publications.

Articles submitted to the Editorial board are reviewed. The authors of the publications are responsible for the accuracy of the information in the articles. The opinion of the editorial board may not coincide with the opinion of the authors. When reprinting, a link to the journal is required. Materials are published in the author's edition.

The necessary information about the journal and a complete list of published articles, as well as abstracts to them, can be found on our website www.oajmist.com

Publisher and Editorial office:

"Siberian Scientific Center DNIT" (Ltd. "SSC DNIT")
61, Uritskogo Street, Krasnoyarsk, 660049, Russia
Tel: +7 (391) 227-84-84
E-mail: krasnio@bk.ru
www.oajmist.com

Cover design by E.A. Borisova

ISSN 2782-2818 (Online)

16+

Chief Editor

I Kovalev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Editorial Board

S Drukarenko, Doctor of Technical Sciences, Professor

A Stupina, Doctor of Technical Sciences, Professor

E Golovenkin, Doctor of Technical Sciences, Professor

N Testoyedov,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences

A Dulesov, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

V Panteleev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Yu Shurygin, Doctor of Technical Sciences, Professor

A Legalov, Doctor of Technical Sciences, Professor

S Chentsov, Doctor of Technical Sciences, Professor

Yu Gulyaev, Academician of the Russian Academy of Sciences

I Kartsan, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

O Kravets, Doctor of Technical Sciences, Professor

V Hartov, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

V Shaidurov, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences

A Koltashev, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

O Antamoshkin, Doctor of Technical Sciences, Ass. Prof.

A Voroshilova, PhD, Associate Professor

A Kuznecov, PhD, Associate Professor

V Tynchenko, PhD, Associate Professor

M Saramud, PhD, Associate Professor

Содержание

- 0101** **Ш.Р.Хуррамов, К.К.Тургунов**
Исследование влияния факторов на удельное давление при валковом отжиге кожи
- 0112** **Н.У.Аннаев, Ш.И.Хуррамов**
Экспериментальное исследование остаточной влажности кожи
- 0122** **К.Ю.Алибоев, Ш.И.Хуррамов**
Контактные напряжения в двухвалковом модуле отжима кожи
- 0201** **Assiya Shabi**
rojective Capital Asset Pricing Model
- 0214** **Ся Ю, Лин Бо, Чен Синь**
Низкая освещенность, сочетающая многомасштабные сети глубокого обучения и алгоритм улучшения изображения
- 0233** **Chen Jike, Zhao Qian**
Improved plant parenchyma extraction technology using artificial intelligence algorithms
- 0264** **YanYuqi, Liu Xin, Ye Wanting, Xu Jie, Lian Lihua**
Studying electronic blood pressure monitor digital recognition algorithm based on computer vision and design
- 0301** **Д. М. Мухаммадиев, Ф. Х. Ибрагимов, О.Х. Абзоиров, Л.Ю. Жамолова**
Расчет устойчивости междупильной прокладки при сжатии
- 0312** **Ш.Р. Хуррамов**
Скорости фильтрации в области отжима материалов
- 0324** **Бахтиёржон Касимов, МансурбекМуминов, АкбарАброров, ХумоюнМирзакаримов**
Расчетные модели для оценки напряженно-деформированного состояния в поверхностном слое деталей при поверхностном пластическом деформировании обкатыванием и выглаживанием
- 0331** **Акбар Аброров, Матлуба Кувончева, Ноила Хасанова, Мухсин Мухаммадов, Хасан Саидов**
Производственные испытания дисковых пил после ионно-плазменного азотирования и лазерной закалки волоконотделительной машины марки 5ДП-130
- 0339** **Safar Khojiev, Shukhrat Yuldoshev and Shamshod Savriev**
On the calculation of a model of a three-dimensional turbulent diffusion plume
- 0401** **Т.Ж. Кадиров, М.М. Чориева, Ф.У. Нигматова, М.А. Мансурова**
етодика получения композиции для защитного олеофобного покрытия в материалах
- 0501** **И.С. Власов, Д.В. Корнюшин, Е.И. Каменева, И.А. Волков**
Термокаталитический газовый сенсор на основе наночастиц палладия, синтезируемыхметодомискроваой абляции

Content

- 0101** **Sh.R. Khurramov, K.K. Turgunov**
Study of the influence of factors on the specific pressure during roller squeezing of the leather
- 0112** **N.U. Annaev, Sh.I. Khurramov**
Experimental study of residual leather moisture
- 0122** **K.Yu. Aliboev, Sh.I. Khurramov**
Contact stresses in a two-roll module squeezing leather
- 0201** **Assiya Shabi**
rojective Capital Asset Pricing Model
- 0214** **XiaYu, Lin Bo, Chen Xin**
Low light combining multiscale deep learning networks and image enhancement algorithm
- 0233** **Chen Jike, Zhao Qian**
Improved plant parenchyma extraction technology using artificial intelligence algorithms
- 0264** **YanYuqi, Liu Xin, Ye Wanting, Xu Jie, Lian Lihua**
Studying electronic blood pressure monitor digital recognition algorithm based on computer vision and design
- 0301** **D. M. Mukhammadiev, F. Kh. Ibragimov, O. Kh. Abzoirov, L. Yu. Zhamolova**
Calculation of the stability of the inter-saw gasket under compression
- 0312** **Sh.R. Khurramov**
Filtration rates in the area of squeezing materials
- 0324** **Bakhtiyorjon Kasimov, Mansurbek Muminov, Akbar Abrorov, Khumoyun Mirzakarimov**
Calculation models for the assessment of deflected mode in the surface layer of parts during surface plastic deformation by running and smoothing
- 0331** **Akbar Abrorov, Matluba Kuvoncheva, Noila Khasanova, Mukhsin Mukhammadov, Khasan Saidov**
Production tests of circular saws after ion-plasma nitriding and laser hardening of a 5DP-130 ginning machine
- 0339** **Safar Khojiev, Shukhrat Yuldoshev and Shamshod Savriev**
On the calculation of a model of a three-dimensional turbulent diffusion plume
- 0401** **T.J. Kadirov, M.M. Chorjeva, F.U. Nigmatova, M.A. Mansurova**
Method of obtaining a composition for a protective oleophobic coating in materials
- 0501** **I. S. Vlasov, D.V. Korniyushin, E. I. Kameneva, I. A. Volkov**
Thermocatalytic gas sensor based on palladium nanoparticles synthesized by spark ablation

УДК: 677.057

 DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0101-0111>

 EDN: [LDYDZF](https://www.edn.net/LDYDZF)


Исследование влияния факторов на удельное давление при валковом отжиме кожи

Ш.Р. Хуррамов, К.К. Тургунов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В работе выполнен анализ влияния факторов на удельное давление при валковом отжиме кожи. В результате экспериментальных исследований определены графики зависимостей и получена математическая модель. Выявлено, что параметр технологического удельного давления на кожу в зоне контакта возрастает с увеличением интенсивности нагрузки, скорости вала и ширины площадки контакта, а также с уменьшением радиуса вала. Найдена аналитическая зависимость остаточной влажности кожи от удельного давления. Установлено, что с ростом удельного давления остаточная влажность кожи уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине.

Ключевые слова: кожа, валковый отжим, удельное давление, ширина площадки контакта.

Для цитирования: Хуррамов, Ш. Р., & Тургунов, К. К. (2022). Исследование влияния факторов на удельное давление при валковом отжиме кожи. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0101–0111. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0101-0111>

Study of the influence of factors on the specific pressure during roller squeezing of the leather

Sh.R. Khurramov, K.K. Turgunov

Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. The effect of factors on the specific pressure in the nip of the module rolls is studied in the article. As a result of experimental studies, the graphs of dependencies were determined and a mathematical model was obtained. It was revealed that the parameter of the technological

specific pressure on the hide in the contact zone increases with an increase in the intensity of the load, the speed of rolls, the width of the contact area, and a decrease in the radius of rolls. An analytical dependence of the residual moisture content of leather on the specific pressure was determined. It was established that with an increase in specific pressure, the residual moisture content of leather decreases and asymptotically approaches a certain value of the function.

Keywords: leather, roll pressing, specific pressure, contact area width.

For citation: Khurramov Sh.R., & Turgunov K.K. (2022). Study of the influence of factors on the specific pressure during roller squeezing of the leather. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0101–0111. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0101-0111>

ВВЕДЕНИЕ

Механическая обработка натуральных кож характеризуется наличием большого количества процессов, выполняемых в валковых машинах. Среди них особую группу составляет валковый отжим кожевенного полуфабриката после дубления (кожи), который является важным для последующих операций двоения и строгания [1,2].

Параметр удельного давления является определяющим для достижения заданного технологического эффекта отжима кожи. Этот параметр характеризуется величиной линейного давления, отнесенной к ширине площадки контакта валков. Поэтому параметры валковых машин сказываются, прежде всего, на величинах ширины площадки контакта валков, а через него на удельном давлении и технологическом эффекте.

Ширина площадки контакта в зависимости параметров валковых машин может быть определена либо теоретически с помощью математического моделирования процесса валкового отжима, либо экспериментально в результате изучения влияния основных параметров валкового отжима кожи на неё.

Математическому моделированию процесса валкового отжима посвящены работы [3-10]. В них на основе моделирования формы кривых контакта валков и закономерности распределения контактных напряжений определены аналитические выражения, описывающие площадку контакта валков и удельное давление.

Работа [11] посвящена экспериментальному исследованию и описанию регрессионной модели ширины площадки контакта. Однако при проектировании отжимных машин для инженерных расчетов требуются более простые зависимости, чем регрессионные. Исходя из этого, в работе поставлена задача на основе результатов

работы [11] выполнить описание ширины площадки контакта и удельного давления с помощью эмпирической функции основных параметров валкового отжима кожи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ранее была экспериментально исследована ширина площадки контакта валкового отжима кожи в зависимости от интенсивности нагрузки Q , радиуса валка R и скорости валка V [11]. Однако, как свидетельствуют авторы работ [1, 12], остаточная влажность при валковом отжиме определяется не линейным давлением (интенсивностью нагрузки), а удельным давлением, которое определяется как отношение линейного давления к длине кривой контакта валка. Поэтому для определения остаточной влажности кожи нужна также зависимость длины контактной линии валка (ширины площадки контакта валка) от основных параметров валкового отжима кожи.

В связи с этим проведем исследование по изучению и разработке экспериментальной модели удельного давления.



Рисунок 1. Вид экспериментальной установки.

Конструкция экспериментальной установки (рисунок 1) позволяет осуществлять замену валка, а также изменять скорости валков и усилия их прижима. Предусмотрены комплекты валков с радиусами 0,050, 0,105 и 0,160 м (после намотки сукна радиусы их соответственно равнялись 0,058, 0,114 и 0,170 м), необходимые усилия прижима осуществлялись пружинно-винтовой системой, скорости валков регулировались реостатом, длина валков составляла 0,12 м.

Исследованию подвергались кожевенные полуфабрикаты крупного рогатого скота после хромового дубления (кожи). Для измерения ширины площадки контакта подготовлена тонкая и узкая лента, пропитанная цветным жидким агентом. Лента прикреплена к лицевой стороне образца кожи. При пропуске образца с лентой через жало валков, лента сжимается и упругое покрытие (сукно) верхнего валка поглощает отделяющихся от нее цветную жидкость. При отделении ленты от верхнего валка на сукне образуются цветной отпечаток (след), путем измерения которой определяется ширина площадки контакта.

Путем исследований области зоны контакта модулей [4, 11] и с учетом опыта эксплуатации валкового отжима кожи установлено, что основными факторами, влияющими на удельное давление, являются: интенсивность нагрузки Q ; радиус валка R ; скорость валка V .

Рабочая матрица составлена по матрице планов К. Кано для трехфакторного эксперимента. После реализации рабочей матрицы получены значения ширины площадки контакта L (таблица 1).

Таблица 1. Значения ширины площадки контакта L .

Рабочая матрица			Ширина площадки контакта, мм
Q	R	V	L_0
40	0,114	0,22	0,0502
65	0,170	0,34	0,0676
65	0,058	0,34	0,0326
15	0,058	0,34	0,0179
15	0,170	0,34	0,0431
65	0,170	0,10	0,0665
65	0,058	0,10	0,0321
15	0,058	0,10	0,0234
15	0,170	0,10	0,0574
65	0,114	0,34	0,0539
40	0,058	0,34	0,0295
15	0,114	0,34	0,0355
65	0,058	0,22	0,0307

15	0,058	0,22	0,0222
15	0,170	0,22	0,0549
65	0,170	0,22	0,0637
40	0,170	0,34	0,0600
65	0,114	0,10	0,0530
40	0,058	0,10	0,0314
15	0,114	0,10	0,0467
40	0,170	0,10	0,0639

Для аппроксимации будем использовать методику, изложенную в работе [12], согласно которой будем принимать степенную зависимость вида

$$L_0 = CQ_1^\alpha R_1^\beta V_1^\gamma, \quad (1)$$

где

$$Q_1 = \frac{Q}{Q_{sr}}, \quad R_1 = \frac{R}{R_{sr}}, \quad V_1 = \frac{V}{V_{sr}}, \quad (2)$$

здесь $Q_{sr} = 40 \text{ кН/м}$, $R_{sr} = 0,114 \text{ м}$, $V_{sr} = 0,22 \text{ м/с}$.

Логарифмирование (1) дает

$$\ln L_0 = \ln C + \alpha \ln Q_1 + \beta \ln R_1 + \gamma \ln V_1. \quad (3)$$

Обозначив $\ln L_0 = Y$, $\ln C = \eta$, $\ln Q_1 = X_1$, $\ln R_1 = X_2$ и $\ln V_1 = X_3$, приведем выражение (2) к линейному виду

$$Y = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 + \eta. \quad (4)$$

Параметры α , β , γ и η находим методом наименьших квадратов, согласно которой, сумма квадратов отклонений ε_i экспериментальных точек от прямой должна быть наименьшей: $F(\alpha, \beta, \gamma, \eta) = \sum_{i=1}^{21} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{21} (Y_i - (\alpha X_{1i} + \beta X_{2i} + \gamma X_{3i} + \eta))^2$ – минимум.

Таким образом, необходимо решить стандартную задачу – найти минимум функции четырех переменных. Тогда имеем

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^{21} 2(Y_i - (\alpha X_{1i} + \beta X_{2i} + \gamma X_{3i} + \eta))(-X_{1i}) = 2 \sum_{i=1}^{21} (\alpha X_{1i}^2 + \beta X_{1i} X_{2i} + \gamma X_{1i} X_{3i} + \eta X_{1i} - X_{1i} Y_i) = 0.$$

Откуда имеем

$$\alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i}^2 + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} = \sum_{i=1}^{21} X_{1i} Y_i.$$

Определив аналогично, $\frac{\partial F}{\partial \beta}$, $\frac{\partial F}{\partial \gamma}$ и $\frac{\partial F}{\partial \eta}$, получаем систему уравнений

$$\begin{cases} \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i}^2 + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} = \sum_{i=1}^{21} X_{1i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i}^2 + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{2i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} = \sum_{i=1}^{21} X_{2i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} X_{3i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{3i}^2 + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{3i} = \sum_{i=1}^{21} X_{3i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{3i} + 21\eta = \sum_{i=1}^{21} Y_i. \end{cases} \quad (5)$$

После подстановки всех сумм, имеем

$$\begin{cases} 9,582\alpha + 0,410\beta + 0,526\gamma - 3,963\eta = 14,549, \\ 0,410\alpha + 4,925\beta + 0,293\gamma - 2,207\eta = 10,489, \\ 0,526\alpha + 0,293\beta + 6,507\gamma - 2,832\eta = 8,446, \\ -3,963\alpha - 2,207\beta - 2,832\gamma + 21\eta = -66,794. \end{cases} \quad (6)$$

Система (6) имеет решение: $\alpha = 0,221$, $\beta = 0,740$, $\gamma = -0,09$, $\eta = -3,074$. Отсюда, имеем $C = e^\eta = e^{-3,074} = 0,046$.

В процессы экспериментального исследования получили $L_{occ} = 0,0457$. Это суммарная ширина площадки контакта. С учетом этого из выражения (1) можно получить следующие зависимости

$$L_1 = Q_1^{0,221} R_1^{0,74} V_1^{-0,09} \quad (7)$$

или с учетом выражений (2)

$$L = 0,089Q^{0,221} R^{0,74} V^{-0,09}. \quad (8)$$

Оценим теперь точность аппроксимации опытных данных полученной формулой [13]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{0,037}{19}} = 0,044, \quad v = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,044}{\sqrt{21}} = 0,01.$$

Как видно, точность аппроксимации опытных данных формулой (7) более чем удовлетворительна.

Известно [12], что

$$P = \frac{Q}{L}, \quad (9)$$

где P – удельное давление.

Тогда с учетом выражения (8), получим

$$P = 11,23Q^{0,779} R^{-0,74} V^{0,09}, \quad (10)$$

$$P = 56603.32L^{3.52}R^{-3.35}V^{0.41}. \quad (11)$$

На рисунках 2-5 приведены графические интерпретации формулы (10) и (11).

В работе [2] были определены аналитические зависимости, описывающие остаточную влажность кожи от факторов двухвалкового модуля:

$$W = 92,58Q^{-0,077}D^{0,046}V^{0,074}. \quad (12)$$

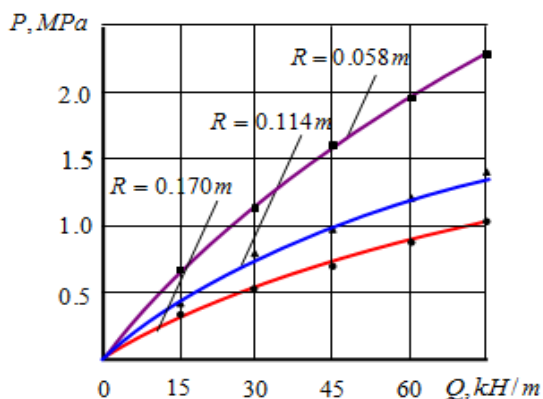


Рисунок 2. Зависимость удельного давления от линейного давления.

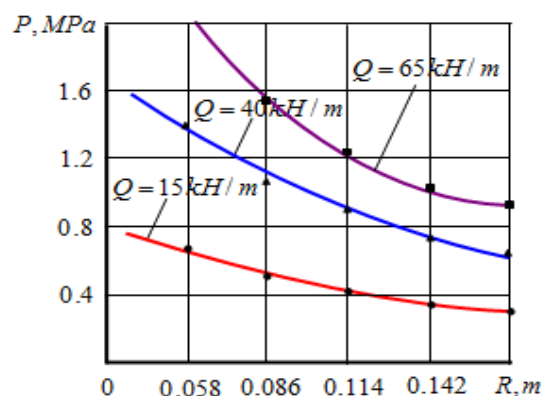


Рисунок 3. Зависимость удельного давления от радиуса валка.

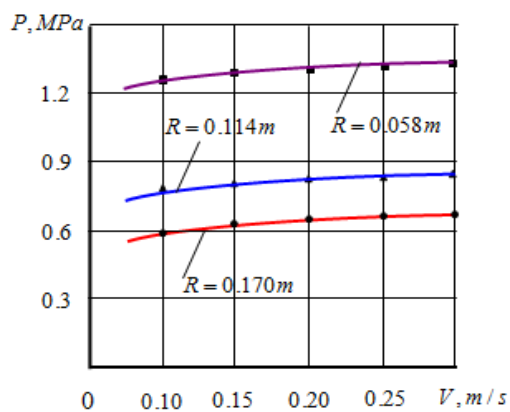


Рисунок 4. Зависимость удельного давления от скорости валков.

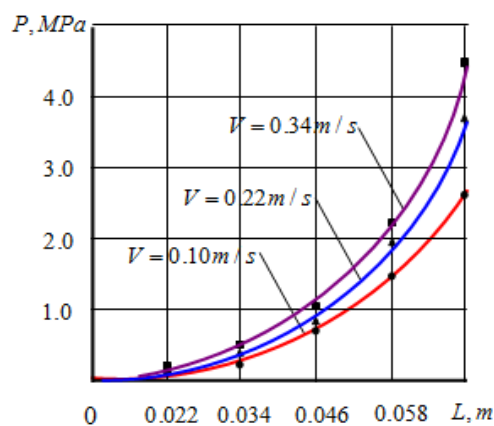


Рисунок 5. Зависимость удельного Давления от ширины площадки контакта.

Из равенства (12) при значениях $D = 0,22$ м и $v = 0,19$ м/с, имеем

$$W = 119,05P^{-0,1}. \quad (13)$$

Из рисунка 6 следует, что с ростом удельного давления остаточная влажность кожи уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине (например, при значениях $R = 0,22$ м $v = 0,18$ м/с к величине $W = 57\%$).

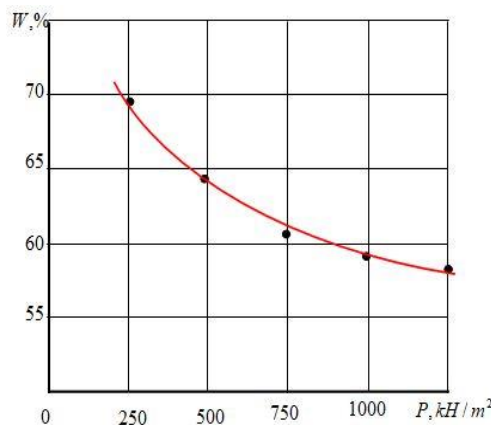


Рисунок 6. Зависимость остаточной влажности кожи от удельного давления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Получена эмпирическая зависимость, описывающая удельное давление как степенную функцию интенсивности нагрузки, диаметра и скорости вала.
2. Найдена аналитическая зависимость остаточной влажности кожи от удельного давления.

ВЫВОДЫ

Экспериментальным исследованием установлено, что

- с увеличением интенсивности нагрузки ширина площадки контакта увеличивается и приближается к некоторой величине;
- при больших значениях интенсивности нагрузки и диаметров валков, зависимость ширины площадки контакта от скорости валков характеризуется линейной функцией;
- при меньших интенсивностях нагрузки с увеличением скорости валков ширина площадки контакта уменьшается, а при больших, наоборот, увеличивается;
- с увеличением интенсивности нагрузки, скорости вала и ширины площадки контакта удельное давление увеличивается;

- увеличение радиуса валка приводит к уменьшению удельного давления;
- остаточная влажность кожи уменьшается и асимптотически приближается к определенной величине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производства кожи и меха. М.: Колос; 2006. 384.
- [2] Khurramov Sh. R., Khalturaev F.S., Buriev E.S. Residual moisture content in semi-finished leather under roller pressing. AIP Conference Proceedings. 2021; 2402: 030038.
- [3] Khurramov Sh.R., Bahadirov G.A. To the solution problems of contact interaction in a two-roll module. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042029.
- [4] McDonald D., Kerekes R.J., Zhao J., Perspectives on deriving mathematical models in pulp and paper science. BioResources. 2020; 15: 7319-7329.
- [5] Кузнецов В.А., Петров Н.А., Кортюченко В.М. Физическая модель процесса отжима ткани. Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1984; 3: 102-105.
- [6] Khurramov Sh.R. On the issues modeling the roll contact curves. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042036.
- [7] Паршуков В.Е., Маринин А.Н., Константинова Е.Р., Петрова И.В., Фомин Ю.Г. Влияние технологических факторов на степень отжима влаги из ткани. Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2011; 4(333): 124-127.
- [8] Bezanovic D., Duin C. J., Kaasschieter E.F. Analysis of wet pressing of paper: The three-phase model, Part II: Compressible air case. Transport in Porous Media. 2007; 67: 171-187.
- [9] Iliev O., Printsypar G., Rief S. On mathematical modeling and simulation of the pressing section of a paper machine including dynamic capillary effects: One-dimensional model. Transport in Porous Media. 2012; 92: 41-59.
- [10] McDonald D, Kerekes R.J. Estimating limits of wet pressing on paper machines. Tappi Journal. 2017; 16(2): 81-87.
- [11] Kurbanova F, Turgunov, Abdusalikova D. Influence of the parameters of the roll module on the width of the contact area. AIP Conf. Proceedings. 2021; 2402: 030041.
- [12] Новиков Н.Е. Прессование бумажного полотна. М.: Лесная промышленность; 1972. 242.
- [13] Лавров В.В., Спирин Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГПУ-УПИ; 2004. 257.

REFERENCES

- [1] Burmistrov A.G. Mashiny i apparaty proizvodstva kozhi i mekha. M.: Kolos; 2006. 384.
- [2] Khurramov Sh. R., Khalturaev F.S., Buriev E.S. Residual moisture content in semi-finished leather under roller pressing. AIP Conference Proceedings. 2021; 2402: 030038.
- [3] Khurramov Sh.R., Bahadirov G.A. To the solution problems of contact interaction in a two-roll module. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042029.
- [4] McDonald D., Kerekes R.J., Zhao J., Perspectives on deriving mathematical models in pulp and paper science. BioResources. 2020; 15: 7319-7329.
- [5] Kuznecov V.A., Petrov N.A., Kortovenko V.M. Fizicheskaya model' processa otzhima tkani. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 1984; 3: 102-105.
- [6] Khurramov Sh.R. On the issues modeling the roll contact curves. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042036.
- [7] Parshukov V.E., Marinin A.N., Konstantinova E.R., Petrova I.V., Fomin YU.G. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na stepen' otzhima vlagi iz tkani. Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2011; 4(333): 124-127.
- [8] Bezanovic D., Duin C. J., Kaasschieter E.F. Analysis of wet pressing of paper: The three-phase model, Part II: Compressible air case. Transport in Porous Media. 2007; 67: 171-187.
- [9] Iliev O., Printsypar G., Rief S. On mathematical modeling and simulation of the pressing section of a paper machine including dynamic capillary effects: One-dimensional model. Transport in Porous Media. 2012; 92: 41-59.
- [10] McDonald D, Kerekes R.J. Estimating limits of wet pressing on paper machines. Tappi Journal. 2017; 16(2): 81-87.
- [11] Kurbanova F, Turgunov, Abduxalikova D. Influence of the parameters of the roll module on the width of the contact area. AIP Conf. Proceedings. 2021; 2402: 030041.
- [12] Novikov N.E. Pressovanie bumazhnogo polotna. M.: Lesnaya promyshlennost'; 1972. 242.
- [13] Lavrov V.V., Spirin N.A. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhenerenogo eksperimenta. Ekaterinburg: GOU VPO UGPU-UI; 2004. 257.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич,
доктор технических наук, профессор,
Ташкентский архитектурно-строительный
институт, Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

Shavkat Khurramov, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Tashkent Institute of
Architecture and Civil Engineering, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

Тургунов Комил Курбаналиевич, старший
преподаватель, Ташкентский архитектурно-
строительный институт, Ташкент,
Республика Узбекистан
e-mail: komilturgunov@mail.ru

Komil Turgunov, Senior Lecturer, Tashkent
Institute of Architecture and Civil Engineering,
Tashkent, Republic of Uzbekistan
e-mail: komilturgunov@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 22.10.2022; принята
к публикации 28.10.2022.*

*The article was submitted 07.10.2022; approved after reviewing 22.10.2022; accepted for publication
28.10.2022.*

УДК: 677.057

EDN: [EIHTKI](https://www.edn.net/EIHTKI)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0112-0121>



Экспериментальное исследование остаточной влажности кожи

Н.У. Аннаев, Ш.И. Хуррамов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Работа посвящена к экспериментальному исследованию остаточной влажности кожи в процессе валкового отжима. Получены регрессионные и эмпирические модели остаточной влажности кожи. Установлено, что с уменьшением радиуса и скорости вала и увеличением интенсивности нагрузки уменьшается остаточная влажность кожи. Выявлено, что лучший эффект интенсивности нагрузки наблюдается в отжимных машинах с маленькими радиусами и скоростями.

Ключевые слова: валковый отжим кожи, остаточная влажность, интенсивность нагрузки, диаметр вала, скорость вала.

Для цитирования: Аннаев, Н. У. & Хуррамов, Ш. И. (2022). Экспериментальное исследование остаточной влажности кожи. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0112–0121. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0112-0121>

Experimental study of residual leather moisture

N.U. Annaev, Sh.I. Khurramov

Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. The work is devoted to the experimental study of the residual moisture content of the leather in the process of roller squeezing. Regression and empirical models of residual leather moisture have been obtained. It has been established that with a decrease in the radius and speed of the roll, and an increase in the intensity of the load, the residual moisture of the skin decreases. It was found that the best effect of load intensity is observed in squeezing machines with small radii and speeds.

Key words: roller squeezing of leather, residual moisture, load intensity, roll diameter, roll speed.

For citation: Annaev N.U. & Khurramov Sh. I. (2022). Experimental study of residual leather moisture. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0112–0121. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0112-0121>

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей процесса валкового отжима кожевенного полуфабриката после хромового дубления (кожи) является обеспечение требуемой технологическим процессом остаточной влажности. Поэтому при валковом отжиме кожи одной из основных задач является определение аналитической зависимости остаточной влажности от основных параметров процесса валкового отжима, то есть необходимо моделирование остаточной влажности кожи.

В теории валкового отжима кожи исследования по моделированию остаточной влажности отжимаемого материала проводятся в трех направлениях. Первое – экспериментальное, строится на основе опытных данных с применением методов математической статистики и планирования эксперимента, результаты получаются в виде эмпирических или регрессионных зависимостей. Второе – экспериментально-теоретическое, строится путем теоретических исследований на основе экспериментально полученных эмпирических зависимостей. Третье – теоретическое, строится на основе теоретических исследований путем изучения гидравлических явлений, происходящих в зоне контакта валков с отжимаемым материалом.

Работы [1-3] посвящены экспериментальному исследованию и описанию регрессионной модели остаточной влажности кожевенного полуфабриката с вертикальной подачей.

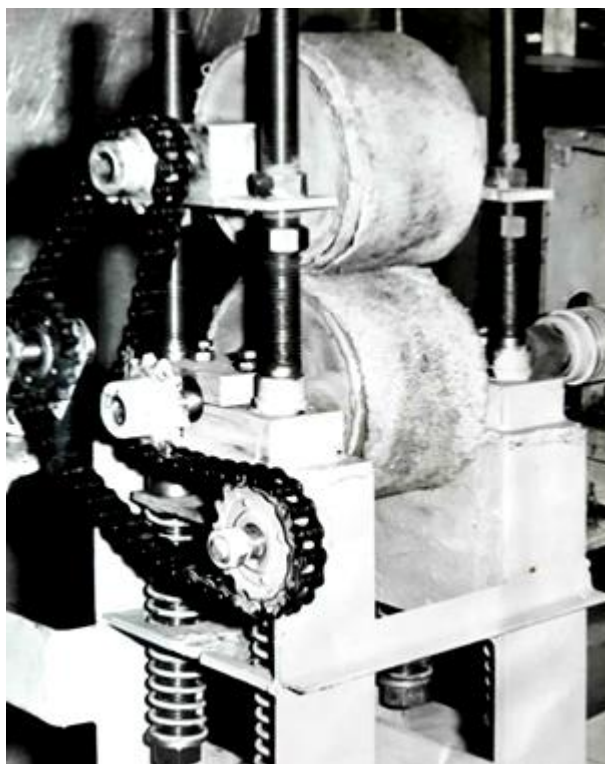
Данная работа посвящена экспериментальному исследованию и моделированию остаточной влажности кожи с горизонтальной подачей.

МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводились на специально спроектированной и изготовленной установке (рис. 1).

Для выполнения экспериментальных работ предусмотрен комплект валков с различными диаметрами. Конструкция установки позволяет заменять валки, а также изменять скорость вращения валков и усилия их прижима. Были изготовлены валки с диаметрами 0,1, 0,21 и 0,326 м. После намотки, диаметры валков равнялись 0,116, 0,228 и 0,340 м. Длина валков во всех случаях составляла 0,12 м. Скорости

вращения валков регулируются с помощью реостатов и измеряются тахометром часового типа. Диапазон изменения интенсивности нагрузки $15\text{--}65\text{ кН/м}$.



Необходимое давление валков создавалось собственным весом верхнего валка и усилием дополнительного прижима, осуществляемым с помощью пружинно-винтовой системы.

Рисунок 1. Вид экспериментальной установки.

Figure 1. View of the experimental setup.

Для определения остаточной влажности в каждом отжатом образце кожи проводили пять замеров процентного содержания влаги по углам и середине образца. Средняя арифметическая величина этих замеров составляла остаточную влажность образца. При измерении влажности применяли сушильный шкаф СНОЛ -2,5; весы типа ВЛР-200 с точностью измерения $0,01\text{ мг}$, эксикаторы, бюксы.

Исследованию подвергались кожевенные полуфабрикаты крупного рогатого скота после хромового дубления. Образцы вырезали из кожевенных полуфабрикатов шириной $0,2\text{ м}$ и требуемой длиной в зависимости от вида опытов. Укомплектовали образцы с целью исключения влияния топографических различий в группы по методу асимметрической бахромы.

В качестве функции отклика принимали $W_{ост}$, которая полностью отвечает требованиям, предъявляемым к функциям отклика при планировании эксперимента [4].

На основе поисковых экспериментов было принято решение проводить экспериментальное исследование методом D-оптимального планирования второго порядка с использованием матрицы планирования К. Кано.

На основе априорной информации $W_{ост}$ исследование проводилось с учетом трех факторов: x_1 — интенсивность нагрузки Q , $кН/м$; x_2 — диаметр валка D , $м$; x_3 — скорость валка V , $м/с$.

Выбраны следующие диапазоны изменения факторов: интенсивность нагрузки — $15 \div 65$ $кН/м$; — диаметр валка — $0,116, 0,228, 0,340$ $м$; скорость валка — $0,10 \div 0,34$ $м/с$.

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов.

Table 1. Levels and intervals of factor variation.

Фактор	Уровень варьирования			Интервал вариации
	-	0	+	
$Q, кН/м$	15	40	65	25
Q_1	0,375	1,000	1,625	0,625
$D, м$	0,116	0,228	0,340	0,112
D_1	0,509	1,000	1,491	0,491
$V, м/с$	0,10	0,22	0,34	0,12
V_1	0,454	1,000	1,546	0,546

Функция цели аппроксимирована полиномом

$$y_0 = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} — коэффициенты регрессии.

После реализации рабочей матрицы получено среднее арифметическое значение $\overline{W_{ост}}$ (таблица 2).

Однородность дисперсий оценена критерием Фишера [4] при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{S_{\text{min}}^2}, S_{\text{max}}^2 = 18,485; f_{17} = 5; S_{\text{min}}^2 = 3,125; f_6 = 4; F_{\text{расч}} = 5,92.$$

Табличные значения критерия Фишера при $f_{\text{max}} = 5$ и $f_{\text{min}} = 4$ равны $F_{\text{табл}} = 6,26$ [4].

Таким образом, все дисперсии для W и N при $\alpha = 0,95$ можно считать однородным, так как $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$.

Таблица 2. Результаты экспериментального исследования.

Table 2. Results of the pilot study.

Рабочая матрица			Остаточная влажность		$\varepsilon_i^2 = \left(\frac{\bar{W}_0 - W_0}{\bar{W}_0} \right)^2$
Q_1	R_1	V_1	W_0	$\bar{W}_0$	
1,000	1,000	1,000	57,93	57,13	0,0002
1,625	1,491	1,546	58,64	57,89	0,0001
1,625	0,509	1,546	56,32	55,10	0,0005
0,375	0,509	1,546	60,59	61,77	0,0004
0,375	1,491	1,546	62,09	64,90	0,0019
1,625	1,491	0,454	52,31	52,81	0,0000
1,625	0,509	0,454	43,51	50,26	0,0241
0,375	0,509	0,454	58,47	56,35	0,0000
0,375	1,491	0,454	60,24	59,20	0,0000
1,625	1,000	1,546	57,18	56,83	0,0000
1,000	0,509	1,546	59,63	57,22	0,0000
0,375	1,000	1,546	59,80	63,72	0,0043
1,625	0,509	1,000	54,13	53,32	0,0002
0,375	0,509	1,000	61,10	59,79	0,0000
0,375	1,491	1,000	61,17	62,82	0,0007
1,625	1,491	1,000	58,43	56,03	0,0017
1,000	1,491	1,546	59,38	60,12	0,0002
1,625	1,000	0,454	51,06	51,84	0,0002
1,000	0,509	0,454	53,52	52,20	0,0006
0,375	1,000	0,454	59,31	58,13	0,0000
1,000	1,491	0,454	57,26	54,84	0,0018
$\sum_{i=1}^{21}$			1202,07	1202,27	0,0370

После определения и исключения независимых коэффициентов регрессии плана К. Кано [4] получены уравнения:

$$\hat{W}_{\text{ост}} = 58,03 - 0,718x_1^2 - 1,442x_3^2 + 0,529x_1x_2 + 1,705x_1x_3 - 3,431x_1 + 0,776x_2 + 2,481x_3. \quad (2)$$

Гипотезу об адекватности найденных уравнений проверили с помощью критерия Фишера [4] при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_1^N n(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - \frac{(k+1)(k+2)}{2}}; \quad S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_1^N S_i^2 f_i}{\sum_1^N S_i},$$

$$S_{\text{ад}}^2 = 16,577; \quad S_{\{y\}}^2 = 11,434; \quad F_{\text{расч}} = 1,45; \quad f_{\text{ад}} = 11; \quad f_{\{y\}} = 91;$$

Табличные значения критерия Фишера при $f_{\text{max}} = 90$ и $f_{\text{min}} = 91$ и $f_{\text{min}} = 11$ равны $F_{\text{табл}} = 1,85$ [4]. Таким образом, уравнение (2) можно считать пригодным с 95%-ной доверительной вероятностью ($F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$).

После раскодирования уравнения (2) получим

$$W_{\text{ост}} = 57,57 - 0,0011Q^2 - 100,4V^2 + 0,377QD + 0,568QV - 0,256Q + 12,5D + 42V. \quad (3)$$

При проектировании отжимных машин для инженерных расчетов требуются более простые зависимости. Исходя из этого, зависимости остаточной влажности от основных параметров отжима аппроксимируем степенной функцией.

Согласно методике, изложенной в работе [6], будем принимать степенную зависимость вида

$$W_o = CQ_1^\alpha D_1^\beta V_1^\gamma, \quad (4)$$

где

$$Q_1 = \frac{Q}{Q_{\text{cp}}}, \quad D_1 = \frac{D}{D_{\text{cp}}}, \quad V_1 = \frac{V}{V_{\text{cp}}}. \quad (5)$$

Логарифмирование (4) дает

$$\ln W = \ln C + \alpha \ln Q_1 + \beta \ln D_1 + \gamma \ln V_1. \quad (6)$$

Обозначив $\ln W = Y$, $\ln C = \eta$, $\ln Q_1 = X_1$, $\ln D_1 = X_2$ и $\ln V_1 = X_3$, приведем выражение (6) к линейному виду

$$Y = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 + \eta. \quad (7)$$

Параметры α , β , γ и η находим методом наименьших квадратов, согласно которой, сумма квадратов отклонений ε_i экспериментальных точек от прямой должен быть

наименьшей, то есть $F(\alpha, \beta, \gamma, \eta) = \sum_{i=1}^{21} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{21} (Y_i - (\alpha X_{1i} + \beta X_{2i} + \gamma X_{3i} + \eta))^2$ – минимум.

Тогда имеем:

$$\begin{cases} \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i}^2 + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{1i} = \sum_{i=1}^{21} X_{1i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{2i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i}^2 + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{2i} X_{3i} + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} = \sum_{i=1}^{21} X_{2i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} X_{3i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} X_{3i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{3i}^2 + \eta \sum_{i=1}^{21} X_{3i} = \sum_{i=1}^{21} X_{3i} Y_i, \\ \alpha \sum_{i=1}^{21} X_{1i} + \beta \sum_{i=1}^{21} X_{2i} + \gamma \sum_{i=1}^{21} X_{3i} + 21\eta = \sum_{i=1}^{21} Y_i. \end{cases} \quad (8)$$

После подстановки все суммы, получаем

$$\begin{cases} 9,582\alpha + 0,410\beta + 0,526\gamma - 3,963\eta = -16,715, \\ 0,410\alpha + 4,925\beta + 0,293\gamma - 2,207\eta = -8,711, \\ 0,526\alpha + 0,293\beta + 6,507\gamma - 2,832\eta = -10,999, \\ -3,963\alpha - 2,207\beta - 2,832\gamma + 21\eta = 84,948. \end{cases} \quad (9)$$

Система (6) имеет решение: $\alpha = -0,078$; $\beta = 0,046$; $\gamma = 0,074$; $\eta = 4,0454$.

Отсюда, находим $C = e^\eta = e^{4,0454} = 57,63$.

Таким образом, формула (4) будет иметь вид

$$W = 58,98Q_1^{-0,077} D_1^{0,046} V_1^{0,074}. \quad (10)$$

Вычисленные по формуле (10) значения остаточной влажности $\bar{W}_0$ приведены в таблице 2.

Определяем среднее квадратичное отклонение [5] $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{0,0370}{19}} = 0,0441$ и

коэффициент вариации $v = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,0441}{\sqrt{21}} = 0,0096$

Как видно, точность аппроксимации опытных данных формулой (7) более чем удовлетворительна.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из графы 4 таблицы 2 следует, что сумма остаточных влажностей в процессе экспериментального исследования равна 1202,07%. Отсюда, имеем $W_{\text{ост}} = 57,25\%$. С учетом этого из выражения (10) можно получить следующие зависимости

$$W_1 = 0,97Q_1^{-0,077}D_1^{0,046}V_1^{0,074}, \quad (11)$$

$$W = 92,58Q^{-0,077}D^{0,046}V^{0,074}. \quad (12)$$

На рис. 2- 4 приведены графические интерпретации формулы (12).

ВЫВОДЫ

1. Разработаны регрессионные и эмпирические математические модели остаточной влажности кожи при валковом отжиме.

2. Из анализа расчетных данных и графиков (рисунки 2-4) выявлено следующее:

- с увеличением интенсивности нагрузки остаточная влажность кожи уменьшается;
- при прочих равных условиях функцию остаточной влажности от радиуса вала $W_{\text{ост}}(R)$ можно считать линейно-возрастающей;
- при прочих постоянных параметрах с увеличением скорости вала остаточная влажность увеличивается и асимптотически приближается к определенной величине (например, при $Q = 15 \text{ кН/м}$, $R = 0,058 \text{ м}$ значение W приближается к 60,8%).

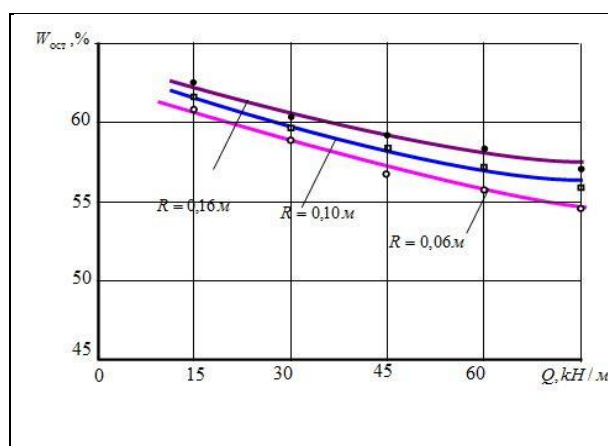


Рисунок 2. Зависимость остаточной влажности кожевенного полуфабриката от интенсивности

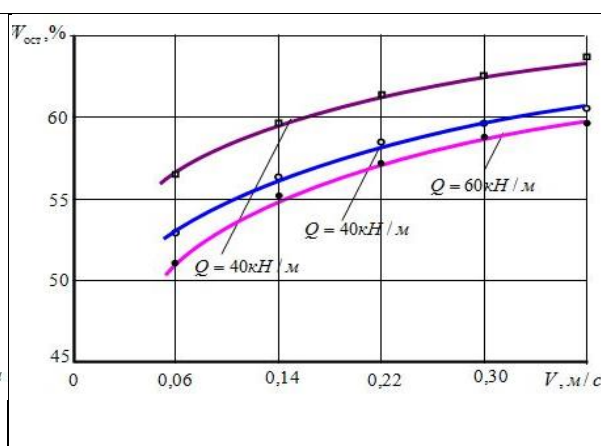


Рисунок 3. Зависимость остаточной влажности кожевенного полуфабриката

нагрузки $Q, kH/m$, когда $V = 0,20 м/с$.

Figure 2. Residual moisture content of leather semi-finished product from intensity load $Q, kH/m$ when $V = 0,20 м/с$.

от скорости вала $V, м/с$, когда $R = 0,10 м$.

Figure 3. Dependence of the residual moisture content of the semi-finished product on the roll speed $V, м/с$ when $R = 0,10 м$.

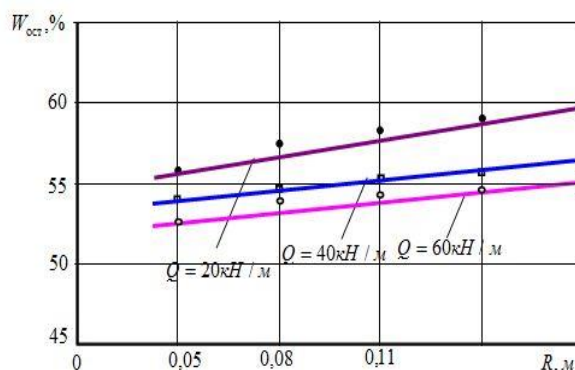


Рисунок 4. Зависимость остаточной влажности кожевенного полуфабриката от радиуса вала $R, м$, когда $V = 0,10 м/с$.

Figure 4. Dependence of the residual moisture content of the leather semi-finished product from the roll radius $R, м$, when $V = 0,10 м/с$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аманов Т.Ю., Цой Г.Н. Экспериментальное исследование отжима влаги из двухслойного пакета кожевенного полуфабриката с вертикальной подачей. Узбекский журнал. Проблемы механики. 2012; 3: 45-48.
- [2] Аманов Т.Ю., Баубеков С.Д., Цой Г.Н., Набиев А.М. Устройство для обеспечения усилия прижима между рабочими органами валковых технологических машин. Современные наукоемкие технологии. 2018; 9: 9-14.
- [3] Bahadirov G., Tsoy G.N., Nabiev A., Umarov A. Exsperiments on moisture squeezing from a leather semi-finished product. International journal of recent technology and engineering. 2020; 8(5): 3367-3371.
- [4] Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности). М.: Легкая индустрия. 1974. 262.
- [5] Лавров В.В., Спирин Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург. 2004. 257.
- [6] Новиков Н.Е. Прессование бумажного полотна. М.: Лесная промышленность. 1972. 242.

REFERENCES

- [1] Amanov T.YU., Coj G.N. Eksperimental'noe issledovanie otzhima vlagi iz dvuhslojnogo paketa kozhevennogo polufabrikata s vertikal'noj podachej. Uzbekskij zhurnal. Problemy mekhaniki. 2012; 3: 45-48.
- [2] Amanov T.YU., Baubekov S.D., Coj G.N., Nabiev A.M. Ustrojstvo dlya obespecheniya usiliya prizhima mezhdru rabochimi organami valkovykh tekhnologicheskikh mashin. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2018; 9: 9-14.
- [3] Bahadirov G., Tsoy G.N., Nabiev A., Umarov A. Exsperiments on moisture squeezing from a leather semi-finished product. International journal of recent technology and engineering. 2020; 8(5): 3367-3371.
- [4] Tihomirov V.B. Planirovanie i analiz eksperimenta (pri povedenii issledovanij v legkoj i tekstil'noj promyshlennosti). M.: Legkaya industriya. 1974. 262.
- [5] Lavrov V.V., Spirin N.A. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhenernogo eksperimenta. Ekaterinburg 2004. 257.
- [6] Novikov N.E. Pressovanie bumazhnogo polotna. M.: Lesnaya promyshlennost'. 1972. 242.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Аннаев Нуриддин Узокович,
старший преподаватель, Ташкентский
архитектурно-строительный институт,
Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: nuriddin.annayev.91@mail.ru

Nuriddin U. Annaev, Senior Lecturer,
Tashkent Institute of Architecture and Civil
Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan
e-mail: nuriddin.annayev.91@mail.ru

Хуррамов Шухрат Исакович,
преподаватель, Ташкентский университет
прикладных наук,
Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: khurramov86sh@gmail.com

Shukhrat I. Khurramov, teacher, Tashkent
Universty of Applied Sciences, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
e-mail: khurramov86sh@gmail.com

Статья поступила в редакцию 03.11.2022; одобрена после рецензирования 17.11.2022; принята к публикации 19.11.2022.

The article was submitted 03.11.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 19.11.2022.

УДК: 677.057

EDN: [RSUNMR](https://www.edn.net/RSUNMR)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0122-0130>



Контактные напряжения в двухвалковом модуле отжима кожи

К. Ю. Алибоев, Ш. И. Хуррамов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования контактных напряжений в двухвалковом модуле отжима кожи. Получены модели распределения контактных напряжений по кривым контакта валков. Найдены выражения угла, определяющие точку максимума нормального напряжения и нейтрального угла в двухвалковом модуле. Выявлено, что точка максимума эпюр нормальных контактных напряжений смещена в сторону начала контакта валков и не совпадает с нейтральной точкой, которая в приводном валке находится на стороне входа слоя материала в зону контакта валков, а в свободном – на стороне выхода.

Ключевые слова: двухвалковый модуль, отжим кожи, нормальные напряжения, касательные напряжения, распределения контактных напряжений.

Для цитирования: Алибоев, К. Ю., & Хуррамов, Ш. И. (2022). Контактные напряжения в двухвалковом модуле отжима кожи. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0122–0130. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0122-0130>

Contact stresses in a two-roll module squeezing leather

K. Yu. Aliboev, Sh. I. Khurramov

Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. The article presents the results of modeling contact stresses in a two-roll module squeezing leather. Models of distribution of contact stresses along the contact curves of rolls are obtained. An expression for the angle is found that determines the point of maximum normal stress and neutral angle in a two-roll module. It was revealed that the point of maximum diagrams of normal contact stresses towards the beginning of the contact of the rolls and does not coincide with the neutral point, which in the drive roll is located in the direction of the entry of the material layer into the contact zone of the rolls, and in the free - in the exit side.

Key words: two-roll module, squeezing of leather, normal stresses, shear stresses, contact stress distributions.

For citation: Aliboev K. Yu. & Khurramov Sh. I. (2022). Contact stresses in a two-roll module squeezing leather. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0122–0130. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0122-0130>

ВВЕДЕНИЕ

Основным рабочим органом валковых машин для отжима кожевенного полуфабриката является пара рабочих валков с эластичным покрытием (сукном). Пара рабочих валков (валковая пара) и слой кожевенного полуфабриката после дубления (слой кожи) вместе создадут двухвалковый модуль отжима кожи.

В двухвалковом модуле отжима кожи наблюдается одновременное происхождение двух явлений – контактное взаимодействия и фильтрация влаги. В рамках теории валкового отжима кожи данные явления требуют совместного решения двух типа задач, к которым относятся контактные задачи и гидравлические задачи соответственно.

Центральной задачей теории контактного взаимодействия в двухвалковом модуле отжима кожи является моделирование законов распределения нормальных и касательных контактных напряжений.

Решения контактных задач в двухвалковом модуле кожи определяются в первую очередь деформационными свойствами кожи и свойствами покрытия валков, то есть процессом деформирования контактирующих тел двухвалкового модуля [1].

Согласно исследованию [2], деформационные свойства кожи (кожевенного полуфабриката после хромового дубления) при сжатии и восстановлении деформации описываются реологическими моделями Кельвина-Фойгта.

$$\sigma_j^* = E_j \varepsilon_i^* + \mu_j \frac{d\varepsilon_i^*}{dt}, \quad (1)$$

где $\sigma_j^*, \varepsilon_j^*, E_j, \mu_j$ – напряжения, деформация, модули упругости и вязкости кожи при сжатии ($j = 1$) и восстановлении деформации ($j = 2$).

Анализ литературы [3, 4] показал, что деформационные свойства материалов, таких как шерсть и техническое сукно, используемые для покрытия валков двухвалковых модулей отжима кожи, также описываются реологическими моделями Кельвина-Фойгта

$$\sigma_j = E_j \varepsilon_j + \mu_j \frac{d\varepsilon_j}{dt}, \quad (2)$$

где $\sigma_j, \varepsilon_j, E_j, \mu_j$, напряжения, деформация, модули упругости и вязкости покрытия валков при сжатии и восстановлении.

МЕТОДЫ

Анализ кожевенных валковых отжимных машин [5], показал, что двухвалковые модули отжима кожи в основном имеют симметричный вид.

Рассматриваем двухвалковый модуль отжима кожи, в котором валки с радиусами R имеют эластичное покрытие из сукна с толщиной H , толщина кожи равно δ_1 , расстояния между валками равно h , оба валка приводные (рис. 1).

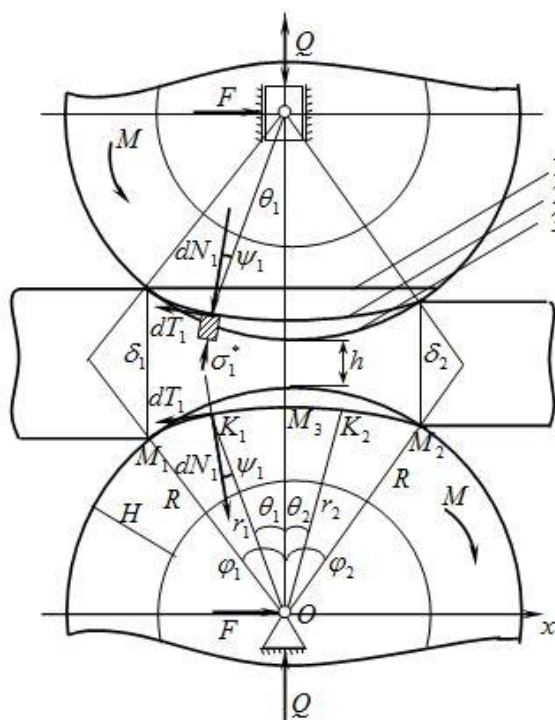


Рисунок 1. Схема взаимодействия в двухвалковом модуле отжима кожи
Figure 1. Scheme of interaction in a two-roll module for pressing the skin

Так как рассматриваемый двухвалковый модуль симметричный, будем исследовать контактное взаимодействие кожи с любым, например, с нижним валком.

Кривая контакта нижнего валка (кривая M_1M_2) состоит из двух зон M_1M_3 и M_3M_2 . В зоне M_1M_3 происходит сжатие кожи и покрытия валка, а M_3M_2 – восстановление деформации.

В разработке моделей распределения контактных напряжений основными факторами модели являются напряжения трения валков и формы кривых контакта валков, которые описываются следующими системами уравнений:

- модели формы кривых контакта валков [6]

$$\begin{cases} r_1 = \frac{R}{1+k_1\lambda_1} \left(1 + k_1\lambda_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right), & -\varphi_1 \leq \theta_1 \leq 0, \\ r_2 = \frac{R}{1+k_2\lambda_2} \left(1 + k_2\lambda_2 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} \right), & 0 \leq \theta_2 \leq \varphi_2, \end{cases} \quad (3)$$

где $k_1 = \frac{2H \cos \varphi_1}{\delta_1}$, $k_2 = \frac{2H \cos \varphi_2}{\delta_2}$. λ_1, λ_2 – показатель, определяющий соотношение скоростей деформирования покрытия валка и кожи при сжатии и восстановлении деформации;

- модели напряжений трения [1]

$$\begin{cases} t_1 = \operatorname{tg}(\theta_1 - \psi_1 + \xi)n_1, \\ t_2 = \operatorname{tg}(\theta_2 - \psi_2 + \xi)n_2, \end{cases} \quad (4)$$

где $\psi_j = \operatorname{arctg} \frac{r'_j}{r_j}$, $\xi = \operatorname{arctg} \frac{F}{Q}$, F – проекции горизонтальной реакции валка на ось Ox ,

Q – проекции силы давления прижимного устройства и сила тяжести валка на ось Oy .

В зоне сжатия нижнего валка выделим элемент длиной dl_1 , направленный по линии $n-n$, по которой происходит деформация контактирующих тел. На выделенный элемент покрытия валка действуют со стороны слоя материала элементарные нормальная dN_1 и касательная dT_1 силы и реакция отсеченных частей покрытия валка.

Составляющие силы dN_1 и dT_1 по направлению $n-n$ уравниваются силой $\sigma_1 dl_1$ (рис. 1):

$$\sigma_1 dl_1 - dN_1 \cos 0^\circ - dT_1 \sin 0^\circ = 0$$

или

$$\sigma_1 = n_1, \quad (5)$$

где σ_1 – напряжение сжатия покрытия валка в направлении $n-n$, n_1 – нормальные напряжения, распределенные по зонам сжатия кривого контакта нижнего валка.

В каждой точке зоны сжатия выполняется условие

$$n_1 = \sigma_1'^*, \quad (6)$$

где $\sigma_1'^*$ – напряжения сжатия обрабатываемого материала в направлении $n-n$.

Известно [1], что

$$\varepsilon_1^* = A_1 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right), \quad A_1 = \frac{2R \sin \varphi_1}{(1 + \lambda_1) \delta_1 \sin \varphi_1}. \quad (7)$$

Отсюда имеем

$$\frac{d\varepsilon_1^*}{dt} = -A_1 \omega \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \operatorname{tg} \theta_1. \quad (8)$$

С учетом выражений (7) и (8) из формулы (2) находим

$$\sigma_1^* = A_1 \left(E_1 \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \right) - \mu_1 \omega \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} \operatorname{tg} \theta_1 \right).$$

В этом равенстве σ_1^* отражает напряжение сжатия кожи в условиях статики. В самом деле, при контактном взаимодействии $\sigma_1'^*$ отражает напряжение сжатия кожи в реальном динамическом процессе: оно в начале зоны контакта равно нулю, затем увеличивается и достигает значения $\sigma_{\max}$ на линии центров.

Исходя из этого, имеем [2]

$$n_1 = B_1 \left((E_1 - \mu_1 \omega \operatorname{tg} \varphi_1) - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} (E_1 + \mu_1 \omega \operatorname{tg} \theta_1) \right), \quad (9)$$

где $B_1 = \frac{\sigma_{\max}}{E_1 (1 - \cos \varphi_1) - \mu_1 \omega \operatorname{tg} \varphi_1}.$

Закономерности распределения нормальных напряжений по зоне восстановления деформации кривого контакта нижнего валка определяем аналогично

$$n_2 = B_2 \left((E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \varphi_2) - \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} (E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \theta_2) \right), \quad (10)$$

где $B_2 = \frac{\sigma_{\max}}{E_2 (1 - \cos \varphi_2) - \mu_2 \omega \operatorname{tg} \varphi_2}.$

Для определения закономерностей распределения касательных напряжений по контактным линиям валков используем систему (4).

Тогда имеем

$$t_1 = B_1 \left((E_1 - \mu_1 \omega \operatorname{tg} \varphi_1) - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \theta_1} (E_1 + \mu_1 \omega \operatorname{tg} \theta_1) \right) \operatorname{tg}(\theta_1 - \psi_1 + \xi), \quad (11)$$

$$t_2 = B_2 \left((E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \varphi_2) - \frac{\cos \varphi_2}{\cos \theta_2} (E_2 + \mu_2 \omega \operatorname{tg} \theta_2) \right) \operatorname{tg}(\theta_2 - \psi_2 + \xi). \quad (12)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, получены математические модели распределения контактных напряжений в двухвалковом модуле отжима кожи с двумя приводными валками:

- (9) и (10) - закономерности распределения нормальных напряжений;
- (11) и (12) - закономерности распределения касательных напряжений.

Анализ полученных математических моделей и их графиков (рисунки 2 и 3) показывает, что закономерности распределения контактных напряжений по контактным линиям валков зависят от коэффициентов трения слоя материала о поверхность контакта

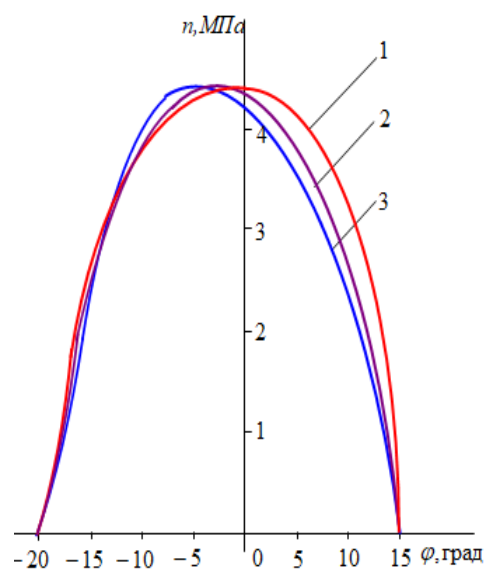


Рисунок 2. Графики распределения нормальных напряжений:

$$1 - \frac{\mu}{E} = 0; \quad 2 - \frac{\mu}{E} = 0.03; \quad 3 - \frac{\mu}{E} = 0.06.$$

Figure 2. Plots of distribution of normal stresses

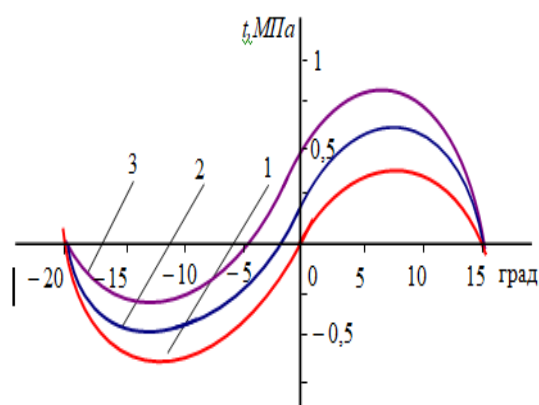


Рисунок 3. Графики распределения касательных напряжений:

$$1 - \frac{F}{Q} = 0; \quad 2 - \frac{F}{Q} = 0.05.5; \quad 3 - \frac{F}{Q} = 0.1.$$

Figure 3. Graphs of shear stress distribution

валков, геометрических, кинематических и деформационных параметров контактирующих тел, а также от сил, действующих на опоры валков.

В эпюре распределения контактных напряжений по контактной линии вала особые значения имеют две точки, лежащие на этой кривой. Первая – точка, в которой нормальное напряжение равно максимуму, то есть точка максимума нормального напряжения. Вторая – точка, в которой касательное напряжение равно нулю, то есть нейтральная точка.

Установлено [1,6], что точка максимума нормального напряжения находится на стороне входа кожи в зону контакта вала близко к линии центров.

Пусть точка максимума нормального напряжения, распределенная по кривой контакта нижнего вала, определяется углом $(-\varphi_6)$.

Тогда по условию максимума функции находим

$$\varphi_6 = \frac{\mu_1 \omega}{E_1}. \quad (13)$$

В нейтральном угле $(-\varphi_5)$ касательная напряжения равняется нулю [6].

Из формулы (12) следует, что $\operatorname{tg}(-\varphi_5 - \psi_1(-(\varphi_{15}) + \xi) = 0$.

Отсюда имеем

$$\varphi_5 = \frac{\varphi_1^2 (1 + k_1 \lambda_1 \cos \varphi_1)}{\varphi_1^2} \cdot \frac{F}{Q}. \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе получены модели закономерностей распределения контактных напряжений по кривым контакта валков. На основе анализа графиков контактных напряжений, построенным по полученным моделям (рисунки 2 и 3), выявлено, что:

- нормальные контактные напряжения изменяются от нуля в начале и в конце зоны контакта валков до максимума в точке, лежащей влево от линии центров (в сторону начала контакта валков, а точка максимума эпюр нормальных контактных напряжений не совпадает с нейтральной точкой;
- касательные контактные напряжения меняют свои знаки в нейтральной точке, которая в приводном валке находится на стороне входа слоя материала в зону контакта валков;

- величина $C = \frac{F}{Q}$ оказывает значительное влияние на эпюру распределения касательных напряжений. Чем больше C , тем левее в приводном валке от линии центров находится нейтральная точка. Увеличение C приводит к увеличению положительных касательных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sh.R. Khurramov, A. Abdukarimov, F.S. Khalturayev, F.Z. Kurbanova. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.
- [2] Курбанова Ф.З. Исследование контактного взаимодействия в валковых парах для совершенствования процессов механической обработки листовых материалов: Дис... канд. техн. наук. – Ташкент, 2022. – 133 с.
- [3] Колычев М.В., Кокушин Н.Н. Исследование деформационных свойств прессовых сукон бумагоделательных машин. Целлюлоза. Бумага. Картон. 2015; 6: 68-72.
- [4] Маринин А.Н., Фомин Ю.Г., Свиридов И.Х. Оценка деформации эластичного покрытия наборного вала. Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2010; 7 (328): 118-121.
- [5] Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производства кож и меха. М.: Колос С. 2006. 384.
- [6] Хуррамов Ш.Р. К теории контактного взаимодействия в двухвалковых модулях. Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2019; 3: 5-9.

REFERENCES

- [1] Sh.R. Khurramov, A. Abdukarimov, F.S. Khalturayev, F.Z. Kurbanova. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.
- [2] Kurbanova F.Z. Issledovanie kontaktnogo vzaimodejstviya v valkovykh parah dlya sovershenstvovaniya processov mekhanicheskoy obrabltki listovykh materialov: Dis... kand. tekhn. nauk. – Tashkent, 2022. – 133 s.
- [3] Kolychev M.V., Kokushin N.N. Issledovanie deformacionnyh svojstv pressovyh sukon bumagodelatel'nyh mashin. Cellyuloza. Bumaga. Karton. 2015; 6: 68-72.
- [4] Marinin A.N., Fomin YU.G., Sviridov I.H. Ocenka deformacii elastichnogo pokrytiya nabornogo vala. Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2010; 7 (328): 118-121.

- [5] Burmistrov A.G. Mashiny i apparaty proizvodstva kozh i mekha. M.: Kolos S. 2006. 384.
[6] Hurramov SH.R. K teorii kontaktnogo vzaimodejstviya v dvuhvalkovykh modulyah. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti. 2019; 3: 5-9.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алибоев Кахрамон Юсупович,
преподаватель, Ташкентский архитектурно-
строительный институт,
Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: qaxramon.aliboyev@mail.ru

Kakhramon Yu. Aliboev, teacher, Tashkent
Institute of Architecture and Civil Engineering,
Tashkent, Republic of Uzbekistan
e-mail: qaxramon.aliboyev@mail.ru

Хуррамов Шухрат Исакович,
преподаватель, Ташкентский университет
прикладных наук,
Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: khurramov86sh@gmail.com

Shukhrat I. Khurramov, teacher, Tashkent
University of Applied Sciences, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
e-mail: khurramov86sh@gmail.com

Статья поступила в редакцию 03.11.2022; одобрена после рецензирования 19.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.

The article was submitted 03.11.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 19.11.2022.

УДК: 004.9

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0201-0213>

EDN: [XUPWWE](https://www.edn.net/XUPWWE)



Projective Capital Asset Pricing Model

Assiya Shabi

Independent Researcher, Paris, France

Abstract. This paper is interested in exploring the capabilities and limitations of investment decision making under uncertainty through the lens of Quantum Probabilities/formalism stand and will be focusing on the Capital Asset Pricing Model as use case. Our main purpose is to examine the historical and structural foundations surrounding decision making paradoxes. To ease the comprehension of the issue to the common reader, we first outline key cornerstones of investment decision making under the two competing conceptual frameworks, expected utility and mean-variance. We review then the axiomatic justifications of the mean-variance and set the comparison with the Expected utility generally. That's when the analogy with quantum probabilities arises. This comes from the fact that decision making process seems to be more likely to be presented in terms of amplitudes. Thus, here the quantum probabilities refer to a calculus of quantum states and not of probabilities. In the final section, we present the capital asset pricing model to understand the appeal of the usage of Mean variance over Expected utility in the financial theory, and how we can remediate to this approach once decisions are depicted in terms of quantum probability amplitudes. Several extensions of the rational decision-making theory using classical probability formulations emerged depending on the actual empirical findings, trying to explain such paradoxes and improve the existing framework decision making theory. These simplifying assumptions were seeking to generate the probabilistic measures assumptions without linearity or to make State-independent probabilistic estimates as well as agents' possessing firm assumptions in the generalized utility theory loosened. While these trials helped to discuss the pitfalls of the classical probabilities in some decision-making situations, it failed to give a harmonized expected utility theoretical model. An established theory to consider is the prospect theory by Kahneman and Tversky which encompasses the human biases and heuristic. Indeed, its attributes make this theory likely to be extended to a general framework of the decision-making theory by using quantum probabilities as the mathematical scope.

Keywords: Decision Making, mean–variance, expected utility, Decision Making paradoxes, Borsch's paradox, quantum probability, probability mixture, portfolio theory, CAPM.

For citation: Shabi, A. (2022). Projective Capital Asset Pricing Model. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0201–0213. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0201-0213>

INTRODUCTION

Rational decision Making modulization is based on Expected utility theory, first introduced by Von Newman and Morgenstern axiomatizing. However, mean-variance method

remains by far the most used model in the economic and financial literature when it comes to represent investors preferences [1-5].

The framework presented by Markowitz on the early 50's, use standard deviation and ex-ante mean of the anticipated financial return of an available opportunity of an investment, to present an asset. This particularly means, that each portfolio and asset is presented only in two dimensions which are the pairs of the coordinates (μ, σ) . However, this approach is considered as being inconsistent. One of the most advocates of this latter belief is Borch, claiming that the two-dimensional indifference curves are logically incoherent with the representation of the investor's rational preferences. This set the ground to what will be known as the Borch paradox, and few works that are of a highly theoretical importance emerged as a result, establishing first arguments toward the connection between the mean variance and the expected utility.

Nevertheless, even if the expected utility seems to be more logically coherent with the decision-making process, it still showing some major divergences when it comes to some real-life human thinking use cases. In fact, several paradoxes in psychology and economics, like Ellsberg's and Allais's [2] has been exposing cases where generalized utility theory fails to converge to the human thinking. This has been a direct consequence of the probabilistic structure of the expected utility theory. Surprisingly, due to their ability to handle this kind of problems efficiently, Quantum probabilities starts to be widely used for the decision-making modeling in behavioral economics, finance and cognitive psychology. This might be considered as over the original, if ignoring that Kahneman, Tversky and other researchers were already seeking to extend the normative Decision-Making framework to explain these decision-making paradoxes that arises from using classic probabilities [6-9]. These experimental investigations were mainly looking to improve probabilities in uncertain environment. Thus, the following interrogations arose: Does human thinking follow classical probability? if not, should we continue to adopt the classical probability as the cornerstone of the description and the normative predictions in the decision making?

Then what other rules can be pursued to formalize the human preferences and decision-making? And what are the consequences on the portfolio theory, especially the Capital Asset Pricing Model (CAPM)?

MEAN VARIANCE METHOD

Ranking probability distributions using mean and mean variance can be often considered as the main method for decision making under uncertainty. While modern literature has dedicated an important research area to ranking distributions via moments over a wide range of fields, this method has been playing particularly a central role in the portfolio analysis, especially through Markowitz' Framework. In this latter, financial assets are represented as random variables where each of them has a probability distribution over its possible returns [10-13]. Thus, the two moments: mean and variance are the two major instruments to rank distributions, as mean being the average return while variance characterizes the risk. The investor is considered as being generally risk averse and then has a preference towards portfolios with lower «risk» (standard deviation) σ but higher mean return μ . Consequently, the rationale is to select a portfolio that minimizes the variance and maximizes mean. On the other hand, when two portfolios have same expected returns, the one with the smallest variance is picked, while when two portfolios have the same variance, the one with the biggest expected return is chosen. Then, the considered opportunity set basically applies to certain portfolios forming the so-called “efficient frontier”.

The efficient frontier, constructively then, is over all assets and portfolios to its southeast, by having jointly highest σ and lowest μ . Then comes the indifference function $V(\sigma, \mu)$, used as a tool to discriminate between two efficient portfolios. In fact, in order to choose between portfolios located at the efficient frontier, the investor has to form equivalent curves. Once the indifference function $V(\sigma, \mu)$ and efficient frontier are set, the MV-optimal investment in risky assets is the point of tangency between $V(\sigma, \mu)$ which is owed to the decision maker and the efficient frontier.

The appeal of using MV method due to its simplicity as a model of investment sufficiently rich to be directly useful in applied problems, owes him a wider use in the financial fields. But we might expect that using Mean Variance over Expected Utility, exposes us to a loss of accuracy. The following investigation pertaining this issue owes much to Morone, Andrea, (2008). In his study, he shows that the MV method shows a lower performance than the expected utility model. Following Hey and Orme's approach, when comparing a set of data using the two methods, the experiment was a set of pair-wise choice questions, where each pair-wise choice is composed of two lotteries: “Left Gamble” and “Right Gamble”. Each subject must report his preference between the two lotteries. The issue of this

experiment was to find what methods best fits subjects' behaviors. It has been found, that Expected utility performs 10% better than MV using AIC as a criterion to rank performances of EU and MV functionals. Furthermore, statistical as non-statistical analysis suggests a loss of accuracy when using MV instead of Expected utility method, showing an error of 2.5 greater when doing this. Consequently, numerical simulations suggest a significant efficiency loss is induced by an improper use of standard mean-variance analysis when time-horizon is uncertain. Thus, this curious discrepancy between the financials theory and practice is called to be ceased by using the expected Utility, which fits better investor behavior over the MV method that rely on unrealistic assumptions and especially regarding the investment horizon.

THE EXPECTED UTILITY

The expected utility manifests a greater richness when considering the variety of stochastic environments dealing with a decision making. This paradigm entails usually more consistent assumptions towards risk preferences and then tries to fit Von Neumann Morgenstern utility functions properties that underlies the general expected utility framework.

In economical literature, expected utility has served on one hand, as a descriptive theory explaining how people make decisions. On the other hand, as a predictive theory, trying to correctly forecast people's choice while modelling to some level psychological mechanisms of decision making.

In fact, expected utility theory deals with a decision maker choice between uncertain or risky prospects. The chosen act/taste is the one resulting in the highest expected utility value. The underlying rule here is comparing expected utility values: weighted sums resulting from the addition of utility values of outcomes multiplied by their respective probabilities.

Utility theory includes two main models. The first one, is expected utility under risk, and it is characterized by the Von Neumann Morgenstern framework, evaluating risky prospects, represented as lotteries over an arbitrary set of outcomes. Formally, let $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ be a set of outcomes and $(x_1, p_1; \dots; x_n, p_n)$ a risky prospect, where each i, p_i denotes the probability of the outcomes x_i . Then, the formula: $\sum_{i=1}^n u(x_i) p_i$ is evaluating risky prospects, where u is a real valued function over X representing the decision makers preferences. The second expected utility concerns the one under uncertainty and is dealing with the evaluation of random variables/acts, whose distributions are not included in the data and representing alternative courses of action. Formally, an act f is evaluated, according to the model of expected utility under uncertainty, by $\sum_{i=1}^n u(x_i) \pi(f^{-1}(x_i))$.

Where π is a probability measure on S representing the decision maker's belief.

The origins of Expected utility theory are often interpreted in terms of the following generalization mechanism: the maximization of expected financial values is presented as an anterior foundational concept, being nowadays often generalized in two ways, whether by non-probabilistic or non-additive decision theories.

However, expected utility theory makes faulty predictions about people's decisions in many real-life choice situations (see Kahneman & Tversky 1982); Nevertheless, this does not settle whether people should make decisions on the basis of expected utility considerations. In the following paragraph, we shall highlight this by Allais' paradox, which is a widely known thought problem exposing a counter example of the expected utility hypothesis.

Allais Paradox

Let's recall the axiomatic foundations of the expected utility theory (Figure 1):

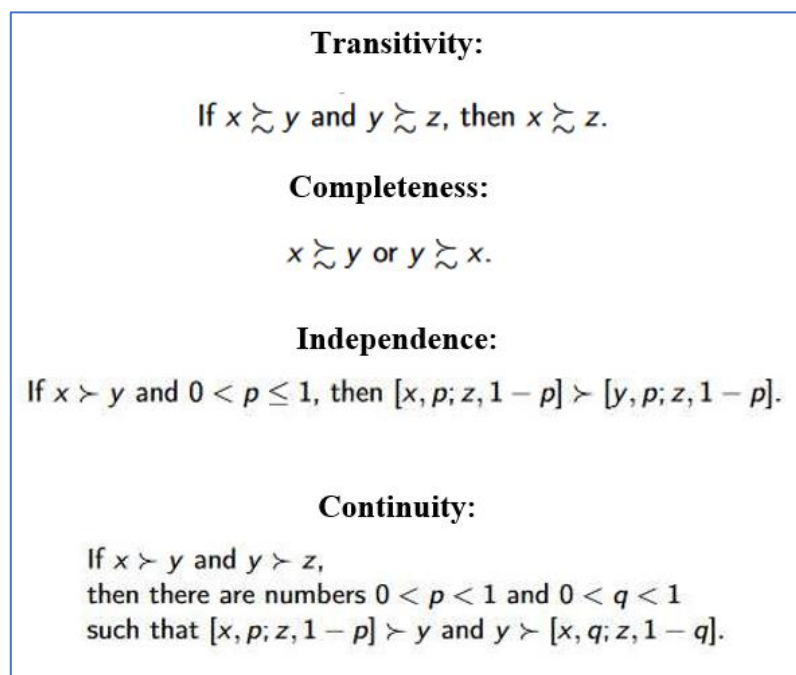


Figure 1. The axiomatic foundations of the expected utility theory.

Where :

' $x \succ y$ ' denotes that x is preferred to y ;

' $x \sim y$ ' indifferences between x and y .

' $x \succsim y$ ' Says that x is at least as preferred as y .

' $[x, p; y, 1 - p]$ ' is a lottery assigning the probability p to x and $1-p$ to y .

Now, let's to Allais paradox, historically this is the Allais experiment that construed the Allais paradox:

p_1	100 with the probability 1	p_2	100 with a probability of 0.11 0 with a probability of 0.89
q_1	500 with a probability of 0.1 100 with a probability of 0.89 0 with a probability of 0.01	q_2	500 with a probability of 0.90 0 with a probability of 0.10

There are four couples of solutions possible, where two respect the hypothesis of the expected utility, that is, (p_1, p_2) and (q_1, q_2) , and the rest are violating it, that is (p_1, q_2) and (q_1, p_2) . These affirmations are verified by asking the algebraic inequalities which, result from comparisons of preference. For a couple to be compatible with the hypothesis of the expected utility, it is necessary and sufficient that these algebraic inequalities themselves be compatible. For example, with (p_1, q_2) , the comparisons of preference are (p_1, q_1) and (q_2, p_2) and they result in two inequalities that contradict each other's.

Then (p_2, q_1) , violates the hypothesis of expected utility, as well as (p_1, q_2) . Whereas (p_1, q_1) and (p_2, q_2) are compatible with it.

This reasoning assumes that individual choices are effectively the reflection of his preferences as the before mentioned axiomatization. This hypothesis corresponds to the ordinary semantics of preferences in economics, the so-called revealed preferences, and neither Allais nor his successors consider it problematic, to the point that they do not even mention it. The major problem spotted here concerns the violation of the independence axiom.

The probabilistic issue of the expected utility

For many years, the expected utility paradigm, relying on the axiomatic foundation of von Neumann and Morgenstern, Savage, Anscombe and Aumann [10-13], has been considered in finance and economics as being normative. However, during the last decades, it has been severely criticized from a descriptive as well as a normative level. The examples of its systematic violations have been rising the discussion about the obviously non normal distributions above returns, since Fama and French [5].

In fact, violation appears in practice, where the uncertainty is represented by means of extrinsically specific probabilities: objective probabilities. This was pointed out by several researchers as Allais [2], Pennacchi [11] and others. They discovered that the choice made by

the great majority of subjects violates the expected utility hypothesis in different situations. This is since uncertainty is rather representing itself as states of nature and rarely in terms of objective probability. This led to the concept of subjective uncertainty, suggesting that each combination of portfolio leads to a particular return.

The other point is that decision making appears to be inconsistent with expected utility model when forming probabilistic belief under relative information deficiencies Knight [12], which motivates the development of non-Bayesian models over the past 40 years while mean-variance model continues to serve as pillar to applicative situations, especially in the academic and practical field of finance.

MEAN VARIANCE METHOD

The double Slit parallel

The double slit experiment is one of the most fundamental experiments in quantum physics, to which probability interference is closely tied to. This experiment is usually described as follow.

An electron detector and an electron gun producing mainly a beam of electrons, and the detector function is counting the number of electrons hitting a given area. We have two slits of equal width and let us call them slits A and B, that are separated by a certain distance from each other. The experiment is about three scenarios:

1. slit A is open and slit B is open*.
2. slit A is open and slit B is closed.
3. slit A is closed and slit B is open.

The sum of probabilities of an electron arriving at the detector, when separately one slit is closed and the other open, is not equal to the probability produced when both slits are open, the experiment is paradoxical in terms of classical models adding exclusive events. In parallel, each electron in the double-slit experiment behaves like a decision-maker who violates the Independence axiom in Allais' experiment [2, 6]. Hence, the superposition principle of quantum mechanics tells us to add amplitudes rather than probabilities and this results in interference.

Thus, a new probability framework must be used to define a more accurate Expected utility representation.

PROJECTIVE EXPECTED UTILITY

The following representation owes much to Lamura [6].

Let X be the positive orthant of the unit sphere in R^n where n is the cardinality of the set of relevant outcomes $S := \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$.

Next, let $\langle \cdot | \cdot \rangle$ denote the usual inner product in R^n . An orthonormal basis is a set of unit vectors $(b_1, \dots, b_n)$ such that $\langle b_i | b_j \rangle = 0$ whenever $i \neq j$. Then:

(Born's Rule) There exists an orthonormal basis $(z_1, \dots, z_n)$ such that, for all $x \in X$ and all $s_i \in S$, any two lotteries are indifferent whenever their risk profiles

$$p_x(z_i) = \langle x | z_i \rangle^2, \quad i=1, \dots, n \text{ coincide.}$$

(Archimedean) For all $x, y, z \in X$ with $p(x) > p(y) > p(z)$, there exist $\alpha, \beta \in (0, 1)$ such that $\alpha p(x) + (1-\alpha)p(z) > p(y) > \beta p(x) + (1-\beta)p(z)$.

(Independence) For all $x, y, z \in X$, $p_x \geq p_y$ if, and only if, $\alpha p_x + (1-\alpha)p_z \geq \alpha p_y + (1-\alpha)p_z$ for all $\alpha \in [0, 1]$.

The previous three axioms are jointly equivalent to the existence of a symmetric matrix U such that $u(x) := x' U x$ for all $x \in X$ represents $\geq$.

Archimedean and independence are jointly equivalent to the existence of a functional u which represents the ordering and is linear in p , i.e.

$u(x) = \sum_{i=1}^n u(s_i) p_{s_i}(x) = \sum_{i=1}^n u(s_i) \langle x | z_i \rangle^2$, where the second equality is by definition of p as squared inner product with respect to the preferred basis. Then, the matrix form of it, is

$$u(x) = x' P' D P x = x' U x,$$

Where P is the projection matrix associated to (z_1, z_n) , D represents the diagonal matrix with the payoffs on the main diagonal, and $U := P' D P$ is symmetric. Thus, for any symmetric matrix U there exist a diagonal matrix D and a projection matrix P such that $U = P' D P$ (using Spectral Decomposition theorem), and hence : $x' U x = x' P' D P x$, for all $x \in X$.

Thus, the three axioms are jointly equivalent to the existence of a symmetric matrix U such that $u(x) := x' U x$ represents the preference ordering.

APPLICATION: TOWARD A NEW CAPM MODEL

The basic CAPM Model

The capital asset pricing model (CAPM) by Sharpe, Lintner and Mossin was first a direct consequence of the restatement of the expected utility in terms Mean variance [4]. Here,

we remind a simple derivation of the CAPM and briefly highlight what MV brought to this model.

Let n risky assets in the market and the price of asset j is $P_j (j = 1, 2, \dots, n)$. The investor spreads his money between risky assets and risk-free bonds. w_{rf} and $w_M = 1 - w_{rf}$ are respectively his portfolio weights. His investment in the market (risky assets) is spread across all n risky assets in proportion to their respective prices. r_{rf} the earned return from the risk-free asset and r_M from the market portfolio of risky assets. Then, the return on the market portfolio is $r_M = \sum_j P_j r_j / \sum_j P_j$, where r_j is the return on asset j .

Suppose that r_{rf} is less than both expected returns $\mu(r_M)$ and $\mu(r_j)$, as must be the case to attract risk averse investors. To increase the expected return of one's investment portfolio, the first possibility is that the investor buys some more of asset j using the income earned from the investment in the risk-free asset. The new portfolio weights are then w_M in the market portfolio, δ in security j and $w_{rf} - \delta$ in the risk-free asset. The expected return of this portfolio is $w_M \mu(r_M) + \delta \mu(r_j) + (w_{rf} - \delta) r_{rf}$ and its variance is $w_M^2 \sigma^2(r_M) + \delta^2 \sigma^2(r_j) + 2 w_M \delta \text{cov}(r_j, r_M)$.

The marginal increase in expected return is therefore $\delta \mu(r_j) - \delta r_{rf}$. Similarly, the marginal increase in portfolio variance is $\delta^2 \sigma^2(r_j) + 2 w_M \delta \text{cov}(r_j, r_M)$, which approaches $2 w_M \delta \text{cov}(r_j, r_M)$ for small δ . The marginal rate of substitution, or price in terms of added risk (variance) for each extra unit of expected return (mean), is then $\mu(r_j) - r_{rf} / \{2 w_M \text{cov}(r_j, r_M)\}$. (A)

The second way for the investor to increase expected return is to sell weight δ of the risk-free asset and add weight δ to her investment in the market portfolio. By an identical argument to that above, the marginal rate of substitution is then $\mu(r_M) - r_{rf} / [2 w_M \sigma^2(r_M)]$. (B)

Let (A) = (B), based on the "law of no arbitrage", thus the equation commonly known as the mean-variance CAPM is obtained: $\mu(r_j) = r_{rf} + \text{cov}(r_j, r_M) / \sigma^2(r_M) [\mu(r_M) - r_{rf}]$. (C)

To rewrite this equation in terms of asset prices rather than returns, let the return on asset j be defined in terms of its initial price P_i and its period-end price or value V_j by $r_j = V_j / P_j - 1$.

Hence, by definition:

$\mu(r_i) = \mu(V_i) / P_i - 1$, $\text{cov}(r_i, r_M) = \text{cov}(V_j, V_M) / P_j P_M$ and $\sigma(r_M) = \sigma(V_M) / P_M$. Substituting in (C) and rearranging reveals the CAPM as an explicit pricing model

$$P_j = \mu(V_j) - \beta_j [\mu(V_M) - P_M (1 + r_{rf})] / (1 + r_{rf})$$

$$(P_M = \sum_j P_j), \text{ and where } \beta_j = \text{cov}(V_j, V_M) / \sigma^2(V_M).$$

CAPM model from the projection viewpoint

Given a lottery $x \in H$ defined over a n -dimensional Hilbert space and chosen a (orthonormal) basis $\{z\} = \{z_1, \dots, z_n\}$ (whose elements will be the random variables of the problem), the projection πx of x over a subspace $\Pi \subset H$ satisfies

$$(x - \pi x) \perp z_i \quad \forall i \in [0, n]. \quad (1)$$

In the matrix representation this can be formalized as

$$\langle x - Z^T \omega Z \rangle = 0 \rightarrow Z \omega = d. \quad (2)$$

where $[Z]_{ij} = \langle z_i | z_j \rangle$, $[\omega]_i = \langle \pi x | z_i \rangle$, $[d]_i = \langle z_i | x \rangle$, and the inner product of the Hilbert space H is $\langle x_1 | x_2 \rangle = E[x_1 x_2]$ ($E[\cdot]$ being the expected value).

The projection πx of x can therefore be expressed as (assuming Z to be non-singular):

$$\pi x = W^T Z = d^T Z^{-1} Z. \quad (3)$$

If p is the vector of prices associated to the vectors of the basis $\{z\}$, the price of the projection πx (which we assign by extension to the lottery x) is

$$p_x = p^T W = m^T d = E[m^T Z x] = \langle \mu | x \rangle. \quad (4)$$

where we have defined the pricing vector

$$m := Z^{-1} p \quad (5)$$

and the vector

$$\mu := m^T Z = p^T Z^{-1} Z. \quad (6)$$

In (4) notice the difference with the definition of probability weight in [1].

Introducing, without loss of generalization, a single risk-free bond, the pricing problem with price normalised to unity reduces to minimizing the quantity:

$$(\omega^T M E[Z] + r_F W_F)^2 + \omega^T M C \omega_M. \quad (7)$$

where ω_M is the vector of weights of the risky assets,

$$C := E[(Z - E[Z])(Z - E[Z])^T]. \quad (8)$$

It is the variance for the random variables z_i (E denoting the vector of expected values), while $\omega_F = (1 - \omega_M^T p)$ and r_F are the weight and the return for the risk-free bond, respectively.

Equation (7) gives

$$\omega_M = -r_F (C + y y^T)^{-1} y = -r_F [C^{-1} y / (1 + y^T C^{-1} y)]. \quad (9)$$

where we have defined

$$y := E[Z] - r_F p. \quad (10)$$

The pricing vector μ is

$$\mu = r_F [1 - y^T C^{-1} (Z - r_F p) / (1 + y^T C^{-1} y)]. \quad (11)$$

The proportionality constant γ can be found by evaluating the pricing vector for the risk-free assets (price being normalized to unity), which gives:

$$\langle \mu | 1 \rangle = E[\mu] = 1/R_F = \gamma R_F / (1 + y^T C^{-1} y) \rightarrow \gamma = (1 + y^T C^{-1} y) / (R_F)^2 \quad (12)$$

The pricing vector g therefore reduces to

$$\mu = (1/R_F)(1 - y^T C^{-1}(z - E[z])). \quad (13)$$

From equation (4) follows:

$$p_x = (1/R_F) (E[x] - \text{cov}(z^T C^{-1} z, x)). \quad (14)$$

Concerning the reduction to the standard CAPM formula in the MV formulation see e.g. [8]. For considerations about the conciliation between MV and EU frameworks, refer to [4].

DISCUSSION

The obtained results are the same as Luenberger. One takes the unitary ray in the R_n Hilbert space representing the "lottery" (in his terminology, he talks of random payoffs) and project it over the subspace spanned by the chosen basis. Since to any vector of the basis is associated a weight contributing to the price, to any projection is associated a price, which by extension is associated to the lottery. What one does then is to minimize the norm of the lottery (eq.7) under the constraints of its projection, and a pricing formula can be obtained.

Pertaining to the utility function discussed earlier, in that case P identifies a change of basis from an arbitrary one describing the interests of the "decision maker" and the objective one used by the "modeler". In the latter case, the basis diagonalizes the utility matrix and corresponds to a projection decomposed in orthonormal components.

It is necessary to recall that the decision models were initially conceived as tools to look for logical protocols independently of the representations that the agents can give them. Nevertheless, the analysis of the problems raised by agents' decisions, could not be reduced to these models which do not integrate the own agent's representations of the information. Hence, appeared the necessity of the reintroduction of the cognitive dimension.

In fact, agents had to be consistent in decision-making, which was translated as a submission to the constraints of rationality. From then on, the cognitive dimension was at the heart of the decision-making economist models, since it is precisely at the level of the very

notion of rationality and coherence, which are necessary and crucial to any decision; that the two domains were intertwined: cognitive sciences such as economic analysis.

However, experiments conducted by Khaneman and Tversky showed that the main assumptions on which coherence was based on, were violated in these empirical tests, which then was questioning not only the validity of these decision models but, the accepted identity between coherence logic of a model of choice and the rationality of the agents whose behavior influences this model.

This led them to propose the distinction between two types of operations: "editing" or "framing" and evaluation, the latter category refers to the rules of logic. Thus, the observed discrepancies between the results obtained and the corresponding responses to the logical protocols can be explained by the deformations induced by the representations of the agents on their calculations. Bringing together the prospect theory and the limited rationality, the representations of the agents then determine the domain and the possibilities of logical calculation which are offered to them, at the same time as they set the limits.

CONCLUSION

Thus, economic agents perform their calculations based on subjective representations made of the situation, for the information available. This analysis brings us in a very direct way to the epistemological revision of classical science proposed by quantum physics. Quantum mechanics transcribes an unprecedented relationship between the subject and the nature he seeks to represent. Heisenberg tried to explain it by inviting us to understand quantum theory not as a descriptive theory of elementary particles, but as a theory that restores the contextuality of a phenomenon to a primordial place in its relative definition.

In our case here, we applied the projective expected utility to CPAM Model, and we found a more accurate model entailing a richer representation.

Indeed, quantum physics seems to encompass these same operational conditions, which are "editing" or framing and evaluation, in a larger theoretical mathematical body. The explanation comes from the fact that, quantum physics responds structurally to the observation of the absence of independence of phenomena regarding the order of use of contexts; and in these terms, it is the only one to consider the conjunction of contexts that can hardly be ignored at the microscopic scale, because it leads otherwise to physical inconsistencies.

A closer look at the structure of quantum theory reveals its power and the relevance of its use in the cognitive sciences, and particularly in cognitive economics.

REFERENCES

- [1] Aerts, D. Quantum structure in Cognition, *Journal of Mathematical Psychology* 53(5), pp.314-348, 2009
- [2] Allais, M. 1953. Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque : Critique des postulats et axiomes de l'Ecole Americaine. *Econometrica* 21: 503-546.
- [3] Bitbol, M. *Mécanique quantique : Une introduction philosophique*, Flammarion 2008.
- [4] Johnstone, D. J. and Lindley, D. V. (2011). Elementary proof that mean–variance implies quadratic utility. *Theory and Decision* 70 149–155
- [5] Khrennikov, A. and Haven, E. *Quantum social science*, Cambridge University Press, 2015.
- [6] La Mura, Pierfrancesco (2008). Projective expected utility. *Journal of Mathematical psychology*.
- [7] Liu, L. (2004). A new foundation for the mean–variance analysis. *European J. Oper. Res.* 158 229–242.
- [8] Luenberger, D.G. *Journal of Optimization Theory and Applications* (2001) 109: 1.
- [9] Levy, H. (2012). *The Capital Asset Pricing Model in the 21st Century: Analytical, Empirical, and Behavioral Perspectives*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- [10] MacLean, L. C., Ziemba, W. T. and Li, Y. (2005). Time to wealth goals in capital accumulation. *Quant. Finance* 5 343–355.
- [11] Pennacchi, G. (2008). *Theory of Asset Pricing*. Pearson, Boston
- [12] Yungnickel I.L., Peter E.D., Polgar A., Weiss E.T. *Organic Analysis*. New York, 2022. Vol. 1. 127 p.
- [13] Gerasimenko A.A., Tihonovich A.V., Shulgin V.I. A Combined approach to determination of power losses in distribution networks. *Electrical engineering, electric power engineering and electrotechnologies, proceedings of the II International Conference*. Toulouse, 2020, 1, 80-84.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Assiya Shabi, Independent Researcher,
Paris, France

Статья поступила в редакцию 03.10.2022; одобрена после рецензирования 22.10.2022; принята к публикации 28.10.2022.

The article was submitted 03.10.2022; approved after reviewing 22.10.2022; accepted for publication 28.10.2022.

УДК: 004.048

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0215-0232>

EDN: [WRECBP](https://www.edn.net/WRECBP)



Низкая освещенность, сочетающая многомасштабные сети глубокого обучения и алгоритм улучшения изображения

Ся Ю¹, Лин Бо², Чен Синь³

¹Софийский университет, Болгария

²Южно-Китайский педагогический университет, Китай

³Шэньчжэньский университет, Китай

Аннотация. В связи с отсутствием эталонных изображений для задач улучшения при слабом освещении, а также в связи с проблемами искажения цвета, потери текстуры, размытости деталей и сложности получения достоверных изображений в существующих алгоритмах в статье предлагается многомасштабная взвешенная характеристика при слабом освещении на основе теории Retinex и механизма внимания. Алгоритм улучшения изображения выполняет извлечение многомасштабных признаков на изображениях при слабом освещении с помощью модуля извлечения признаков, основанного на архитектуре Unet, генерирует многомерную многомасштабную карту признаков и устанавливает модуль механизма внимания для выделения информации о признаках разных масштабов, которые выгодны для улучшенного изображения и получения взвешенного изображения. Карта объектов высокой размерности, модуль окончательной оценки отражения использует теорию Retinex для построения сетевой модели и генерирует окончательное улучшенное изображение с помощью карты объектов высокой размерности. Разработана сквозная сетевая архитектура, а набор саморегулярных функций потерь используется для ограничения сетевой модели, которая избавляется от ограничений эталонных изображений и реализует обучение без учителя. Окончательные экспериментальные результаты показывают, что алгоритм, предложенный в данной статье поддерживает высокую детализацию и текстуру изображения, повышая контрастность и четкость изображения, имеет хорошие визуальные эффекты, может эффективно улучшать изображения при слабом освещении и значительно улучшает визуальное качество. По сравнению с другими усовершенствованными алгоритмами нами улучшены объективные показатели PSNR и SSIM.

Ключевые слова: глубокое обучение, теория Retinex, улучшение изображения при слабом освещении, изображение в живописи.

Для цитирования: Ся, Ю, Лин, Бо, & Чен? Синь (2022). Низкая освещенность, сочетающая многомасштабные сети глубокого обучения и алгоритм улучшения изображения. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0215–0232. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0215-0232>

Low light combining multiscale deep learning networks and image enhancement algorithm

Xia Yu¹, Lin Bo², Chen Xin³

¹*Sofia University, Bulgaria*

²*South China Normal University, China*

³*Shenzhen University, China*

Abstract. Aiming at the lack of reference images for low-light enhancement tasks and the problems of color distortion, texture loss, blurred details, and difficulty in obtaining ground-truth images in existing algorithms, this paper proposes a multi-scale weighted feature low-light based on Retinex theory and attention mechanism. An image enhancement algorithm is proposed. The algorithm performs multi-scale feature extraction on low-light images through the feature extraction module based on the Unet architecture, generates a high-dimensional multi-scale feature map, and establishes an attention mechanism module to highlight the feature information of different scales that are beneficial to the enhanced image, and obtain a weighted image. High-dimensional feature map, the final reflection estimation module uses Retinex theory to build a network model, and generates the final enhanced image through the high-dimensional feature map. An end-to-end network architecture is designed and a set of self-regular loss functions are used to constrain the network model, which gets rid of the constraints of reference images and realizes unsupervised learning. The final experimental results show that the algorithm in this paper maintains high image details and textures while enhancing the contrast and clarity of the image, has good visual effects, can effectively enhance low-light images, and greatly improves the visual quality. Compared with other enhanced algorithms, the objective indicators PSNR and SSIM have been improved.

Keywords: deep learning, Retinex theory, improve low light picture, image inpainting.

For citation: Yu, X., Bo, L., & Xin, C. (2022). Low light combining multiscale deep learning networks and image enhancement algorithm. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2(4), 0215–0232. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0215-0232>

INTRODUCTION

As the devices for acquiring images become more and more popular, there are more and more scenes for people to acquire images, but it is very difficult to obtain images with better visual effects in scenes with insufficient light, such as outdoors at dusk and dimly lit indoors, the image obtained in this case is called a low-light image. Among the various factors that affect image quality, low-light factors are common and unavoidable. Images captured under low-light conditions will show some quality degradation, including low visibility, color deviation, and dense noise, which affect the availability of effective information. Acquire and follow-up machine vision tasks such as segmentation, detection, tracking, etc. Therefore, enhancing the

low-light image can not only improve the visual effect of the image, extract more detailed information, but also better serve the subsequent machine vision tasks.

The traditional low-light image enhancement method is to directly adjust the global illumination characteristics of the image, such as histogram equalization, by stretching the dynamic range of the low-light image to make low-exposure areas visible, effectively improving the contrast of the image, but this method will be due to grayscale. Level merging results in the loss of some details of the image and also amplifies noise buried in local areas. In response to these problems, the subsequent improvement method adopts some constraints, such as maintaining the average intensity of the image, noise robustness, etc. to improve the visual quality of the overall image, so that the pixel histogram can be adaptively equalized according to the low-light image. Histogram equalization methods based on constraint information improve the local adaptability in the enhancement process, however, most of them cannot adjust the visual properties of the image in local regions, resulting in overexposed or underexposed regions.

At this stage, low-light enhancement algorithms can be roughly divided into three solutions: methods based on Retinex models, methods based on deep learning [1-3], and methods combining traditional models and deep learning. The Retinex model is a human visual perception model, which assumes that the low-light image is decomposed into the product relationship between the reflection component and the illuminance component. Earlier studies directly removed the illumination component of low-light images and converted the remaining. However, the results obtained by such methods are usually unnatural and easy to over-enhance the image [4-5]. The current research tends to optimize the illuminance component or estimate the reflection component and the illuminance component while adding a weight model. This kind of method has the advantages of noise suppression and high-frequency detail preservation in the presence of prior information and regularization processing. Better performance. A weighted variational model for low-light images in the logarithmic domain, the model defines different prior constraints at different layers, and estimates the illumination and reflection components at the same time. The local area of the three RGB channels in the low-light image is maximized. Filtering estimates the luminance component of the image, and iteratively enhances the details of the image using structural priors. However, these methods generally rely on the assumptions of real-world environments, and the ability to represent prior information is limited, and cannot achieve satisfactory results when applied to tests in different environments.

With the rise of deep learning, in recent years, data-driven low-light image enhancement algorithms have strong performance and flexibility, especially when dealing with complex scenes. A deep auto-encoder named LLNet (Low Light Net) is used for contrast enhancement and denoising of low-light images; the multi-branch enhancement network MBLEN-Net is designed to extract rich multi-level features in low-light images [6-8]. Good results in terms of noise and artifacts in light areas. Since it is difficult to obtain a good exposure map corresponding to a low-light image in a real scene, the above methods all use a synthetic dataset to train the model, because the unrealistic synthetic data leads to artifacts in the enhanced image. Considering the relative lack of generalization ability of paired training data during model training and the difficulty in capturing pairs of low-light images and normal-light images of the same visual scene, methods to alleviate the dependence on paired data have been proposed one after another. The generative adversarial network EnlightenGAN, which gets rid of the dependence on paired data [9-11], effectively solves the dependence on paired datasets in the low-light enhancement field through the self-regularized perceptual loss function and the local discriminator. By constructing a pixel-fitted curve, using the convolutional neural network Zero-DCE to learn the key parameters in the curve, and solving the problem of paired data through a series of zero-reference loss functions [9], the image with good visual effect is obtained, but this method The resulting results have chromatic aberrations and low contrast.

It is also an idea to enhance the low-light image by guiding the theoretical ideas of the traditional model to the structural design of the network. The low-light enhancement network RetinexNet is composed of an illumination component estimation module and a reflection component estimation module. The input image is decomposed and the illumination components are analyzed. enhanced. In addition, a synthetic dataset LOL (Low-Light dataset) with varying exposure times. This method can effectively improve the brightness of the image, but due to insufficient constraints on intermediate variables, there will be unknown artifacts and local distortion problems in the enhanced image. An effective low-light image enhancement network KinD uses two convolutional neural networks. The simulated external environment acts as a constraint on the model to guide learning [13-15].

In view of the advantages and disadvantages of existing algorithms, this paper proposes an end-to-end low-light enhancement algorithm combining Retinex theory and attention mechanism with multi-scale weighted features. The algorithm in this paper does not use most of the previous methods to obtain the reflection component and illumination component [11] of the image by using the decomposition network, but uses the neural network to directly learn the

mapping between the low-light image and the illumination component, and refers to the Retinex theory to calculate it with the input image. Derive the reflection component as the enhanced image output by the model. The form of the illumination component of natural images is relatively simple and usually contains known prior information, so the network model has strong generalization ability and can adapt to different illumination conditions. This paper also uses the feature extraction module based on the U-Net network architecture to extract multi-scale feature information in low-light images, and introduces the channel attention mechanism into the low-light enhancement task to focus the extracted multi-scale features and obtain texture information representations. The feature map with strong ability highlights the advantageous features of the subsequent calculation of the reflection component; in order to accurately train the model without reference images, a set of self-regular loss function constraints neural networks are designed to guide the training of the model. The algorithm in this paper fully extracts the feature information of different scales in the low-light image, and improves the local information loss and color distortion of the enhanced image.

MULTISCALE IMAGE AUGMENTATION DEEP LEARNING MODEL

The multi-scale low-light enhancement algorithm network framework designed in this paper combining Retinex theory and attention mechanism is composed of three modules: feature extraction module, attention mechanism module and reflection estimation module. First, the low-light image S is input into the feature extraction module to obtain a multi-scale high-dimensional feature map. Then, the fused features are focused through the attention mechanism module to suppress the features of over-exposed areas and low-quality areas [16-18]. Finally, through the reflection estimation module generates the inverse L of the illumination component, multiplies the original image S and L to complete the calculation of the reflection component R , and uses R as the enhancement result to obtain a well-exposed enhanced image, as shown in formula (5).

Feature extraction module

First, the low-light image is extracted. The feature extraction module adopts a classic U-Net network architecture. The network architecture diagram is shown in Figure 1.

It consists of an encoder and decoder structure with convolution, pooling, upsampling, and concatenation operations. It has 18 convolutional layers, 4 downsampling steps and 4 upsampling steps. Each convolutional layer consists of a convolution operation with a kernel

size of 3×3 , a stride of 1, a padding of 1, and a ReLU activation function. Each downsampling step is performed by a 2×2 The max pooling operation is completed, reducing the size of the feature map to half of the original size. Each upsampling step is done by a deconvolution operation with a stride of 2, expanding the size of the feature map to twice the original size. In addition, two cascaded convolutional layers are passed before each upsampling and downsampling [19-22].

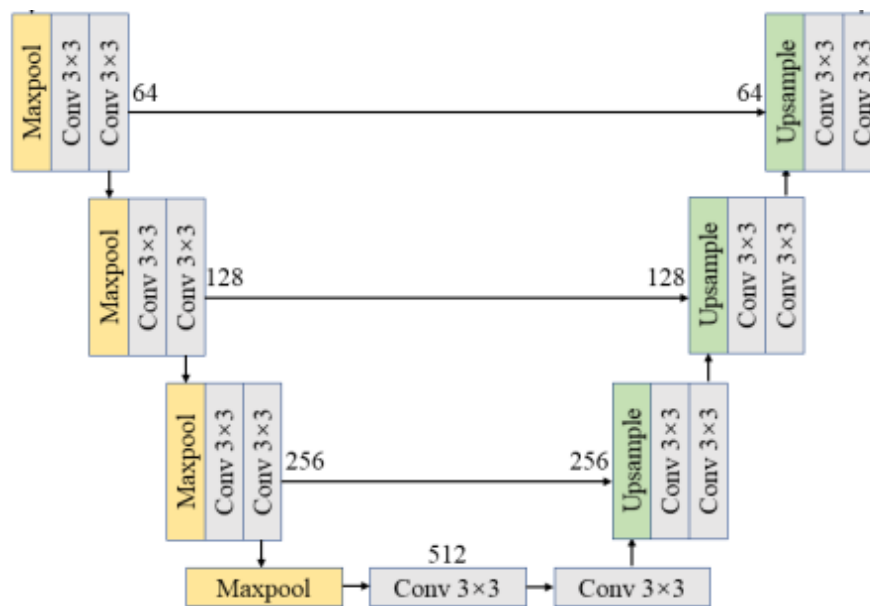


Figure 1. Feature extraction network structure.

The network symmetrically cascades the downsampled feature map to the feature map of the same resolution in the upsampling through skip connections to increase the amount of information in the upsampling step. The biggest feature of this architecture is its U-shaped architecture and skip connections, which extract high-level and low-level features of the image from networks of different depths, so that the texture and edge information of the image are better preserved, and the upper and lower layers are used. The correlation between the shallow and low-level image features (such as contrast, detail sharpness, etc.) and the deep high-level abstract features (such as color distribution, average brightness, etc.) are stacked by feature splicing to achieve multi-scale extraction of image features. , and finally output a 32-channel high-dimensional multi-scale feature map.

Attention mechanism module

Low-light images contain many texture detail features of the target scene. In order to highlight favorable features of interest and suppress uninteresting features, the attention

mechanism module is used to guide the network to refine redundant features, and pay more attention to feature channels that are beneficial for generating reflection components.

The attention mechanism module performs a global average pooling operation F_{sq} on the feature map generated by the feature extraction module to convert the 32-dimensional spatial features x in the channel direction into channel descriptors z , as shown in formula (1):

$$z_c = F_{sq}(x_c) = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W x_c(i, j) \quad (1)$$

Among them, x_c is the input feature of the c channel, z_c is the feature descriptor of the c channel, and H and W are the length and width of the channel feature map. Then, two fully connected operations F_{ex} are used for the feature descriptor z_c to improve the generalization ability of the model. The ReLU activation function is used for nonlinear processing between the two fully connected layers, and finally the weights of each dimension are output through the Sigmoid activation function. This operation enables the network to learn the relationship between each channel and generate the weight of each channel. The calculation method is shown in formula (2):

$$s_c = F_{ex}(z_c, \omega) = \sigma(g(z_c, \omega)) = \sigma(\omega_2 \delta(\omega_1 z_c)) \quad (2)$$

In the formula, ω_1 , ω_2 represent the two fully connected layers, σ , δ represent the Sigmoid activation function and the ReLU activation function, and s_c represents the weight of the output c -th channel. Finally, the channel weight s_c and the feature map x_c output by the feature extraction module are rescaled F_{scale} to obtain the weighted feature map $\tilde{x}$, as shown in formula (3). The attention mechanism module makes the network model more capable of identifying the features of each channel, so that the model can highlight the channel features that are beneficial to the enhancement results.

$$\tilde{x} = F_{scale}(x, s_c) = x \cdot s_c \quad (3)$$

Reflection estimation module

This module builds a reflection estimation network based on a variant of the Retinex model, using the weighted feature maps to generate the reflection component of a low-light image through the network shown in Figure 2, taking the reflection component as an enhanced well-exposed image.

Retinex theory aims to decompose an image into reflection and illumination components, as shown in formula (4):

$$S = R \cdot I \quad (4)$$

Among them, S represents the original image, I represents the illumination component, which reflects the illumination intensity information, and R represents the reflection component, which reflects the inherent properties of the object itself and is not affected by external factors. We treat the reflection component as a well-exposed image for the purpose of enhancing low-light images.

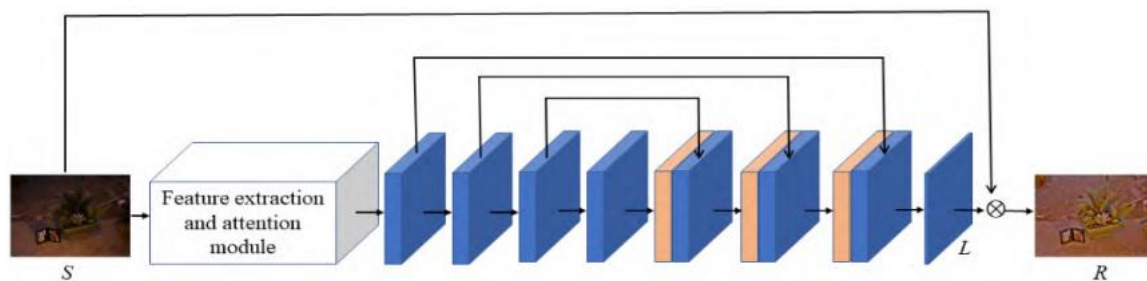


Figure 2. Reflection estimation network structure.

Consider the illumination component I as an intermediate variable for calculating the reflection component R , as shown in formula (5):

$$R = S \cdot L \quad (5)$$

L represents the inverse of the light component I , $L = I^{-1}$. The advantage of this Retinex model-based augmentation model is that it abandons the reconstruction image process in most Retinex-based methods and avoids the loss of information in the reconstruction process.

The network model in the reflection estimation module is composed of 6 symmetrically cascaded convolutional layers and 1 output layer. The 1st, 2nd, and 3rd convolutional layers are cascaded corresponding to the 7th, 6th, and 5th convolutional layers. Each convolution layer consists of 32 convolution operations with kernel size 3×3 , stride 1 and ReLU activation function, and the activation function of the last layer is replaced by the Tanh activation function. The input of the network is the weighted feature map with 32 channels, the output layer outputs the inverse L of the illumination component with 3 channels, and finally the reflection component R is obtained by multiplying the input image and the inverse of the illumination

component pixel by pixel, which is used as the network. A well-exposed enhanced image of the final output of the model.

EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

Dataset and training configuration

In this paper, part I of the publicly available data set SICE provided by CAI J et al. is selected as the training set of the model, which contains 360 sets of images with different exposures, totaling 2002 images. Both underexposed and overexposed images are included in the image set, and adding overexposed images to the training set is beneficial for low-light enhancement tasks. All images in the training set were resized to 512×512 size before training.

The configuration of the training hardware platform is Inter(R) Core(TM) i9-11900kf 3.5GHz CPU and NVIDIA Geforce RTX 3070ti GPU, the operating system is Ubuntu22.04, the programming language is python3.8, and the deep learning framework is pytorch1.12. The parameters of the Adam optimizer are $\beta_1=0.9$, $\beta_2=0.999$, $\alpha=10^{-8}$, and the learning rate size is 0.0001. The number of iterations epochs is set to 500 times [23-27], and the model is evaluated every 50 times, and the optimal model is used as the final model. In order to verify the effectiveness of the algorithm in this paper, the LIME dataset and part II of the SICE dataset are selected as the test set. Part II in the SICE dataset contains 229 sets of multi-exposure sequences and corresponding normal lighting images, which include indoor, outdoor and other complex lighting scenes, covering most real environments. In order to compare the performance of this algorithm with other algorithms, two traditional algorithms are selected: MSRCF algorithm and LIME algorithm and four deep learning-based algorithms: MBLLEN-Net algorithm, RetinexNet algorithm, KinD algorithm, Zero-DCE algorithm from both subjective and objective. Aspects are compared with the algorithm in this paper. The enhanced images of the above algorithms are all generated by public implementable code, and the training model based on deep learning is provided by the original author.

Subjective evaluation

Firstly, the enhancement results are subjectively compared and analyzed from the aspects of brightness and color, and two indoor scenes and outdoor scenes under low light conditions in the test set are selected as test images.

Figure 3 is the image enhancement comparison result of the indoor scene, Figure 3(a) is the input image, Figure 3(b), Figure 3(c), Figure 3(d), Figure 3(e), Figure 3(f), 3(g) is the enhancement result of the comparison algorithm selected in this paper, and Fig. 3(h) is the enhancement result of the algorithm in this paper. It can be seen that for the traditional algorithm, the entire image in Figure 3(b) has obvious color distortion, and some areas are overexposed. 3(d) and the color card part of the red frame area in Fig. 3(g) have obvious local color deviation, and Fig. 3(d) is relatively smooth as a whole, and the texture effect is not good ; Figure 3(e) has obvious artifacts and color deviation, and the visual effect is poor; Figure 3(f) has poor enhancement effect on the dark area in the green frame area. The algorithm shown in Figure 3(h) in this paper effectively avoids color distortion in local areas while maintaining contrast and clarity, and can effectively enhance dark areas and contain rich texture details.

Figure 4 is the image enhancement comparison result of the outdoor scene, Figure 4(a) is the input image, Figure 4(b), Figure 4(c), Figure 4(d), Figure 4(e), Figure 4(f), 4(g) is the enhancement result of the comparison algorithm selected in this paper, and Fig. 4(h) is the enhancement result of the algorithm in this paper. In the traditional algorithm, it can be seen that there is still overexposure in Figure 4(b) in the outdoor scene, and some detailed information is lost, such as the clouds in the green frame. Figure 4(c) The visual effect is better, and the details are the same as The color information has been significantly improved, but the overall image brightness is low; the algorithm based on deep learning is shown in Fig. 4(d) The whole image is too smooth, the detail information is missing and there are local dark areas[28-31], such as the red frame area; Fig. 4(e)), the color deviation is serious and there are a lot of artifacts; the visual perception in Figure 4(f) and Figure 4(g) is good, but the image colors are not natural enough; The above shortcomings are improved to a certain extent, the whole image is rich in texture and detail information, and local areas are also effectively enhanced.

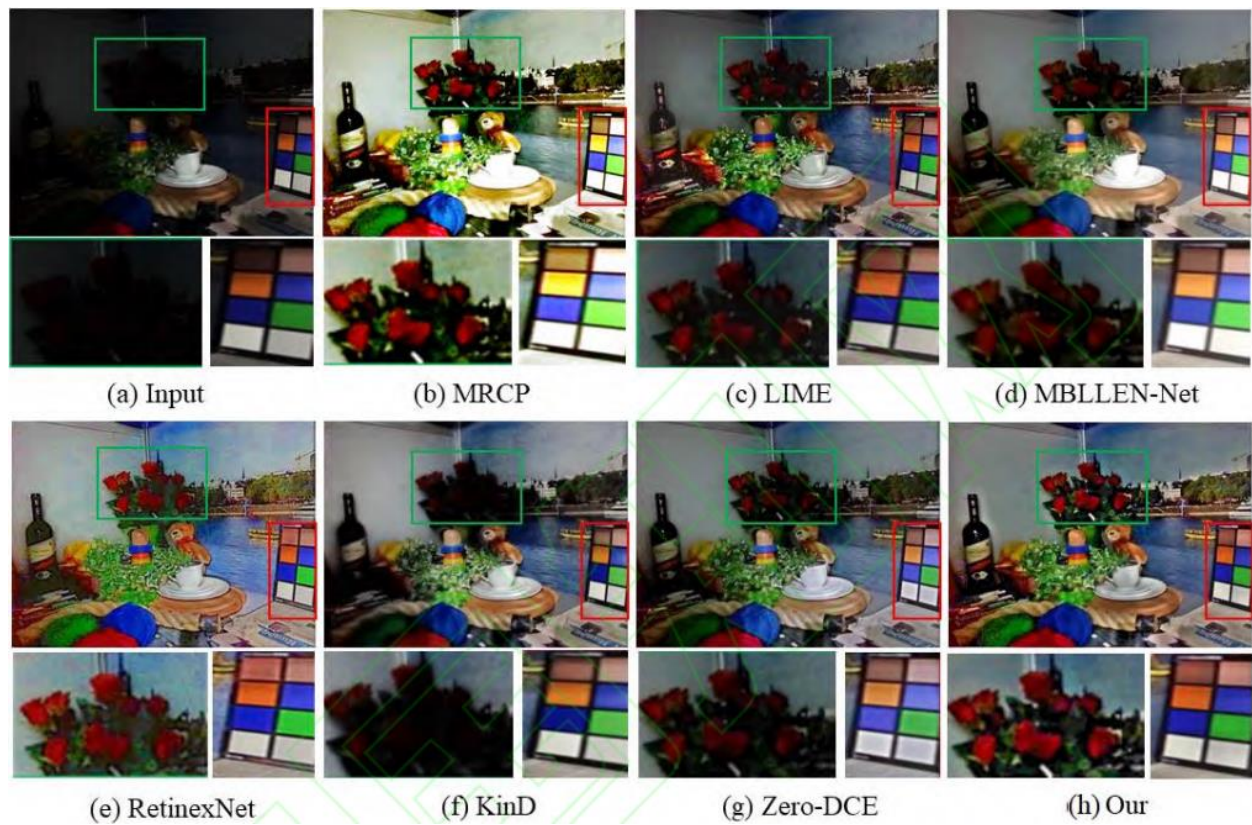


Fig. 3 Comparison of indoor scene results

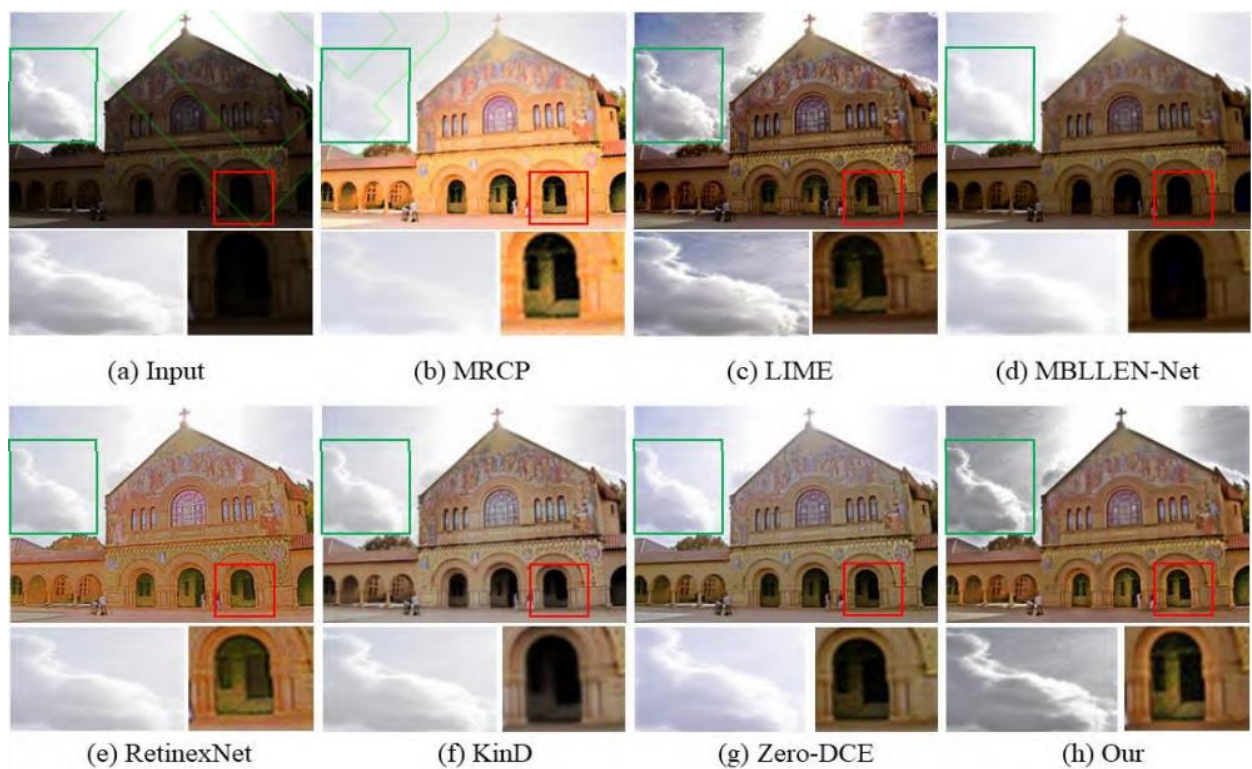


Figure 4. Comparison of outdoor scene results.

Objective comment

This paper selects Peak Signal Noise Ration (PSNR), Structural Similarity (SSIM), Naturalness Image Quality Evaluator (NIQE) and Visual Information Fidelity (Visual Information Fidelity, SSIM). VIF) as an objective indicator for qualitative analysis.

The peak signal-to-noise ratio (PSNR) represents the ratio between the peak power of the enhanced image and the noise, and is used to measure the degree of distortion between the enhanced image and the normal illumination image. Spatial Structure Similarity (SSIM) is used to measure the similarity of two images. The larger the value, the more similar the spatial structure features between the enhanced image and the normal illumination image. The Natural Image Quality Evaluation Index (NIQE) represents a set of quality-aware statistical features constructed based on spatial natural scene statistics. Visual Information Fidelity (VIF) represents a quality evaluation index based on the fidelity of human visual information. It mainly calculates the information distortion between the enhanced image and the normal illumination image by establishing a visual model. Perceptually, the enhanced image quality is better.

Table 1 shows the objective index values obtained by the algorithm in this paper and the comparison algorithm tested on part II of the dataset SICE. It can be seen that the algorithm in this paper has a higher objective index value than the comparison algorithm, which proves the effectiveness of the algorithm in this paper.

Table 1. The average value of objective indexes of this algorithm and the comparison algorithm under different test sets.

Method	PSNR	SSIM	NIQE	VIF
MSRCP	12.6995	0.4493	5.3842	0.4525
LIME	14.0784	0.5274	4.9674	0.4821
MBLLEN	15.8227	0.5670	4.8713	0.3804
RetinexNet	14.6839	0.4752	5.5244	0.3482
KinD	15.7432	0.6762	4.8869	0.4381
Zero-DCE	16.1157	0.5933	4.4762	0.4226
Ours	16.6783	0.6946	4.3814	0.4796

The computational complexity of the model

Complexity is an important indicator that reflects the performance of an algorithm. This section discusses the time complexity of the proposed and compared algorithms. Let m denote the number of rows of the image, n the number of columns of the image, and N the number of images in the source image sequence, so the complexity of the traditional algorithm is $O(Nmn)$. For deep learning algorithms, the parameter amount of the model will be compared[32-36]. The smaller the parameter amount, the lighter the model and the lower the computational complexity. As can be seen from Table 2, the amount of parameters in this paper is relatively large. This is due to the fact that the feature extraction layer uses the Unet architecture multi-scale feature extraction and attention mechanism module to filter features, which improves the performance of the model, but the cost is the amount of parameters. increases, and the computational complexity increases.

Table 2. The computational complexity of this algorithm and the comparison algorithm.

Method	Complexity	Parameters(M)
MSRCP	$O(Nmn)$	/
LIME	$O(Nmn)$	/
MBLLEN	/	5.95
RetinexNet	/	14.32
KinD	/	29.6
Zero-DCE	/	0.32
Ours	/	16.90

Ablation experiment

In order to verify the effectiveness of the network framework in this paper in low-light enhancement tasks, ablation analysis is carried out from two aspects: 1) to verify the effectiveness of each loss function; 2) to verify the effectiveness of the attention mechanism module. This section conducts qualitative analysis from the above two aspects. In order to study the contribution of each loss function to the network model, this paper removes one of the three loss functions when training the network, and qualitatively analyzes the impact of each loss function on the enhancement results.

The visual comparison diagram is shown in Figure 5, the baseline is the enhanced image generated by the model when the three loss functions are retained.



Figure 5. Visual comparison of each loss function by qualitative analysis.

When the exposure control loss L_{exp} is removed, it can be seen that the brightness enhancement of the whole image is small, and the overall image is darker; when the spatial consistency loss L_{spa} is removed, it can be seen that the contrast of the whole image has decreased slightly, indicating that it maintains the color of the image area before and after enhancement. Consistency effect; when removing light smoothing loss L_{tv} , there will be obvious artifacts, the whole image scene will be unnatural and color distortion will appear. It can be seen from Table 3 that abandoning any loss function will lead to the performance degradation of the model in this paper, and the objective indicators will be reduced to varying degrees, which proves the effectiveness of each loss function.

Table 3. The qualitative analysis of the objective average value of each loss function.

Index/Method	baseline	w/o L_{exp}	w/o L_{spa}	w/o L_{tv}
PSNR	16.6783	10.2441	15.7642	12.9608
SSIM	0.6946	0.2941	0.6172	0.5839
NIQE	4.3814	6.0241	4.5479	4.8607
VIM	0.4796	0.3574	0.4655	0.3901

In this paper, an attention module is introduced into the network framework to focus on the contrast between the details of the image and the overall contrast at different scales, so that the overall image is clearer and more natural, and the bright contrast is more obvious. In order to verify the effectiveness of the attention mechanism module, the attention module is removed [36-38], and the rest of the settings remain unchanged, and the influence of the attention mechanism on the enhancement results is analyzed.

The visual comparison diagram is shown in Figure 6, the baseline is the enhanced image generated by the model when the attention module is retained.



Figure 6. Visual comparison of attention module.

Compared with the enhanced image with the attention module removed, the details of the enhanced image without the attention module avoid overexposure, the color does not appear distorted, and a good contrast is maintained, and the overall light and dark contrast of the image is stronger and more natural.

The objective index values in Table 4 also reflect that if the attention module is removed, the performance of the model will be affected to a certain extent, which reflects the effectiveness of the attention module for the model in this paper.

Table 4. Evaluations of attention module on average value.

Index/Method	baseline	w/o attention
PSNR	16.6783	16.4501
SSIM	0.6946	0.6114
NIQE	4.3814	4.4765
VIM	0.4796	0.4592

CONCLUSION

This paper proposes an end-to-end multi-scale weighted feature low-light enhancement algorithm that combines Retinex theory and attention mechanism. By introducing a feature extraction module and an attention module, multi-scale feature information is extracted and image features that are beneficial to enhanced images are highlighted. The Retinex theory is integrated into the reflection estimation module, and its variant form avoids the loss of information in the process of reconstructing the enhanced image and improves the quality of the enhanced image. Besides, in order to train the model without reference images, this paper

introduces a set of self-regular loss functions in terms of spatial structure, texture information, etc. to normalize the model and better enhance the images. The comparison experiments and ablation experiments both prove the superiority of the proposed algorithm in low-light enhancement and the effectiveness of each module, which greatly improves the visual effect of the image.

REFERENCES

- [1] Lv Z., Li Y., Feng H., Lv H. Deep learning for security in digital twins of cooperative intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2021; 23(9): 16666-16675.
- [2] Lv Z., Chen D., Feng H., Zhu H., Lv H. Digital twins in unmanned aerial vehicles for rapid medical resource delivery in epidemics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2021. DOI: 10.1109/TITS.2021.3113787.
- [3] Zhang X., Zhou X., Lin M. et al. Shufflenet: An extremely efficient convolutional neural network for mobile devices. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2018: 6848-6856.
- [4] Ma N., Zhang X., Zheng H. T. et al. Shufflenet v2: Practical guidelines for efficient CNN architecture design. *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*. 2018: 116-131.
- [5] Petrosian O., Shi L., Li Y., Gao H. Moving information horizon approach for dynamic game models. *Mathematics*. 2019; 7(12): 1239.
- [6] Yin L. The time-consistency of optimality principles in multistage cooperative games with spanning tree. 2017.
- [7] Weilong H., Weijun H., Yuqi Y., Hui S., Yanyou W., Yuehang S., Xiaobin L. Improved left- and right-hand tracker using computer vision. *Student research*. 2022; 3: 21.
- [8] Zhao C., Blekanov I. Two Towers Collaborative Filtering Algorithm for Movie Recommendation. *Management processes and sustainability*. 2021; 8(1): 397-401.
- [9] Yuan C., Liu X., Zhang, Z. The Current Status and progress of Adversarial Examples Attacks. *Proceedings of 2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*; 2021, May; IEEE; 2021: 707-711.
- [10] Liu X., Xie X., Hu W., Zhou H. The application and influencing factors of computer vision: focus on human face recognition in medical field. *Science, education, innovations: topical issues and modern aspects*. 2022: 32-37.

- [11] Shen G., He K., Jin J., Chen B., Hu W., Liu X. Capturing and analyzing financial public opinion using nlp and deep forest. Scientific research of students and pupils. 2022: 66-71.
- [12] Chen B., Song Y., Cheng L., He, W., Hu W., Liu X., Chen J. A review of research on machine learning in stock price forecasting. Science and modern education: topical issues, achievements and innovations. 2022: 56-62.
- [13] Liu Z., Feng R., Chen H., Wu S., Gao Y., Gao Y., Wang X. Temporal Feature Alignment and Mutual Information Maximization for Video-Based Human Pose Estimation. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2022: 11006-11016.
- [14] Liu X., Liu W., Yi S., Li J. Research on Software Development Automation Based on Microservice Architecture. Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology 2020, October; 2020: 670-677.
- [15] He K., Song Y., Shen G., He W., Liu W. Based on deep reinforcement learning and combined with trends stock price prediction model. Topical issues of modern scientific research. 2022: 156-166.
- [16] Petrosyan, L., Pankratova, Y. Two Level Cooperation in Dynamic Network Games with Partner Sets. Proceedings of International Conference on Mathematical Optimization Theory and Operations Research. Springer, Cham; 2022: 250-263.
- [17] Wu J., Lee P. P., Li Q., Pan L., Zhang J. CellPAD: Detecting performance anomalies in cellular networks via regression analysis. Proceedings of 2018 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops. 2018 May; IEEE; 2018: 1-9.
- [18] Lv Z., Li Y., Feng H., Lv H. Deep learning for security in digital twins of cooperative intelligent transportation systems. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021.
- [19] Ou S., Gao Y., Zhang Z., Shi C. Polyp-YOLOv5-Tiny: A Lightweight Model for Real-Time Polyp Detection. Proceedings of 2021 IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA); December 2021; IEEE; 2021; 2: 1106-1111.
- [20] Huang T., Zhou C., Zhang R. X., Wu C., Sun L. Learning Tailored Adaptive Bitrate Algorithms to Heterogeneous Network Conditions: A Domain-Specific Priors and Meta-Reinforcement Learning Approach. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2022; 40(8): 2485-2503.

- [21] Sun Q., Zhao C., Li Y., Petrosian O. Management processes and sustainability. 2022; 9(1): 357-362.
- [22] Xiaomin L., Yuehang S., Borun C., Xiaobin L., Weijun, H. A novel deep learning based multi-feature fusion method for drowsy driving detection. Industry and agriculture. 2022: 34-49.
- [23] Yin, L. The dynamic Nash bargaining solution for 2-stage cost sharing game. Contributions to Game Theory and Management. 2020; 13(0): 296-303.
- [24] Zhouyi X., Weijun H., Yanrong H. Intelligent acquisition method of herbaceous flowers image based on theme crawler, deep learning and game theory. Kronos. 2022; 7(4(66)): 44-52.
- [25] In L. Dynamic stability of optimality principles in cooperative multistage games with spanning tree. 2021.
- [26] Xie Z., Hu W., Fan Y., Wang, Y. Research on multi-target recognition of flowers in landscape garden based on ghost net and game theory. Development of science, technologies, education in the XXI century: topical issues, achievements and innovation. 2022: 46-56.
- [27] Yin L. Dynamic Shapley Value for Two-Stage Cost Sharing Game. Proceedings of International Conference Dedicated to the Memory of Professor Vladimir Zubov. 2020 October; Springer, Cham; 2020: 457-464.
- [28] Hu W., Zheng T., Chen B., Jin J., Song Y. Research on product recommendation system based on deep learning. Basic and applied scientific research: current issues, achievements and innovations. 2022:116-124.
- [29] Hu W., Liu X., Xie Z. Ore image segmentation application based on deep learning and game theory. World science: problems and innovations. 2022: 71-76.
- [30] He W., Hu W., Wu Y., Sun L., Liu X., Chen B. Development history and research status of convolutional neural networks. Student scientific forum. 2022: 28-36.
- [31] Yin L. The dynamic Shapley Value in the game with spanning tree. Proceedings of International Conference Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems (Pyatnitskiy's Conference). 2016 June; IEEE; 2016: 1-4.
- [32] Yin L. Dynamic Shapley Value for 2-stage cost sharing game with perishable products. Proceedings of 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC). 2017 May; IEEE; 2017: 3770-3774.
- [33] Yin L. Dynamic Shapley value in the game with spanning forest. Proceedings of 2017 Constructive Nonsmoothed Analysis and Related Topics (dedicated to the memory of V. F. Demyanov) - (CNSA). 2017 May; IEEE; 2017:1-4.

- [35] Petrosian O., Nastych M., Li Y. The Looking Forward Approach in a Differential Game Model of the Oil Market with Non-transferable Utility. Proceedings Frontiers of Dynamic Games; Birkhäuser, Cham; 2020: 215-244.
- [36] Xie Z., Hu W., Zhu J., Li B., Wu Y., He W., Liu X. Left- and right-hand tracker based on convolutional neural network. Topical issues of modern science and education: Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference. 2022, November 10; Penza: ICNS "Science and Education"; 2022: 61-67.
- [37] Cheng M., Li Y. New characteristic function for two stage games with spanning tree. Contributions to Game Theory and Management. 2021; 14: 59-71.
- [38] Li Y., Petrosyan O. L., Zou J. Dynamic shapley value in the game with perishable goods. Contributions to Game Theory and Management. 2021; 14(0): 273-289.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ся Ю, Софийский университет, София,
Болгария
e-mail: 1519245949@qq.com

Лин Бо, Южно-Китайский педагогический
университет, Китай
e-mail: bridgemr643@gmail.com

Чен Синь, Шэньчжэньский университет,
Шэньчжэнь, Китай
e-mail: 877448627@qq.com

Xia Yu, Sofia University, Sofia, Bulgaria
e-mail: 1519245949@qq.com

Lin Bo, South China Normal University,
China
e-mail: bridgemr643@gmail.com

Chen Xin, Shenzhen University, Shenzhen,
China
e-mail: 877448627@qq.com

Статья поступила в редакцию 13.11.2022; одобрена после рецензирования 26.11.2022; принята к публикации 28.11.2022.

The article was submitted 13.11.2022; approved after reviewing 26.11.2022; accepted for publication 28.11.2022.

УДК: 004.932

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0233-0263>

EDN: [HUZDQY](https://www.edn.net/HUZDQY)



Improved plant parenchyma extraction technology using artificial intelligence algorithms

Chen Jike¹, Zhao Qian²

¹*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

²*National Aerospace University – "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine*

Abstract. The previous studies have described the extraction of plant parenchyma by computer image processing technology, and the purpose of this paper is to verify the effectiveness of the algorithm., this paper implements the algorithm by using Matlab language, and designs several groups of experiments. The experimental results show that: when denoising, using 9*9 as a template to perform median filtering on the image has a better effect, and block binarization facilitates the extraction of axial parenchyma; when processing mathematical morphology, using 3*3 Axial parenchyma and vessel morphology can be successfully extracted from cross-sectional images of broad-leaved wood after dilation of the image by cross-shaped structuring elements and erosion of images by disc-shaped structuring elements with radii ranging from 1 to 10 When calculating the area threshold of the closed area, the area threshold is determined by using 8 domains to mark the area of the closed area and using the area histogram, so that the axial parenchyma can be better separated from the catheter. At present, the method has been experimented in 10 different tree species, all of which have achieved good results. This also fully proves the effectiveness of the artificial intelligence algorithm. The implementation of the algorithm also lays the foundation for future research on intelligent wood recognition based on axial thin-walled tissue morphology; it provides a shortcut to measure the content of axial thin-walled tissue in different tree species; and it is a prelude to the development of an image-based wood recognition system for axial thin-walled tissue.

Keywords: artificial intelligence, computer vision, mathematical morphology, parenchyma, plant, wood recognition, extraction.

For citation: Jike, C. & Qian, Z. (2022). Improved plant parenchyma extraction technology using artificial intelligence algorithms. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0233–0263. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0233-0263>

INTRODUCTION

The previous paper "Extraction of plant parenchyma by computer image processing technology" mentioned the method of using image processing and other computer vision-related technologies for extraction of plant parenchyma [1]. This paper analyzes and verifies

the effectiveness of the algorithm through experiments. Discuss how to separate the morphology of axial parenchyma from a binary image containing only axial parenchyma and ducts. After analyzing the characteristics of axial parenchyma and catheter, an extraction algorithm based on the area histogram of the closed area was finally proposed. And it is verified by experiments that the effect of this method is better. Finally, this article is a summary of the axial parenchyma extraction algorithm, and at the same time analyzes the shortcomings of this algorithm, and also points out the future research direction [2].

With the rapid development of computer vision technology and wood science and technology, the application of computer vision technology in the field of wood science will surely develop further.

The study of axial parenchyma will become more and more extensive, and the corresponding characteristics of axial parenchyma will be established. The characteristic parameter table will better analyze the relationship between axial parenchyma and tree species [2-4].

With the deepening of research, the extraction technology of axial parenchyma is bound to become more and more developed, so as to achieve the purpose of intelligent identification, and a perfect software system will be established to replace manual identification of wood.

EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

Analysis of experimental results of image denoising processing

The median filter is filtered with a window containing an odd number of pixels, and the shape and size of the window will have a significant effect on the filtered result [4-7]. The effect of median filtering can be achieved by selecting a suitable window and processing it with equation. Generally, the size of the window is 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 , etc. What is the right size? In this paper, we use these window sizes to median filter the images, and the processed images and grayscale histograms are shown in figure 1 and figure 2, respectively.

From the histograms, we can analyze that there are several peaks and valleys in the histogram after the 3×3 and 5×5 templates, which is not conducive to the determination of the binarization threshold of the image. The peaks of the image histogram with the 9×9 template are sharper than the peaks of the image histogram with the 7×7 template. Therefore, it can be said that the median filtering of the image with 9×9 as the template is more effective.

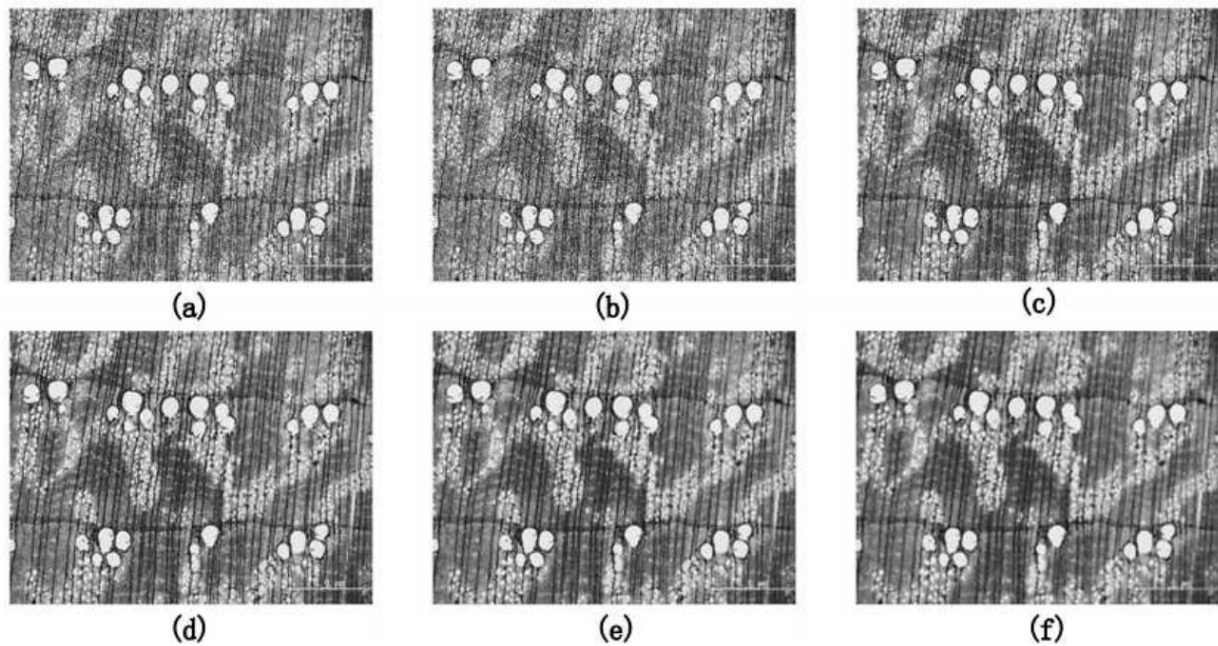


Figure 1. The demonstration diagram of median filtering in the *Castanopsis megaphylla* Image: (a) Original wood microscopic images; (b) Noise image after adding salt and pepper; (c) Image after filtering processing as a template of a 3*3 model; (d) Image after filtering processing as a template of a 5*5 model; (e) Image after filtering processing as a template of a 7*7 model; (f) Image after filtering processing as a template of a 9*9 model.

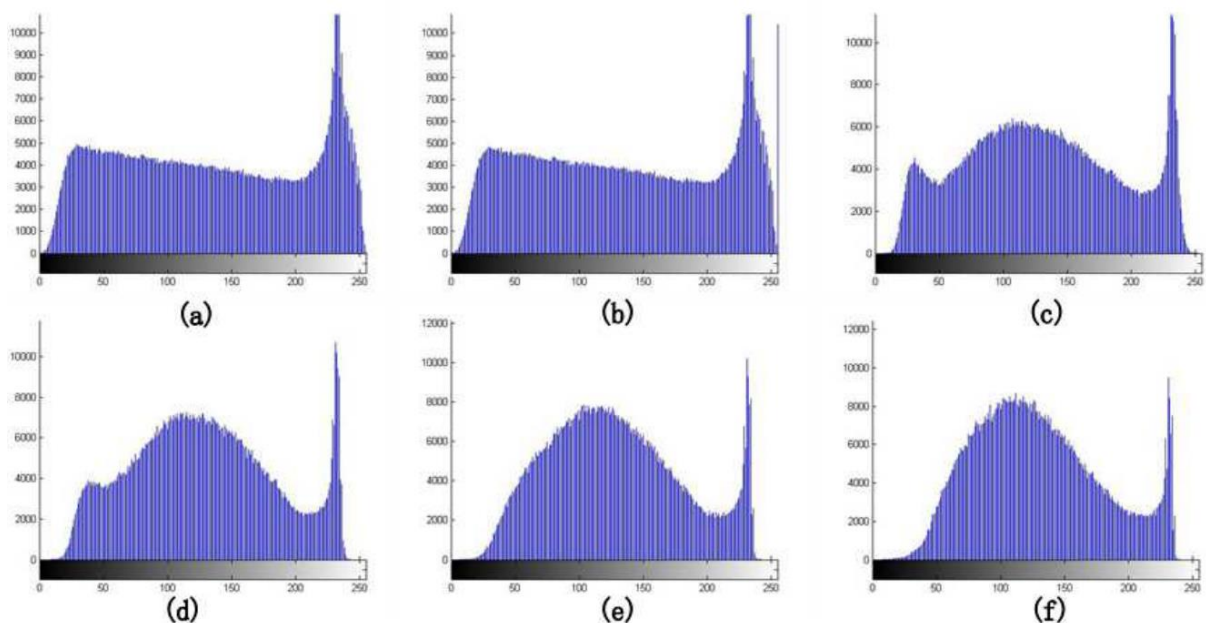


Figure 2. Gray histogram of median filtering in the *Castanopsis megaphylla* image: (a) Gray histogram of original wood microscopic images; (b) Noise image after adding salt and pepper; (c) Gray histogram after filtering processing as a template of a 3*3 model; (d) Gray histogram after filtering processing as a template of a 5*5 model; (e) Gray histogram after filtering

processing as a template of a 7*7 model; (f) Gray histogram after filtering processing as a template of a 9*9 model.

Analysis of experimental results after the binarization process

Using equation (12) from [1], the threshold value of the grayscale image can be calculated, and then the image is transformed into a binary image, and figure 3 and figure 4 show the effect of the binarization process.

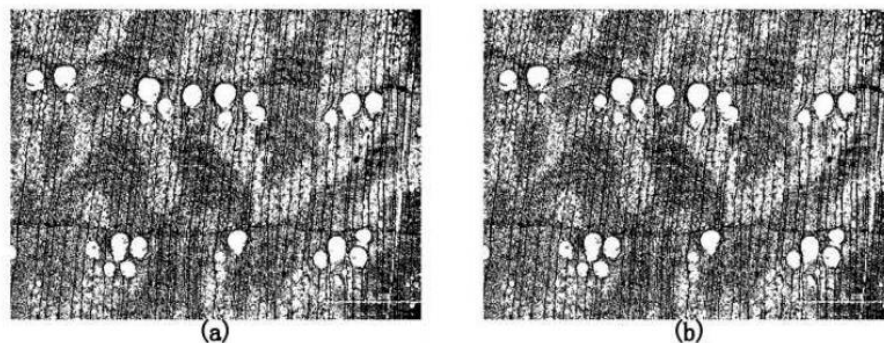


Figure 3. The effect chart of overall binary processing and block binary processing: (a) Image after overall binary processing; (b) Image after block binary processing.

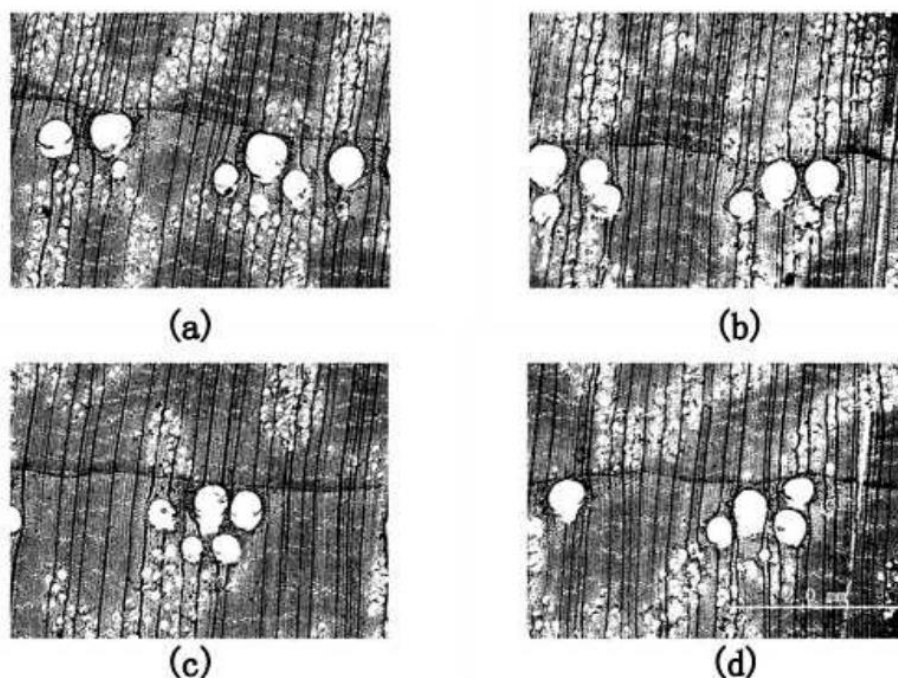


Figure 4. The effect chart of block binary processing: (a) Threshold is equal to 139; (b) Threshold is equal to 137; (c) Threshold is equal to 137; (d) Threshold is equal to 139.

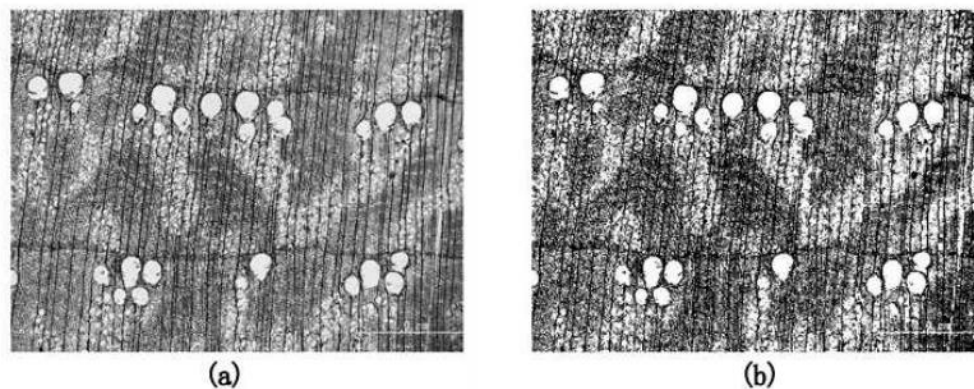


Figure 5. The comparison of effect:

(a) wood microscopic image; (b) The image after binary processing.

Figure 4 (a) shows the effect of global thresholding with a threshold of 137, 139, 137, 137, 136 are the thresholds for each image after binarization, and each image must be merged into one after binarization to facilitate subsequent image processing. The merged image is shown in figure 4 (b). A closer look at (a) and (b) in figure 3 shows that the white area in figure 4 (b) is less than that in figure 4 (a). In this paper, we also calculate the area of the white area in figure (a) and figure (b) are 501148 and 500544 respectively (area is defined as the number of pixels), and it is obvious that the area of the white area in figure (b) is smaller than that of the white area in figure (a). Therefore, the binning binarization can be used to calculate the area of the white area in figure (b). Therefore, the chunked binarization can better filter out the other morphologies in the image, which is beneficial to retain the extraction of axial thin-walled tissue and duct morphology [8-13].

In figure 5, it can be seen that after the binarization process, the morphology of the axial thin-walled tissue and ducts is more evident, which facilitates the subsequent processing of the images using mathematical morphology and the successful separation of the morphology of the axial thin-walled tissue and ducts.

Analysis of experimental results after expansion and corrosion

After the noise reduction and image binarization, the features of axial thin-walled tissue and ducts in the wood micrographs are more prominent. From (b) in figure 3, it can be seen that there are some other tissue features, such as wood fibers and wood rays, in addition to the axial thin-walled tissue and ducts on the image [14-17]. Therefore, suitable structural elements can be selected to match the central block, and the objects in the image can be processed with

expansion and erosion operations to achieve the extraction of axial thin-walled tissues and ducts.

After several experiments, it was found that the structural elements shown in figure 6 were selected to expand the image (b) in figure 5. The result is shown in figure 7.

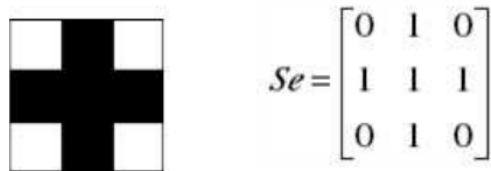


Figure 6. Structure element Se .

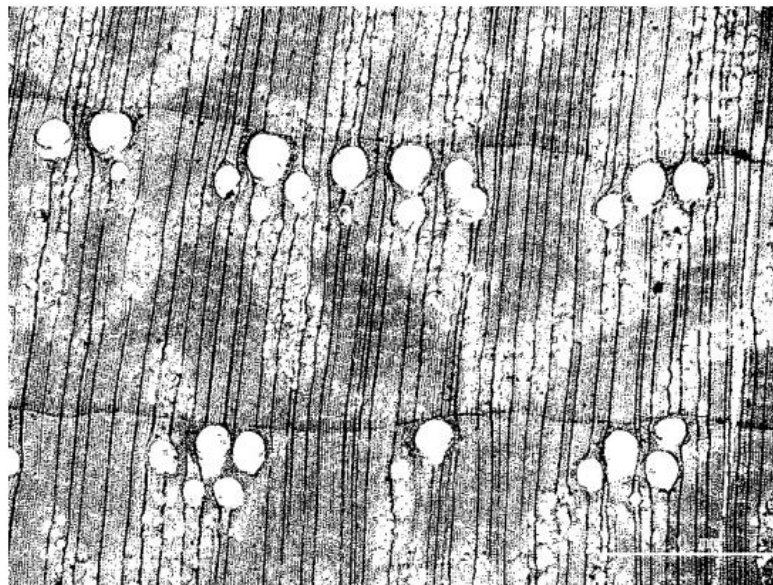


Figure 7. Result of expansion operation.

As can be seen in figure 7, after the expansion process, the features of the axial thin-walled tissue and ducts are further enhanced, and the black-and-white effect of the image is more obvious. The axial thin-walled tissue and duct morphology are obviously thickened, and the following structural elements can be used to erode the image, "refine" or "shrink" the image after the expansion process, so as to separate the axial thin-walled tissue and duct morphology.

After several experiments, it was found that it was better to select a disc-type structural element with a radius of 8 for the corrosion operation of figure 7, and the treated result is shown in figure 8.

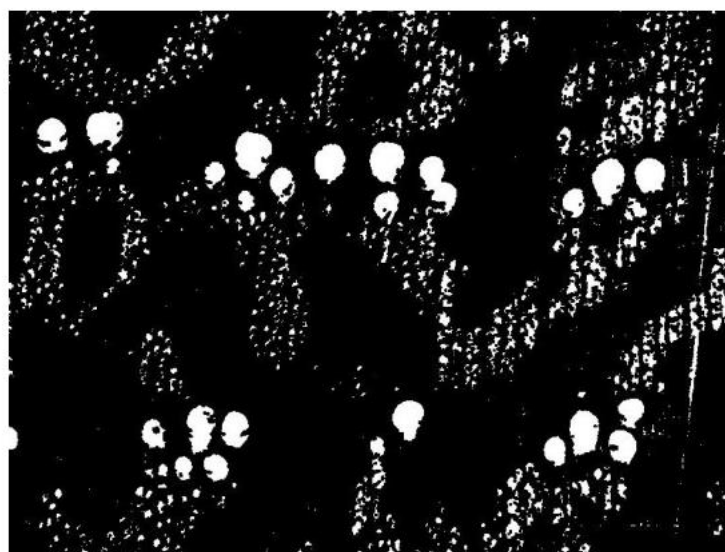


Figure 8. Result of erosion operation.

From figure 8, it can be found that there are many features on the wood cross-section, in addition to ducts and axial thin-walled tissue, there are also wood rays and wood fibers, etc. The corrosion operation filters out the other features, leaving only the features containing only axial thin-walled tissue and duct morphology. In the process of corrosion operation [18-22], the effect of different radii of the disc-type structural elements is different, the effect is shown in figure 9.

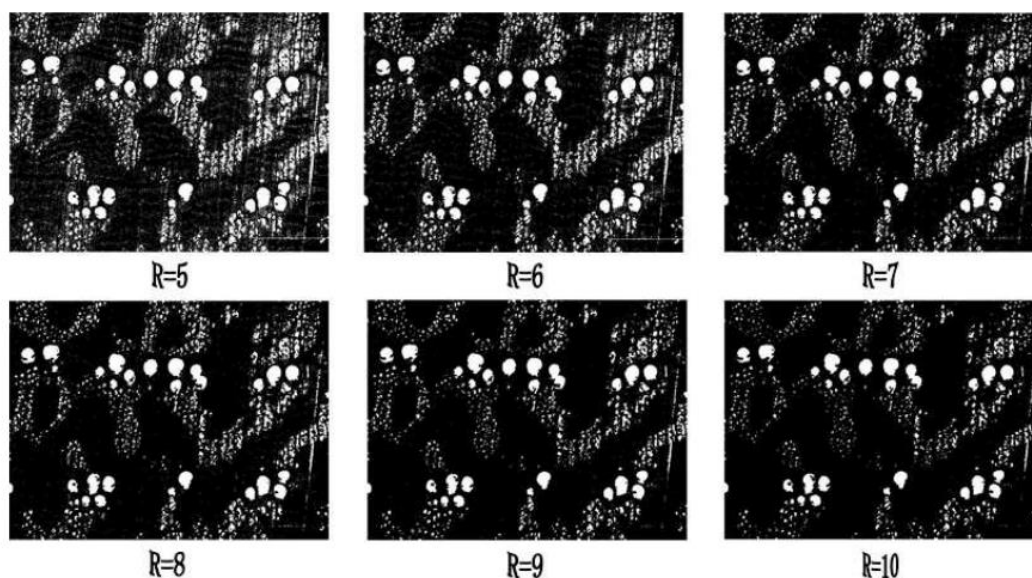


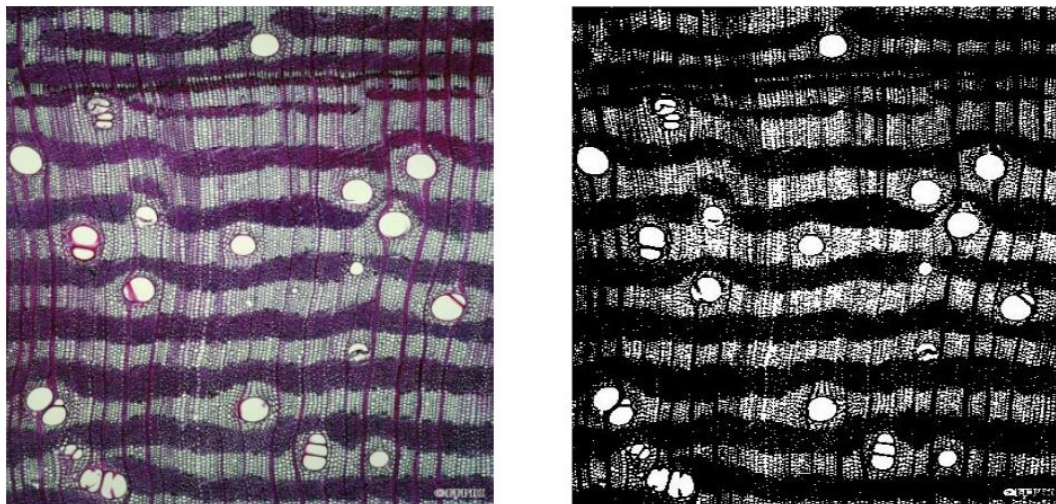
Figure 9. The effect of processing image of using different radius' structural element.

In this paper, the experiment was carried out by increasing $R=1$ in order, and it can be found from the above figure that the effect is better at $R=8$. From figure 8, we find that the morphology of axial thin-walled tissue and ducts have basically been extracted, and the results are still better. In the above series of discussions, we have focused on the microscopic images of large leaf cones [23-26], and then the distribution of axial thin-walled tissues and ducts varies greatly among different tree species, so whether the algorithm in this paper can be applied to different tree species will be discussed in the next section.

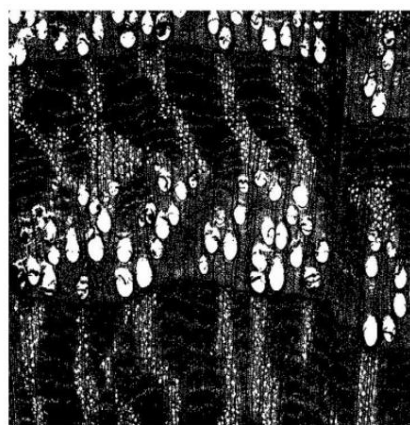
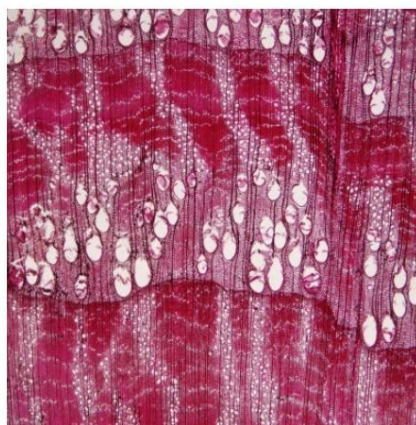
Experimental results and analysis of the extraction effects of different tree species

The algorithm shown in pervious paper was used to process the microscopic images of 10 wood cross-sections, and good results were obtained for all of them. good results. Figure 10 shows the cross-sectional microstructure images of the 10 wood species, as well as the comparison of the axial thin-walled tissue and conduction.

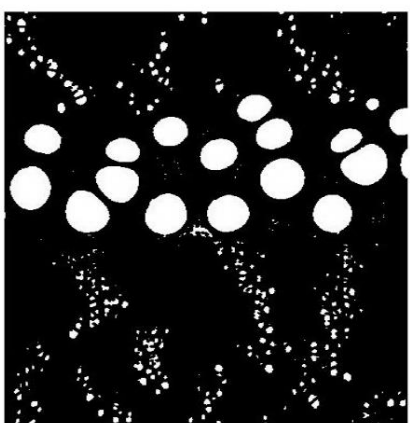
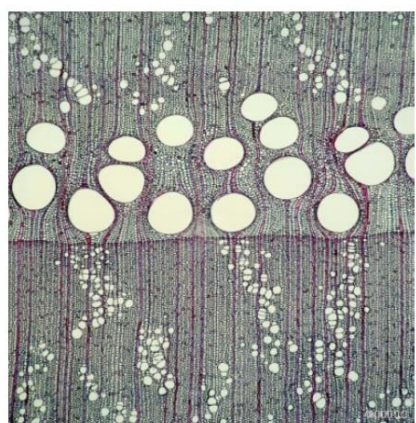
The comparison of the cross-sectional microstructure images and axial thin-walled tissue and conductor morphology of the 10 species is shown in figure 10. These 10 species are: water bark, chinkapin, Japanese millet, broussonetia, tianxian fruit, sapodilla, rowan, brown leaf tree, beech, and narrow leaf park.



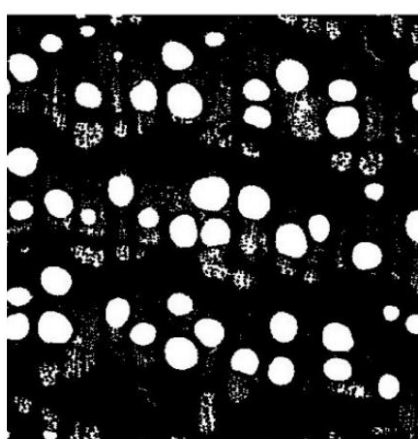
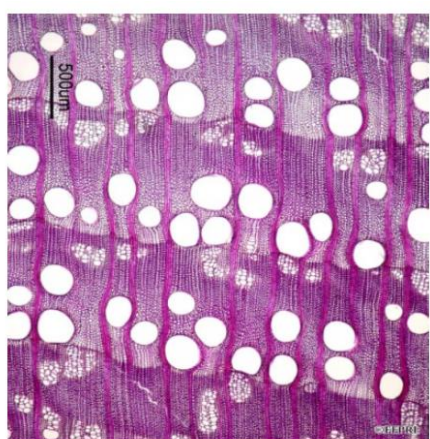
(a) Hydrocotyledon.



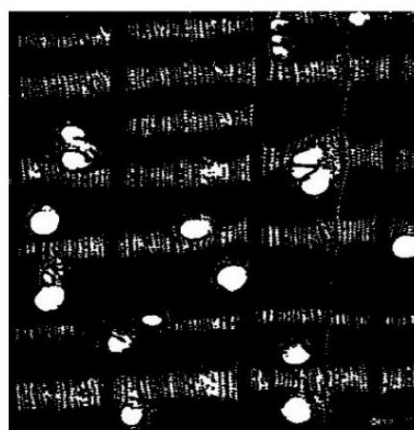
(b) Rice chink.



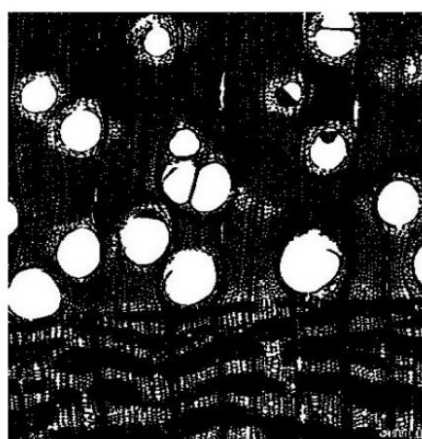
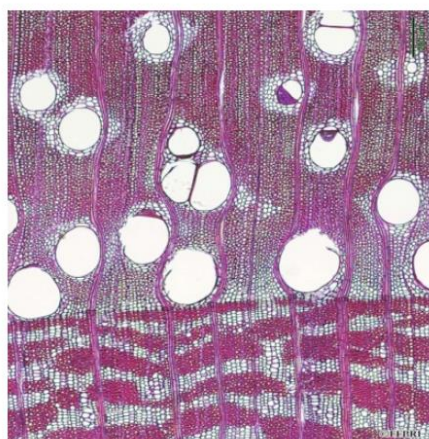
(c) Japanese corn.



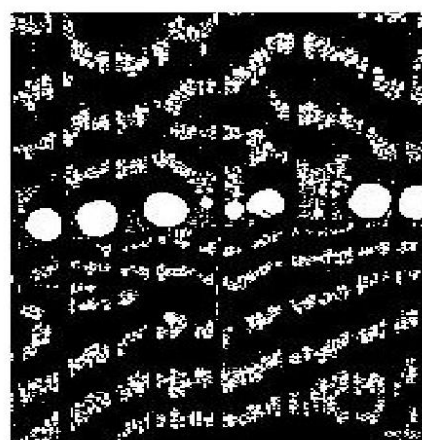
(d) Broussonetia.



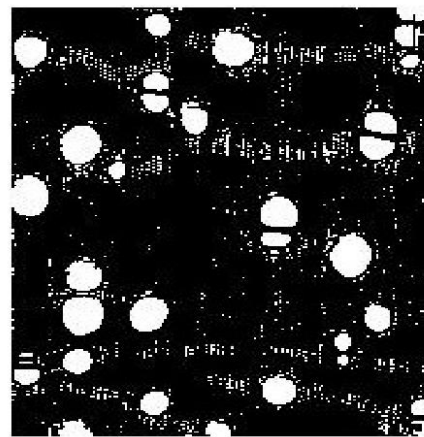
(e) Tian Xian Guo.



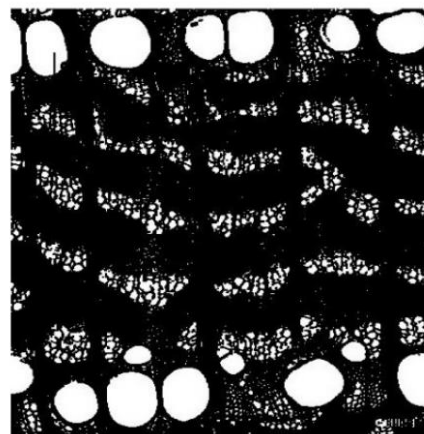
(f) Sapindus.



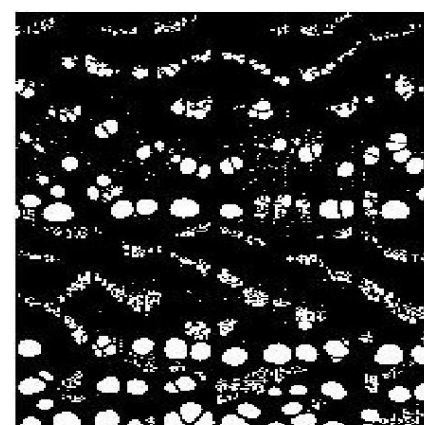
(g) Catalpa.



(h) Rough-leaved trees.



(i) Beech tree.



(j) Narrow-leaved Park.

Figure 10. Microstructure images and results of axial parenchyma and pores Segmentation.

Table 1. The comparison of using different shapes and sizes structural element for different tree species.

Tree species	Structural elements during expansion		Structural elements during corrosion	
	Shape	Size	Shape	Radius
Water yellow skin	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=2
Quercus chinensis	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=4
Japanese corn	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=5
Broussonetia	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=4
Tian Xian Fruit	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=4
Sapindus	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=3
Catalpa	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=3
Rough Leaf Tree	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=4
Beech Tree	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=3
Narrow-leaved Park	Figure 10	3*3	Disc-shaped	R=3

The comparison of the left and right images in figure 10 shows that the morphology of axial thin-walled tissue and ducts has been successfully separated from the original image of wood by the present algorithm processing. It can also be found in the figure that some wood microscopic images may be acquired with incomplete morphology of the axial thin-walled tissue due to external factors, as in figure 10(i). Therefore, the quality of wood microscopic images also affects the extraction effect, and good quality images will make the extraction better, which also facilitates the analysis and understanding of the images. From table 1, we can see that the shapes of the selected structural elements are the same for the morphological processing of these different species [23-27], but the sizes of the selected disc-shaped structural elements are different for the erosion operation. In short, processing different wood images, as long as the selection of the appropriate radius of the circular structural elements, you can get good results. After several experiments, we found that the radius of the disc-shaped structural element is between 1 and 10 when the image is corroded with the disc-shaped structural element for the extraction of axial thin-walled tissues and ducts. The results are better when processed between here and there. The morphology of the axial thin-walled tissue and the ducts have been extracted, and the next step is to successfully extract the axial thin-walled tissue by filtering out the ducts from them. How to filter out the ducts will be discussed in the next chapter.

Summary of this chapter

This chapter focuses on the extraction methods of axial thin-walled tissues and ducts in wood cross-section micrographs. Firstly, it introduces the methods of digital image segmentation and analyzes the advantages and disadvantages of commonly used digital image methods, secondly, it proposes a morphology-based extraction method by combining the distribution characteristics of axial thin-walled tissues and ducts in wood cross-section microscopic images and previous research on wood identification, and finally, through experimental analysis and verification, the algorithm is able to effectively extract the morphology of axial thin-walled tissues and ducts in wood microscopic images.

EXTRACTION OF AXIAL THIN-WALLED TISSUE BASED ON AREA HISTOGRAM OF CLOSED AREA

In this Chapter of the paper, the extraction method of axial thin-walled tissue and ducts of wood based on mathematical morphology has been proposed, and it has been experimentally verified that the method can successfully extract the morphology of axial thin-walled tissue and ducts from the wood cross-section microscopic images.

The wood image has been processed by the algorithm in the previous chapter, and although some other wood grain features have been filtered out, the morphology of the ducts has not been filtered out. Next, as long as the morphology of the ducts is filtered out from the binary image, then the axial thin-walled tissue can be separated independently. Therefore, in this paper, we propose an axial thin-walled tissue extraction algorithm based on the area histogram of the enclosed area in combination with the knowledge of wood science. Since the area of ducts is much larger than that of axial thin-walled tissues, they can be easily distinguished by the area feature [28-31].

In this paper, we firstly label the closed areas in the binary images containing only conduit and axial thin-walled tissue morphology, secondly calculate the area of these already labeled closed areas, and then draw a histogram of the area of closed areas to determine the area threshold from which the axial thin-walled tissue is successfully separated. The whole processing flow of the algorithm is shown in figure 11.

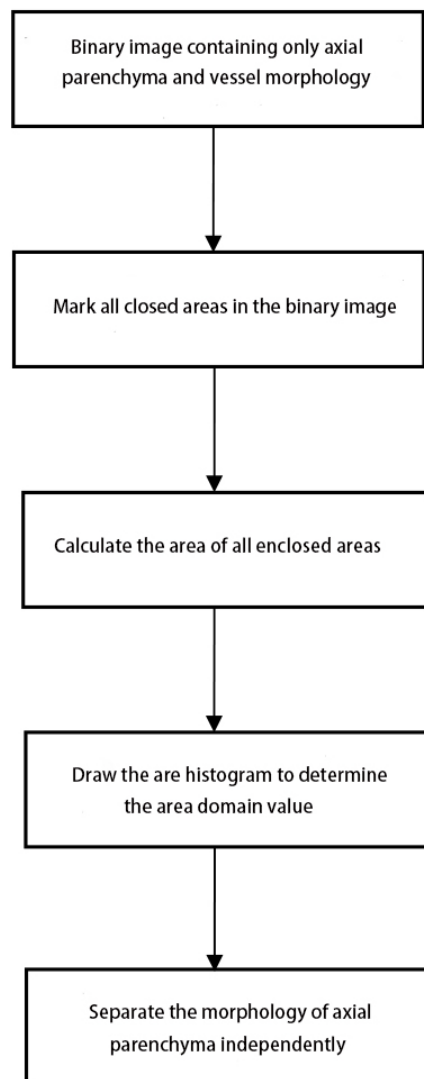


Figure 11. Flow char for the extraction of axial Parenchyma.

Label all closed regions in the binary image

To obtain the area of closed regions in binary images containing only axial thin-walled tissue and duct morphology, it is necessary to label these closed regions to facilitate the calculation. There are two general ways to label closed regions in binary images: four-neighborhood and eight-neighborhood. Suppose a pixel p in a binary image has the coordinates (x,y) , and each pixel has two horizontal and two vertical pixel points, then the coordinates of the two horizontal and two vertical pixel points of pixel p with coordinates (x,y) are $(x,y+1)$, $(x,y-1)$, $(x+1, y)$, and $(x-1,y)$, respectively. $n1(p)$ is defined as the set of these four neighboring pixels of p , as shown in the black shaded part in figure 12(a). $N2(p)$ is defined as the set of these four neighboring pixels of p in the diagonal direction, as shown in the black shaded part in

figure 12(b). The concatenation of $N1(p)$ and $N2(p)$ is the set of eight neighbors of p , denoted as $N3(p)$. The set of $N1(p)$ and $N2(p)$ is the set of eight neighbors of p , denoted as $N3(p)$, as shown in the shaded part in figure 12 (c).

In this paper, we use 8-neighborhoods to label all closed regions in the binary image, and the pixels in each different closed region are assigned to a unique integer ranging from 1 to the total number of pixels in each different closed region are assigned to a unique integer ranging from 1 to the total number of closed regions [32-36]. That is that is, the pixel with marker value 1 belongs to the first closed region; the pixel with marker value 2 belongs to the second closed region; and so on to obtain the corresponding marker matrix and the total number of closed regions. Figure 13(a) shows the result of the labeling process in figure 13(b).

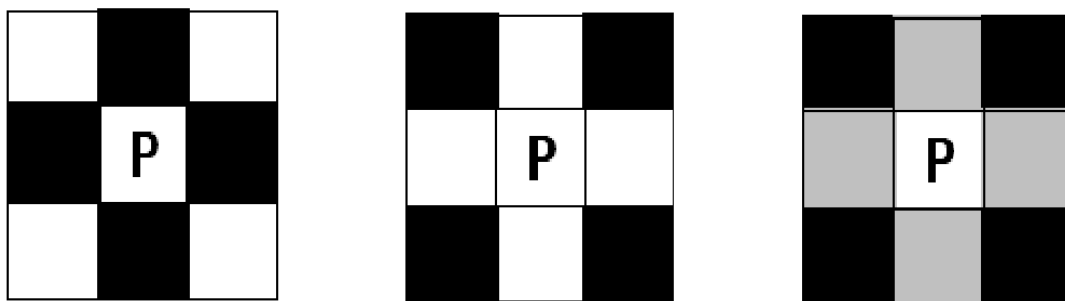


Figure 12. Four neighborhood and eight neighborhoods:

(a) Pixels P and four neighborhoods; (b) Pixels P and four diagonal neighborhoods; (c) Pixels P and eight neighborhoods.

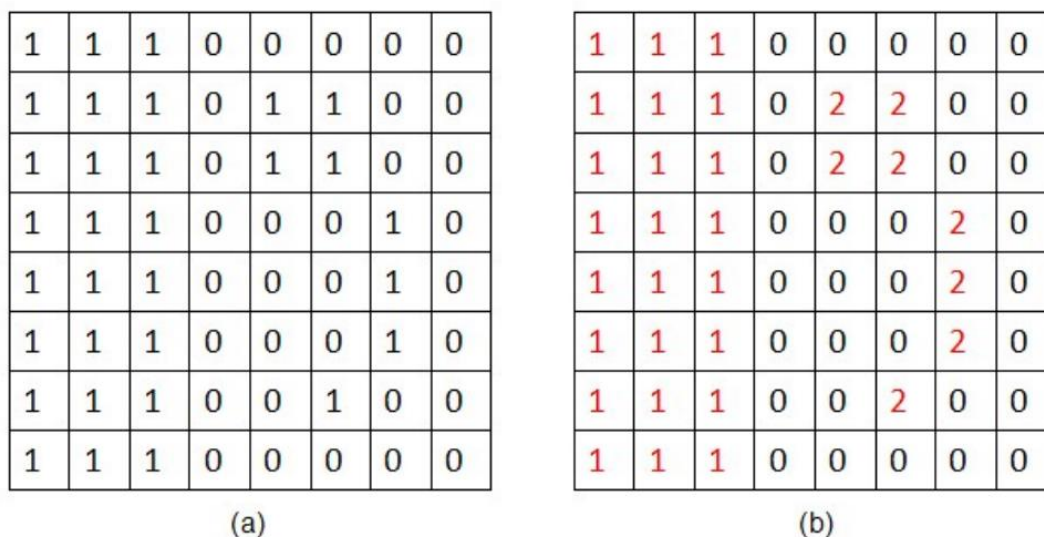


Figure 13. The demonstration diagram of making the closed area

(a) Binary image; (b) The effect is obtained by using the 8 neighborhoods.

Calculation of the area of the closed area

After the algorithm from the previous chapter of this paper, the wood microscopy image contains only the axial thin-walled tissue and duct morphology, and the image is a binary image at this point. After labeling all the closed areas in the binary image as in the previous section, we can count the area of each closed area by using the pixel-counting area method. As the name suggests, this is a relatively simple method of calculating the area by counting the number of pixels in each enclosed area.

After extracting the axial thin-walled tissue and ducts, a binary map containing only these two morphologies can be obtained [34-37], and the axial thin-walled tissue and duct morphological regions in the binary image are labeled as 1, while the other parts are labeled as 0. Assume that after labeling, the number of closed regions is n , and the number of 1, 2, 3 n in the labeling matrix is a_1 , a_2 and a_3 a_n (whose initial values are all 0). By scanning the values of the matrix one by one, a_1 is added 1 for each value of 1, a_2 is added 1 for value of 2, a_3 is added 1 for value of 3, a_4 is added 1 for value of 4, and so on. The values of a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 a_n are the area of each enclosed region. The area S of the enclosed area can be calculated from the following formula.

$$S = \sum_{(x,y \in p)} 1 \quad (1)$$

In Equation (1), p is the point with a pixel value of 1. The area S is the total number of pixels in the enclosed region. This method is not only simple, but also has a small error, and is the best estimate of the area of the original closed region.

Area histogram

A histogram is a graph that represents the distribution of data using a series of rectangles of equal width and unequal height. The width of the rectangles indicates the interval of the data range, and the height of the rectangles indicates the frequency of the data within a given interval. The function of the histogram is to facilitate the analysis of the distribution pattern of a quality characteristic; to convey information about the fluctuation of the process state; and to facilitate people to determine where to make quality improvements [35-38].

In the binary image containing only axial thin-walled tissue and ducts, by analyzing the respective distribution characteristics and morphological features of axial thin-walled tissue and ducts, it was found that the area of axial thin-walled tissue to ducts varied greatly, so by

calculating the area and drawing a histogram, and then by using the histogram, the area threshold could be visually determined, and then they could be distinguished.

In this paper, instead of simply displaying the area of all the closed areas calculated above directly in a histogram, all the areas are reduced to between 0 and 255, and the maximum value of the area of these closed areas must be reduced to 255, and all are expressed as integers (rounded off). If the maximum value of area is a , then all the area thresholds are divided by T ($T=a/255$), so that all the areas can be reduced to between 0 and 255. In this paper, we use the matlab software to analyze and process the images. After the above processing, we can directly use the function `imhist` in Matlab to display the histogram, which saves the time of data processing; secondly, the area of the closed area less than 255 will be reduced to 0, which can increase the difference between the closed area of axial thin-walled tissue and the closed area of the duct in the histogram. In conclusion, the axial thin-walled tissue can be better separated from the catheter.

Determination of the area threshold of the closed area

In the binary image containing only the duct and axial thin-walled tissue morphology, the area threshold can be intuitively obtained from the histogram because the area of the duct is much larger than that of the axial thin-walled tissue. From the theoretical analysis, it is known that the area of the closed area of the catheter will be biased to the right side of the coordinate axis, and the area of the closed area of the axial thin-walled tissue will be biased to the left side of the coordinate axis. After extensive experiments, it is also found that the number of catheters in an image can be roughly estimated as b . Then, the area of b closed areas can be found from right to left in the histogram, which is the area of catheters displayed on the histogram.

Separate out the axial thin-walled tissue

Once the area threshold of the closed area is obtained from the histogram, the closed areas larger than the threshold can be removed. Therefore, the original binary image is transformed into a labeled matrix after processing in the previous section, and then transformed into a binary image after processing by the method shown in this section, and the morphology of the ducts is also filtered out from the image. After a series of processing, the morphology of the axial thin-walled tissue was successfully extracted from the wood micrographs [38-40].

Assuming that the obtained area threshold is 10, then all closed areas with area greater than 10 are to be removed. After processing in figure 14(a), figure 14(b) is obtained.

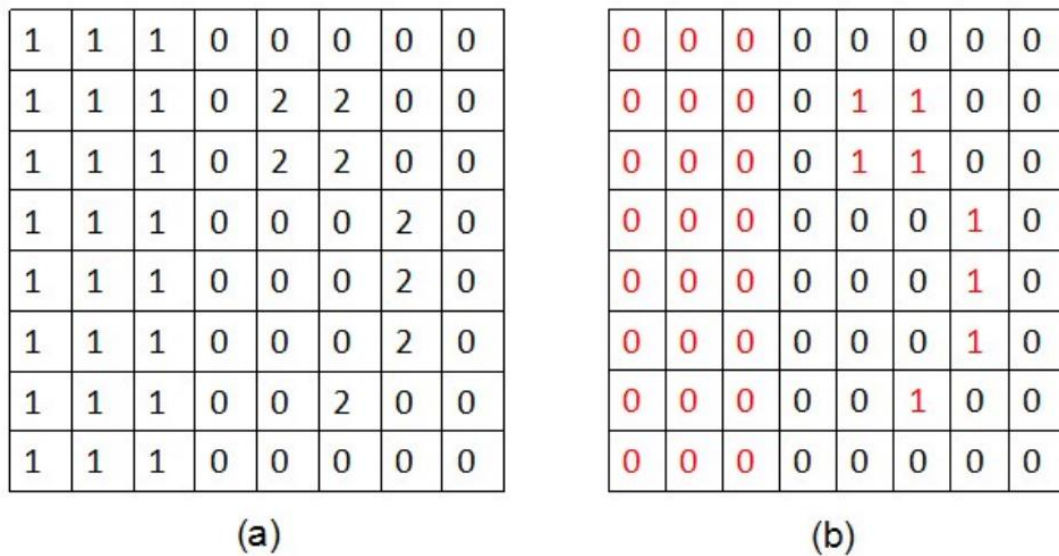


Figure 14. The demonstration diagram of removing large closed area: (a) Label matrix; (b) Binary image after processing.

Experimental results and analysis

Histogram of the area of the large leaf cone

For figure 8, the area histogram obtained by applying the algorithm described in this chapter is shown in figure 15.

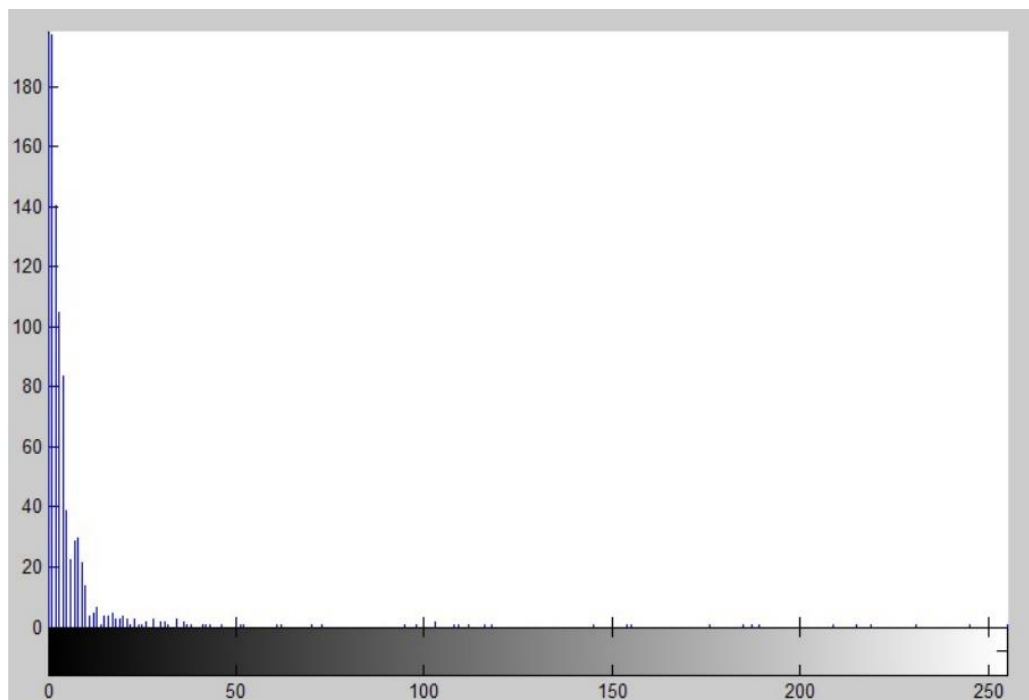


Figure 15. The area histogram of Castanopsis megaphylla closed area.

According to the area histogram, the area threshold is determined as $ST=35 \cdot T=5190.2=5190$ (if p is not an integer, it can be rounded up to an integer). Since the area of the closed area is divided by T when the histogram is drawn, the area threshold is multiplied by T to be the original area threshold of the closed area.

Analysis of experimental results after processing of large leaf cone images

With the area threshold determined above and the processing of the algorithm in this chapter, the result is shown in figure 16 below.

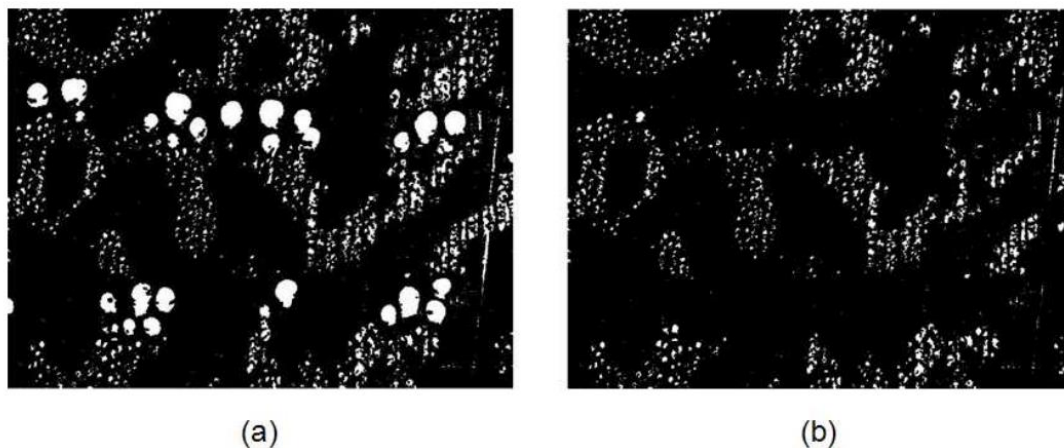
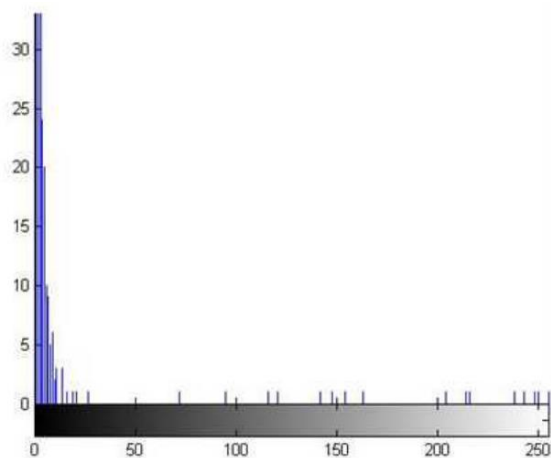


Figure 16. Original binary images and their results of axial parenchyma and pores Segmentation: (a) the images of axial parenchyma and pores; (b) the images of axial parenchyma.

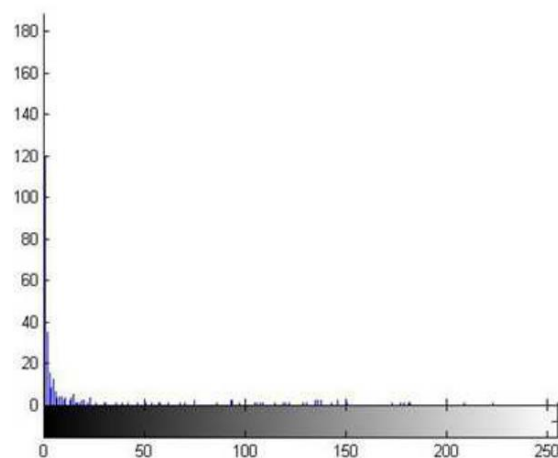
As can be seen from the above figure, for the image of the large leaf cone, applying the algorithm in this chapter is indeed able to filter out the ducts from the axial thin-walled tissue, so that only the axial thin-walled tissue pattern is present in the image [41]. Whether this algorithm can also achieve good results for other wood images will be analyzed in the next subsection.

Analysis of experimental results of axial thin-walled tissue extraction from different tree species

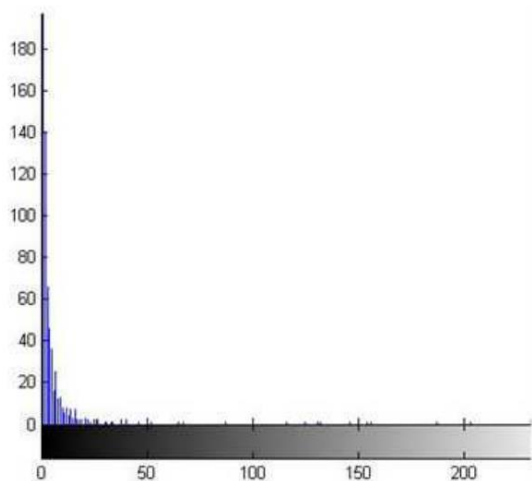
Histogram of area thresholds and area thresholds for different tree species. For the binary images containing only axial thin-walled tissue and duct morphology for the 10 different tree species on the right side of figure 10, the area histograms of the enclosed areas obtained after processing by this algorithm are as follows.



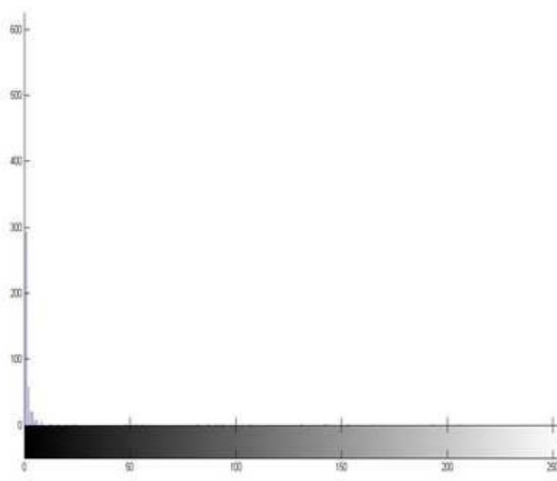
(a)



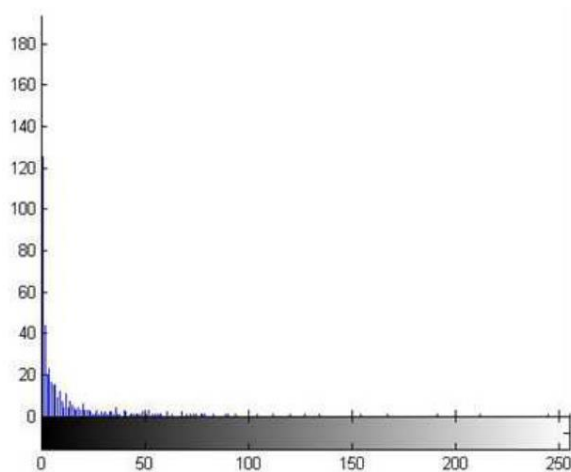
(b)



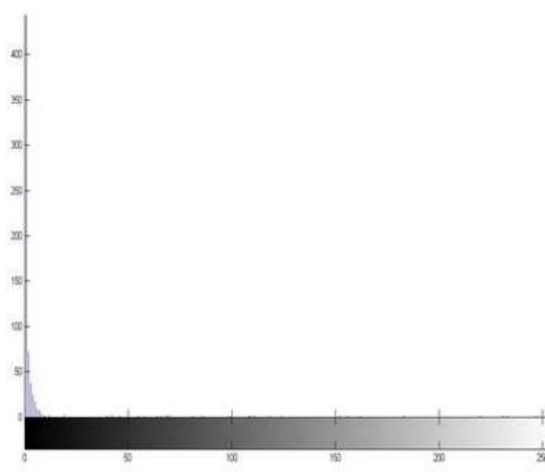
(c)



(d)



(e)



(f)

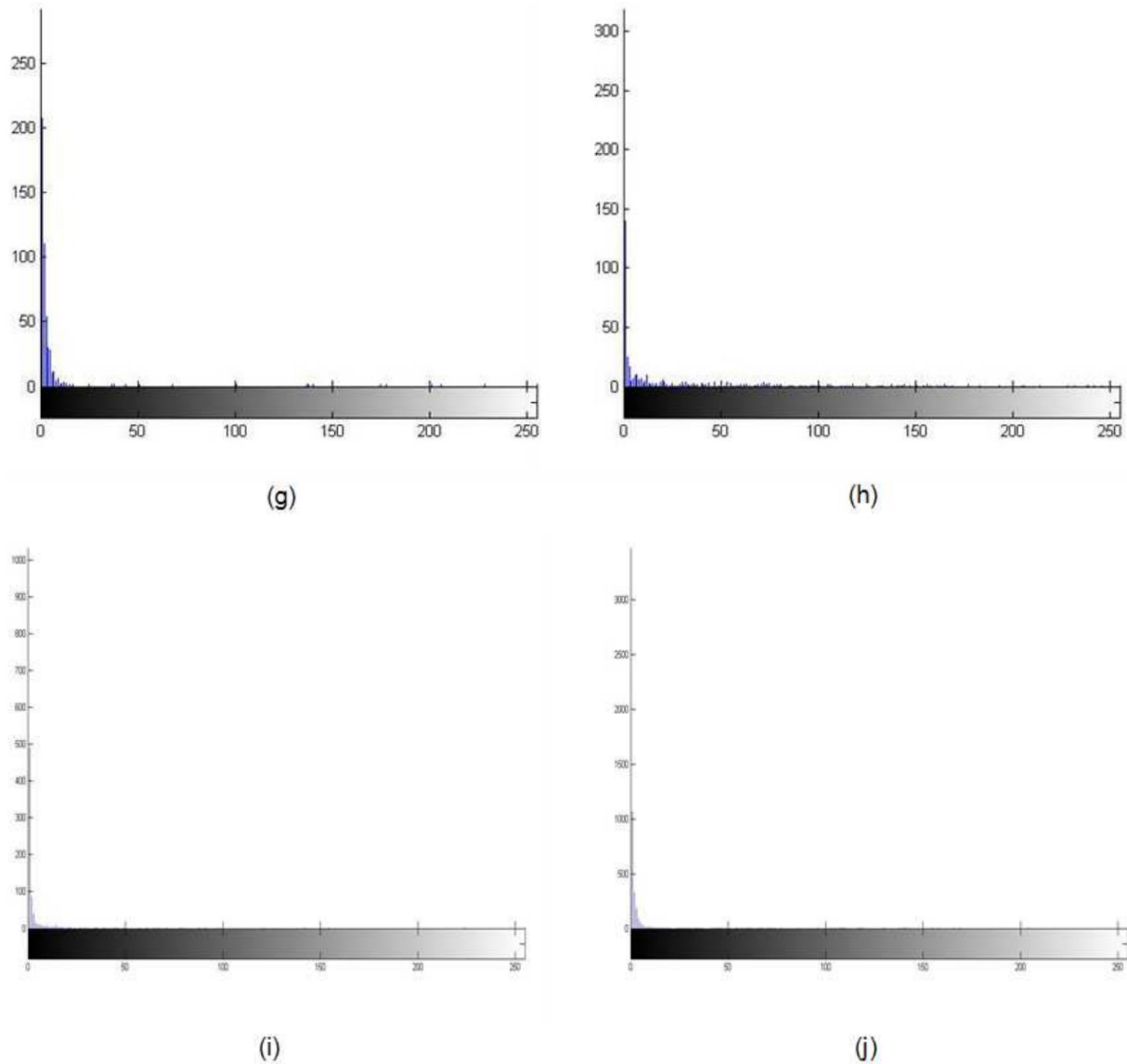


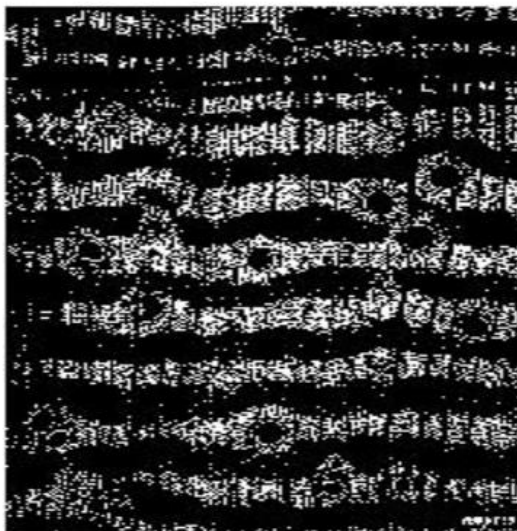
Figure 17. The area histogram of the closed area in the binary images of different species of trees: (a) *Pongamia pinnata*; (b) *Castanopsis carlesii*; (c) *Castanea crenata* Sieb; (d) *Broussonetia papyrifera*; (e) *Ficus beecheyana* Hook; (f) *Sapindus mukorossi* Gaertn; (g) *Kalopanax septemlobus*; (h) *Aphananthe aspera*; (i) zelkova tree; (j) jessoensis Koidz.

The closed threshold area thresholds determined from the area histograms above, are shown in table 2.

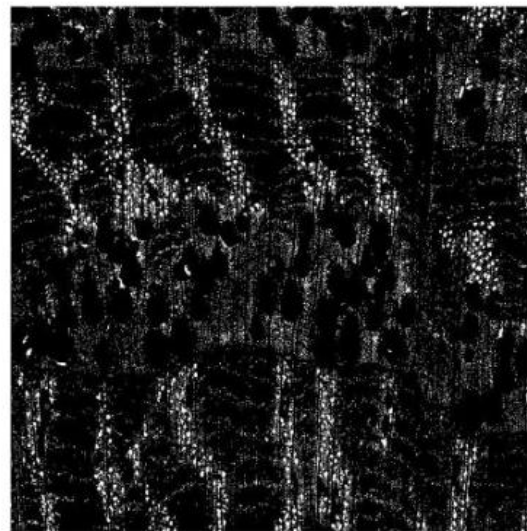
Table 2. The closed area threshold in the binary images of different species of trees.

Tree species name	Closed area threshold
Water yellow skin	2000
Quercus chinensis	2000
Japanese corn	1000
Broussonetia	700
Tian Xian Fruit	550
Sapindus	1500
Catalpa	6000
Rough Leaf Tree	2000
Beech Tree	2500
Narrow-leaved Park	1200

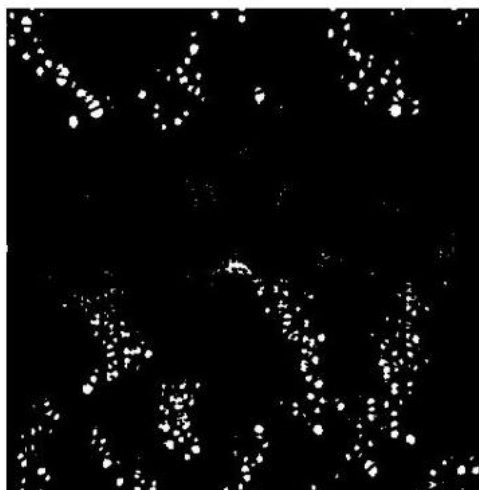
Analysis of experimental results for different tree species using this algorithm to extract axial thin-walled tissues. Based on the thresholds in table 2 and the algorithm described in this chapter, the effect of processing the image on the right in figure 10 is shown in figure 18.



(a)



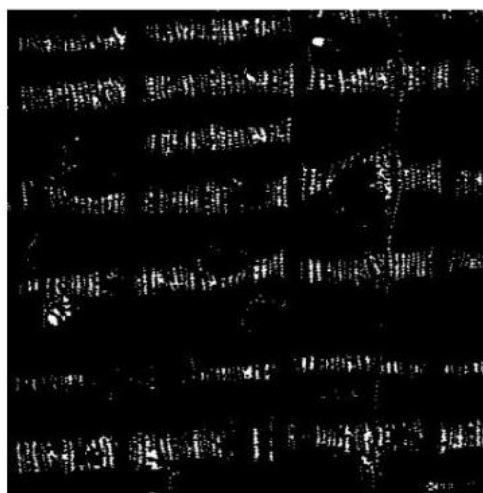
(b)



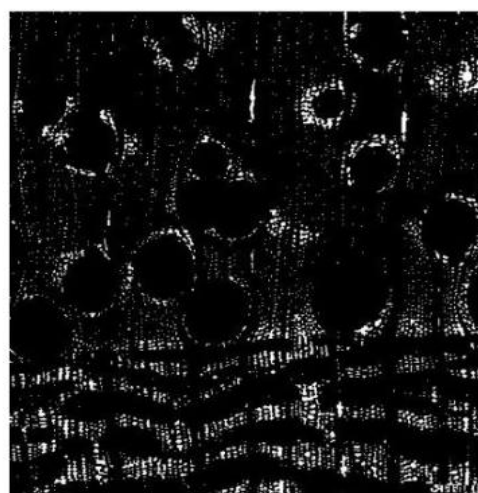
(c)



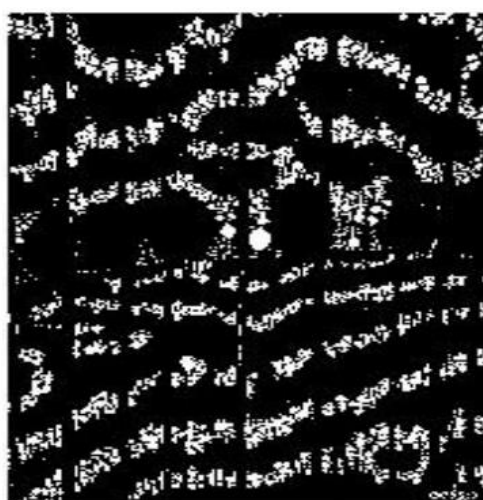
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

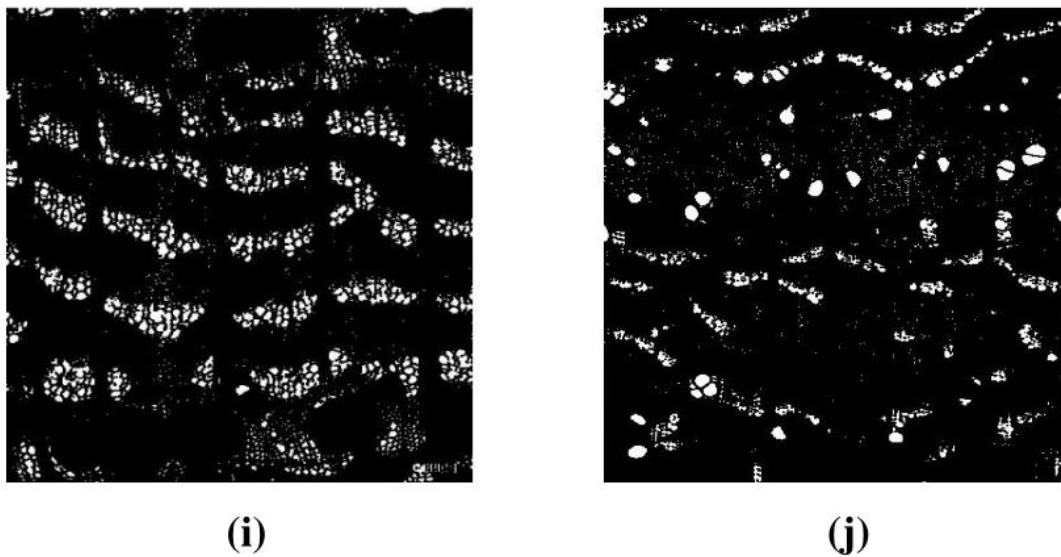


Figure 18. The results of axial parenchyma segmentation: (a) *Pongamia pinnata*; (b) *Castanopsis carlesii*; (c) *Castanea crenata* Sieb; (d) *Broussonetia papyrifera*; (e) *Ficus beecheyana* Hook; (f) *Sapindus mukorossi* Gaertn; (g) *Kalopanax septemlobus*; (h) *Aphananthe aspera*; (i) zelkova tree; (j) jessoensis Koidz.

After the original wood micrographs were grayed out, noise reduction, binarization, morphological processing, labeling the area of the closed area, calculating the area of the closed area, drawing a histogram to determine the area threshold, and filtering out the ducts, the final result is shown in figure 18.

Comparing figure 18 with the image on the right side of figure 10, it can be seen that the ducts have been filtered out and only the axial thin-walled tissue morphology remains. It can be said that the axial thin-walled tissue patterns can be successfully extracted from the wood micrographs for different species using this algorithm, which indicates that the method described in this paper is effective. However, there are various types of axial thin-walled tissues in broad-leaved wood [42], such as off-tube and on-tube in relation to the position of the ducts, and the aggregation of thin-walled tissues can be divided into scattered, whorled, winged, aggregated winged, banded, etc.

The method in this paper may have slightly different effects on the extraction of these different combinations of thin-walled tissues, but as long as the image is eroded and the area threshold is determined. However, as long as the appropriate circular structure elements and accurate area thresholds are selected, this difference can be reduced and a good extraction effect can be achieved.

Summary of this chapter

This chapter focuses on how to extract axial thin-walled tissue from binary images containing only axial thin-walled tissue and duct morphology. Combining the knowledge of wood science and computer vision, this chapter explores the axial thin-walled tissue extraction algorithm based on the area histogram of the closed region, carefully analyzes each step of the algorithm and demonstrates it with effect pictures, and finally verifies that the algorithm is effective through experimental data analysis.

SUMMARY AND OUTLOOK

Conclusion of this paper

Combining the knowledge of wood science and technology and computer vision technology, this paper focuses on the morphological characteristics of axial thin-walled tissues in microscopic cross-sectional images of wood, and explores the algorithm for extracting axial thin-walled tissues of wood. In this paper, firstly, the image is pre-processed; secondly, suitable structural elements are selected, and the expansion and erosion operations of mathematical morphology are applied to extract the binary image containing only axial thin-walled tissue and duct morphology; finally, the axial thin-walled tissue is successfully extracted by analyzing the difference of features between duct and axial thin-walled tissue in the binary image and applying the idea of closed area histogram. When using the algorithm proposed in this paper to process some microscopic images, and through several experiments and analyses, we can obtain the following conclusions.

- When noise reduction is applied to the image by median filtering, generally 3*3, 5*5, 7*7 and 9*9 windows are used for filtering, but 9*9 is the best when the purpose is to extract thin-walled tissue in the axial direction.
- The distribution of axial thin-walled tissues is different in microscopic images of different tree species, and the distribution of axial thin-walled tissues is also different in different areas of microscopic images of the same tree species. Therefore, the global threshold value cannot meet the need in image binarization, and the effect of binarization in blocks is better for the extraction of axial thin-walled tissues.
- When the image is expanded, the 3*3 cross-shaped structural elements selected in this paper are more effective.

- In the image etching operation, a disc-shaped structural element is selected. Through a large number of experimental results, it is found that the radius of structural elements is generally distributed between 1 and 10, so that the extraction effect is the best. The 11 species selected in this paper are: water yellow bark, chinaberry, Japanese millet, kozo, tenebrion, sapodilla, rowan, brown leaf tree, beech, narrow leaf park and big leaf cone. The radii of selected disc-shaped structures were: 2, 4, 5, 4, 4, 3, 3, 4, 3, 3, 2, and 8, respectively.
- The method of closed area histogram can visualize the area difference of axial thin-walled tissues and ducts, so as to determine their area thresholds and achieve a good segmentation effect.

Next research directions

The core of this paper is to investigate the characteristics and extraction techniques of axial thin-walled tissue in microscopic cross-sectional images of wood, although this paper has explored an axial thin-walled tissue extraction algorithm, done a lot of theoretical research, and verified the effectiveness of the algorithm through experiments. However, there are still shortcomings [43-45], and there are many excellent and more intelligent algorithms worthy of our study and research, therefore, the following points are the direction of our future research work:

- Improve the quality of the original wood microscopic images. In the study of axial thin-wall extraction techniques, we can know that the quality of wood microscopic images, can affect the effect of axial thin-wall extraction, which is detrimental to the analysis and understanding of the images. Wood microscopic images are obtained by making slices and observing them with a microscope, which generates a lot of noise in the process, how to reduce this noise and obtain higher quality wood microscopic images? The above mentioned will be further researched in the future.
- Collect microscopic images of wood from different tree species. If we have microscopic images of wood from many species with good quality, it will be easier to study the extraction of thin-walled tissue in the axial direction.
- To explore intelligent methods of selecting the size of structural elements. This paper does not introduce an intelligent method for selecting the size of disc-shaped structural elements. How to determine the size of this radius intelligently for each image, which can save a lot of time and improve the efficiency, is also a problem we

need to study in the future.

- Efficient and intelligent axial thin-walled tissue extraction algorithm. The effect of using this method for different images will definitely be different. Therefore, how to extract the axial thin-walled tissue quickly and effectively for the unused images is a major direction for future research [46-48].

In summary, this paper explores the extraction algorithm of axial thin-wall by combining the texture features of some microstructure images of wood. This paper introduces computer vision technology to the study of axial thin-wall tissue of wood, which is rare at present, and provides a possibility for better study of intelligent axial thin-wall tissue extraction technology in the future, and also provides a new way for intelligent recognition of wood.

REFERENCES

- [1] Jiangfeng C., Yikai D. Extraction of plant parenchyma by computer image processing technology. Informatics. Economics. Management. 2022; 1(2): 0134–0167. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-2-0134-0167>
- [2] Jiang Z. Development of IT Industry in China in the New Age: Doctoral dissertation. 2008.
- [3] He W., Hu W., Yang Y., Shen H., Wu Y., Song Y., Liu X. Improved left- and right-hand tracker using computer vision. Student research. 2022: 21-29.
- [4] Hermanson J. C., Wiedenhoeft A. C. A brief review of machine vision in the context of automated wood identification systems. IAWA journal. 2011; 32(2): 233-250.
- [5] Zhao C., Blekanov I. Two Towers Collaborative Filtering Algorithm for Movie Recommendation. Management processes and sustainability. 2021; 8(1): 397-401.
- [6] Yuan C., Liu X., Zhang Z. The Current Status and progress of Adversarial Examples Attacks. Proceedings of 2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE); May 2021; IEEE; 2021: 707-711.
- [7] Cui K. P., Zhai X. R., Wang H. J. A survey on wood recognition using machine vision. Adv For Lett, 2013; 2: 61-66.
- [8] Liu X., Xie X., Hu W., Zhou H. The application and influencing factors of computer vision: focus on human face recognition in medical field. Science, education, innovations: topical issues and modern aspects. 2022: 32-37.
- [9] Shen G., He K., Jin J., Chen B., Hu W., Liu X. Capturing and analyzing financial public opinion using nlp and deep forest. Scientific research of students and pupils. 2022: 66-71.
- [10] Cui K. P., Zhai X. R., Wang H. J. A survey on wood recognition using machine vision. Adv

For Lett. 2013; 2: 61-66.

[11] Chen B., Song Y., Cheng L., He W., Hu W., Liu X., Chen J. A review of research on machine learning in stock price forecasting. Science and modern education: topical issues, achievements and innovations. 2022: 56-62.

[12] Liu Z., Feng R., Chen H., Wu S., Gao Y., Gao Y., Wang X. Temporal Feature Alignment and Mutual Information Maximization for Video-Based Human Pose Estimation. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 2022: 11006-11016.

[13] de Andrade B. G., Basso V. M., de Figueiredo Latorraca J. V. Machine vision for field-level wood identification. IAWA Journal. 2020; 41(4): 681-698.

[14] Liu X., Liu W., Yi S., Li J. Research on Software Development Automation Based on Microservice Architecture. Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology; October 2020; 2020: 670-677.

[15] He K., Song Y., Shen G., He W., Liu W. Based on deep reinforcement learning and combined with trends stock price prediction model. Topical issues of modern scientific research. 2022: 156-166.

[16] Souza D. V., Santos J. X., Vieira H. C., Naide T. L., Nisgoski S., Oliveira L. E. S. An automatic recognition system of Brazilian flora species based on textural features of macroscopic images of wood. Wood Science and Technology. 2020; 54(4): 1065-1090.

[17] Wu J., Lee P. P., Li Q., Pan L., Zhang J. CellPAD: Detecting performance anomalies in cellular networks via regression analysis. Proceedings of 2018 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops; May 2018; IEEE; 2018: 1-9.

[18] Ou S., Gao Y., Zhang Z., Shi C. Polyp-YOLOv5-Tiny: A Lightweight Model for Real-Time Polyp Detection. Proceedings of 2021 IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA); December 2021; IEEE; 2021; 2: 1106-1111.

[19] Chen S., Awano T., Yoshinaga A., Sugiyama J. Flexural behavior of wood in the transverse direction investigated using novel computer vision and machine learning approach. Holzforschung, 2022; 76(10): 875-885.

[20] Xiaomin L., Yuehang S., Borun C., Xiaobin L., Weijun H. A novel deep learning based multi-feature fusion method for drowsy driving detection. Industry and agriculture. 2022: 34-49.

[21] Zhouyi X., Weijun H., Yanrong, H. Intelligent acquisition method of herbaceous flowers

- image based on theme crawler, deep learning and game theory. *Kronos*. 2022; 7(4(66)): 44-52.
- [22] Ergun H., Uzun Y. Artificial intelligence methods applied in wood species identification. *Current Studies in Artificial Intelligence, Virtual Reality and Augmented Reality*. 2022: 136-145.
- [23] Xie Z., Hu W., Fan Y., Wang Y. Research on multi-target recognition of flowers in landscape garden based on ghostnet and game theory. *Development of science, technology, education in the 21st century: topical issues, achievements and innovations*. 2022: 46-56.
- [24] Hu W., Zheng T., Chen B., Jin J., Song Y. Research on product recommendation system based on deep learning. *Basic and applied scientific research: current issues, achievements and innovations*. 2022: 116-124.
- [25] Ibrahim I., Khairuddin A. S. M., Arof H., Yusof R., Hanafi E. Statistical feature extraction method for wood species recognition system. *European journal of wood and wood products*. 2018; 76(1): 345-356.
- [26] Yin L. The time-consistency of optimality principles in multistage cooperative games with spanning tree: Master's thesis. 2017.
- [27] He W., Hu W., Wu Y., Sun L., Liu X., Chen B. Development history and research status of convolutional neural networks. *Student scientific forum*. 2022: 28-36.
- [28] Pedreschi F., León J., Mery D., Moyano P. Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*. 2006; 39(10): 1092-1098.
- [29] Yin L. (). The dynamic Shapley Value in the game with spanning tree. *Proceedings of 2016 International Conference Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems*; June 2016; IEEE; 2016: 1-4.
- [30] Xie Z., Hu W., Zhu J., Li B., Wu Y., He W., Liu X. Left- and right-hand tracker based on convolutional neural network. *Topical issues of modern science of education*. 2022: 61-67.
- [31] Jiajun J., Wanting Y. The use of computer vision technology in intelligent agricultural machinery. *Science and education: preserving the past, creating the future*. 2022: 9.
- [32] Xu J., Chen J., Li B., Li X. Analysis of the bargaining game and buyer's benefit model. *Modern scientific research: topical issues, achievements and innovations*. 2022: 91-96.
- [33] Jiajun J., Yuehang S., Geya S., Borun C., Kun H., Weijia L., Zhouyi X., Yanyou W., Yu X., Weijun H. The use of a discrete differential algorithm for deep learning has been the focus of research into the technologies around visual target tracking. *Industry and agriculture*. 2022: 66-78.
- [34] Sun Q., Zhao C., Petrosian O., Li Y. Power allocation in wireless cellular networks:

stochastic algorithm-based approach. Management processes and sustainability. 2022; 9(1): 357-362.

[35] Petrosian O., Shi L., Li Y., Gao H. Moving information horizon approach for dynamic game models. Mathematics. 2019; 7(12): 1239.

[36] Wang H., Qi H., Li W., Zhang G., Wang P. A GA-based automatic pore segmentation algorithm. Proceedings of the first ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation; 2009: 985-988.

[37] Ma R., Zhang Y., Liu J., Li Y., Petrosian O., Krinkin K. Forecasting and XAI for Applications Usage in OS. Machine Learning and Artificial Intelligence. IOS Press; 2022: 17-27.

[38] Ding Z. H., Yang F. W., Li Y., Petrosian O., Liu Y. Management processes and sustainability. 2022; 9(1): 311-318.

[39] Yin L. Dynamic Shapley Value for 2-stage cost sharing game with perishable products. Proceedings of 2017 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC); May 2017; IEEE; 2017: 3770-3774.

[40] Yin L. Dynamic Shapley value in the game with spanning forest. Proceedings of 2017 Constructive Nonsmoothed Analysis and Related Topics (dedicated to the memory of V. F. Demyanov); May 2017; IEEE (CNSA); 2017: 1-4.

[41] Yin L. The dynamic Nash bargaining solution for 2-stage cost sharing game. Contributions to Game Theory and Management. 2020; 13(0): 296-303.

[42] Petrosian O., Nastych M., Li Y. The Looking Forward Approach in a Differential Game Model of the Oil Market with Non-transferable Utility. Proceedings of Frontiers of Dynamic Games. Birkhäuser, Cham; 2020: 215-244.

[43] Hu W., Liu X., Xie Z. Ore image segmentation application based on deep learning and game theory. World science: problems and innovations. 2022: 71-76.

[44] Cheng M., Li Y. New characteristic function for two stage games with spanning tree. Contributions to Game Theory and Management. 2021; 14: 59-71.

[45] Li Y., Petrosyan O. L., Zou J. Dynamic shapely value in the game with perishable goods. Contributions to Game Theory and Management. 2021; 14(0): 273-289.

[46] Li Y. Dynamic stability of optimality principles in cooperative multistage games with spanning tree: Master's thesis. Saint Petersburg. 2021. 80.

[47] Yin L. Dynamic Shapley Value for Two-Stage Cost Sharing Game. Proceedings of International Conference Dedicated to the Memory of Professor Vladimir Zubov. October 2020.

Springer, Cham; 2020: 457-464.

[48] Li I. Construction of a strongly dynamically stable kernel in cooperative games with complete information. Management processes and sustainability. 2015; 2(1): 635-640.

[49] Lin Y., Chen D., Liang S., Xu Z., Qiu Y., Zhang J., Liu X. Color classification of wooden boards based on machine vision and the clustering algorithm. Applied Sciences. 2020; 10(19): 6816.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Chen Jike, Belarusian State University of
Informatics and Radioelectronics, Minsk,
Belarus
e-mail: 1625297657@qq.com

Zhao Qian (Corresponding Author),
National Aerospace University – "Kharkiv
Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
e-mail: 739742429@qq.com

Статья поступила в редакцию 03.12.2022; одобрена после рецензирования 09.12.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 03.12.2022; approved after reviewing 09.12.2022; accepted for publication 12.12.2022.

УДК: 004.93

EDN: [IEYRBH](#)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0264-0277>



Studying electronic blood pressure monitor digital recognition algorithm based on computer vision and design

Yan Yuqi¹, Liu Xin², Ye Wanting³, Xu Jie⁴, Lian Lihua⁵

¹Nanchang Hangkong University, Nanchang, China

²Drake University, Des Moines, USA

³Beijing University of Chinese Medicine, Beijing, China

⁴Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

⁵Hunan University of Finance and Economics, Changsha, China

Abstract. This study proposed an intelligent algorithm based on digital image processing and character recognition to address the current situation in which the National Medical Products Administration promulgated the relevant regulations on the complete prohibition of the use of mercury sphygmomanometers in 2020 and the currently widely used electronic sphygmomanometers need to undergo regular verification and quality testing. The intelligent algorithm made it possible to automatically acquire the electronic sphygmomanometer indication value during quality assurance or verification. The images of the electronic sphygmomanometer were captured using a Raspberry Pi-connected video camera head; in the software development, automatic detection of the electronic sphygmomanometer's indication value was achieved by running the computer vision-based OpenCV library on the Raspberry Pi and utilizing image preprocessing techniques like scale transformation, grayscale conversion, Gaussian smoothing and edge detection, and character segmentation. The development of intelligent devices for the automatic verification of electronic sphygmomanometers has a technical foundation in the research and design of the digital recognition algorithm, and it has a certain reference value for character recognition of electronic instruments or the creation of automatic instrument indication value recording devices.

Keywords: electronic sphygmomanometer, digital recognition, computer vision, Raspberry Pi, OpenCV.

For citation: Yuqi, Y., Wanting, Y., Xin, L., Jie, X., & Lihua, L. (2022). Studying electronic blood pressure monitor digital recognition algorithm based on computer vision and design. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0264–0277. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0264-0277>

INTRODUCTION

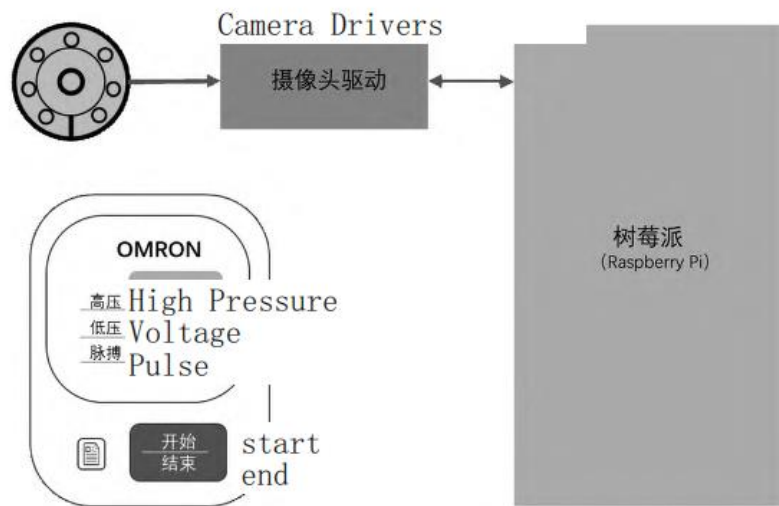
Blood pressure is an important human physiological parameter that is often used in the clinical diagnosis of various diseases. Currently, the most widely the most widely used blood pressure measuring instruments in medical institutions are mercury sphygmomanometers and electronic sphygmomanometers. On October 14, 2020, the State Drug Administration issued a document stating that From January 1, 2026, China will completely ban the production of mercury-containing thermometers and sphygmomanometers [1]. With the gradual implementation of the mercury ban policy, the electric with the gradual implementation of the mercury ban, electronic sphygmomanometers will be a mandatory replacement for mercury sphygmomanometers. Electronic sphygmomanometers are simple to operate, intuitive to measure, and have advantages such as self-service blood pressure measurement and memory storage. However, there are literature and industry analyses show that electronic sphygmomanometers have high errors and need to be regularly.

Thus, it is necessary to automatically detect the electronic blood pressure in a correct manner. Therefore, it is necessary to automatically identify the measurement values of electronic sphygmomanometers during the calibration or quality control process in order to improve and avoid errors and omissions caused by manual recording [2-4]. The research direction is currently focused on computer vision refers to the use of image processing, pattern recognition, human. The computer vision refers to the use of artificial intelligence and other technologies to replace the human eye for target recognition, tracking, measurement to replace the human eye to recognize, track, measure, and perceive, identify, and understand the objective world. Eventually, it is process of implementing human vision functions on a computer platform. Currently computer vision technology has been widely used in the fields that require manual recognition. The advantages are high accuracy, high speed, and avoidance of recording errors caused by human errors. In this context, this study designs a computer vision-based digital recognition algorithm for electronic blood pressure monitors [5-8].

HARDWARE PLATFORM AND SOFTWARE FOUNDATION

When choosing a hardware platform, the system's functionality of the ARM-Linux operating system is the basis for the design. The Raspberry Pi with its ARM-Linux operating system has been chosen for this design. This design uses the Raspberry Pi (Raspberry Pi), which runs the ARM-Linux operating system. The driver and application are created on the Raspberry

Pi to obtain the image of the electronic blood pressure monitor. Using Raspberry Pi, and by designing the driver and application on the Raspberry Pi to obtain the image of the electronic



blood pressure monitor [9-11], it was possible to realize the image acquisition of the electronic

Figure 1. Schematic of the hardware platform of the Raspberry Pi-based system.

sphygmomanometer display value. The complete hardware acquisition system is shown in figure 1.

This design chooses the Python-based OpenCV computer vision library for the software development environment. OpenCV is a computer vision library written in Python. The digital character recognition of the captured images is made possible by using intelligent recognition algorithms and digital image processing technology.

Algorithm Implementation

By transforming, noise reduction, and noise reduction to reduce the useless information in the image, remove the noise in the image noise, and highlight data features for edge detection [11-14], feature extraction, image segmentation, and character recognition, the digital image processing aims to reduce the useless information in the image are used. In order to perform edge detection, feature extraction, image segmentation, and character recognition later, digital image processing reduces the image's unnecessary information, removes image noise, and highlights the features of the data image. Figure 2 illustrates the process of character segmentation recognition and image processing.

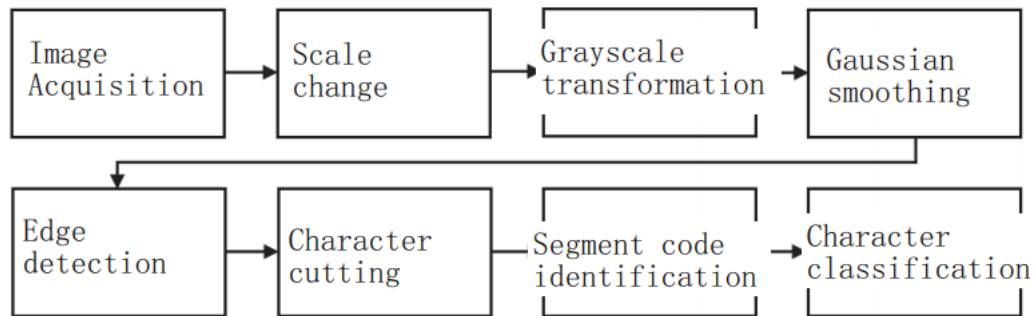


Figure 2. Image processing and character segmentation recognition flow chart.

Image pre-processing

Image preprocessing consists of scale transformation, grayscale conversion, Gaussian smoothing sliding and edge detection. The preprocessing can reduce the computational effort of image processing and remove the noise in the image, which reduces the complexity for the subsequent character. The preprocessing reduces the computational effort of image processing and removes the noise in the image [15-18], which reduces the complexity and provides more accurate input images for subsequent character segmentation recognition.

Scale change. The Raspberry Pi acquires images with a resolution of $1,280 \times 1,024$ and performs real-time image analysis processing, which is computationally intensive. In order to reduce the Raspberry Pi is a real-time image analysis process, which is computationally intensive [19-22]. The captured image is compressed and transformed to 640×512 , and the data processing volume is 1/100th of that before compression. The amount of data processing is 1/4 of that before compression, and the scale transformed image is shown in figure 3a.

Grayscale conversion. The Raspberry Pi's camera can capture color images, and because each pixel is made up of three different colors — R, G, and B — each of which has 255 magnitudes, each pixel has a color variation range of more than 16 million (255255255). The R, G, and B components are mapped between 0 and 255 using a special algorithm known as the grayscale transform, which can significantly lessen the processor's computational load. The component method, maximum method, average method, and weighted average method are currently the most popular grayscale transformation techniques [23-26]. This design uses the weighted average method to process images into grayscale, which is represented in figure 3b by the code `cv2.cvtColor(image,cv2.COLOR_BGR2GRAY)`.

Gaussian smoothing. In image processing, gaussian smoothing is frequently utilized for noise reduction and the avoidance of the goal of Gaussian smoothing is to create a flat image by using the nonlinear low-pass noise in the image signal. The goal of Gaussian smoothing is to produce a flat [27-31], gradual image with less noise by using a Gaussian filter to remove noise from the image signal [9]. A 55 Gaussian filter was used in this design to apply the Gaussian smoothing. Figure 3c illustrates the filtered effect.

Edge detection. An edge is a local area of an image where the pixel set has undergone a stepwise grayscale transformation. Grayscale values in the same region are typically more evenly distributed than those in other regions, which are somewhat dispersed across regions [32]. This property allows us to obtain the LCD border line of the sphygmomanometer for later analysis. This design utilizes an edge detection operator that is Canny algorithm optimized, which has good noise immunity and can detect edges with accuracy. Figure 3d displays the edges that were discovered.

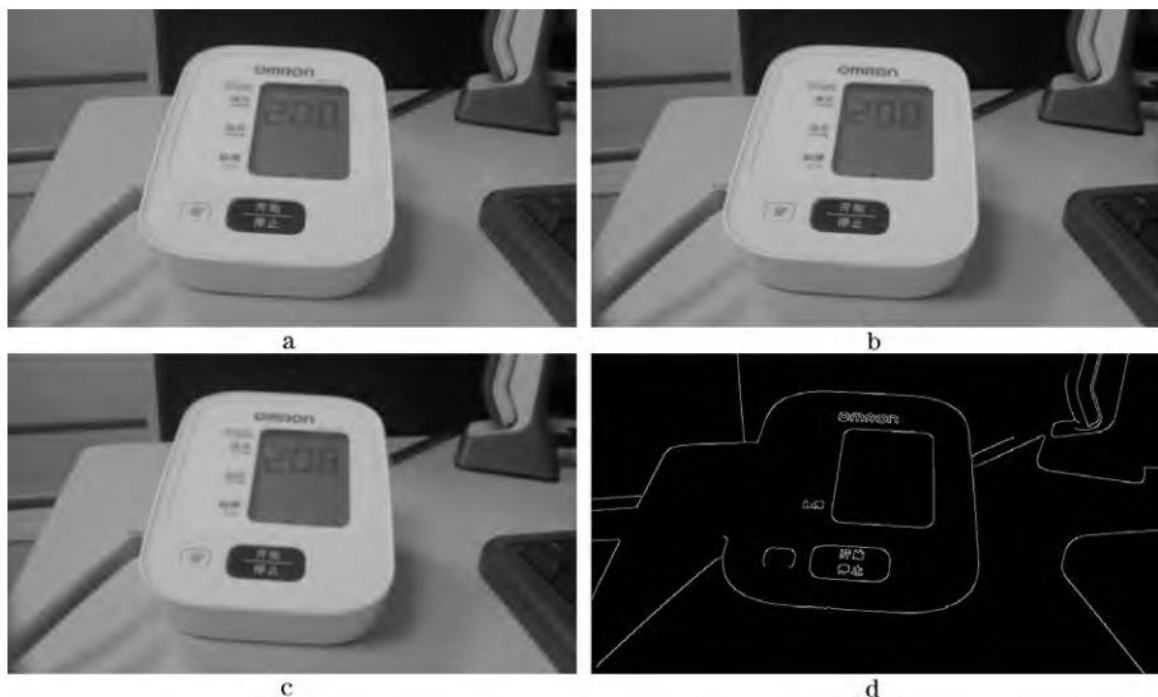


Figure 3. The effect of each stage after treatment: a : Scale change, b : Grayscale conversion, c : Gaussian smoothing, d : Edge detection.

Additionally, researchers are evaluating additional models and techniques for predicting stock values. As more data sets and more hardware become accessible, deep learning continues

to improve. This has resulted in significant advancements in disciplines such as image recognition [33], speech recognition, and natural language processing.

Character segmentation

The region of interest, the largest rectangular area in the figure, which is the data area displayed on the LCD screen area, was obtained through image preprocessing. Since the Raspberry Pi camera's shooting angle cannot be adjusted automatically Since the LCD display is not always a front view, we use It is for this reason that we use the four-point transform function of the imutils library's perspective transformation to correct the image [34].

The character contours on the image above were retrieved using the imutils library's grab contours function after using cv2.findContours to correct the character data in the LCD area. The contours are stored in the grab contours of the imutils library to facilitate character recognition. The effect of character segmentation is shown in figure 4.

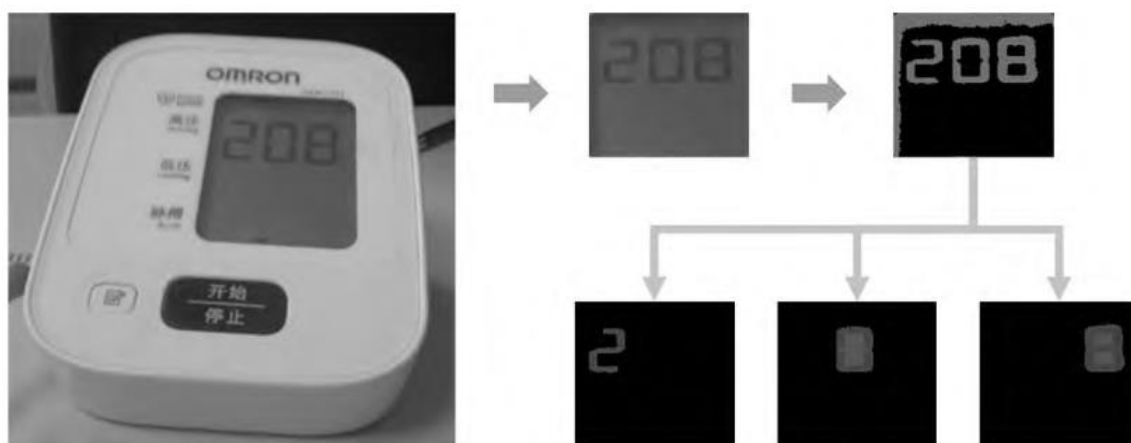


Figure 4. The effect of character segmentation.

Segment code identification

The electronic blood pressure monitor's value is made up of a combination of seven LCD segment codes. We designed a unique right-angle coordinate system model for the seven segments in order to achieve precise segment recognition. A unique right-angle coordinate system model is made for each of the seven segments in order to achieve accurate segment recognition, and figure 5 details the important character positions. For instance, the image is binarized by 0 and 1 and the a-segment code corresponds to the rectangular region from (0,0) to (w,dh). Binarization of the image into 0 and 1.

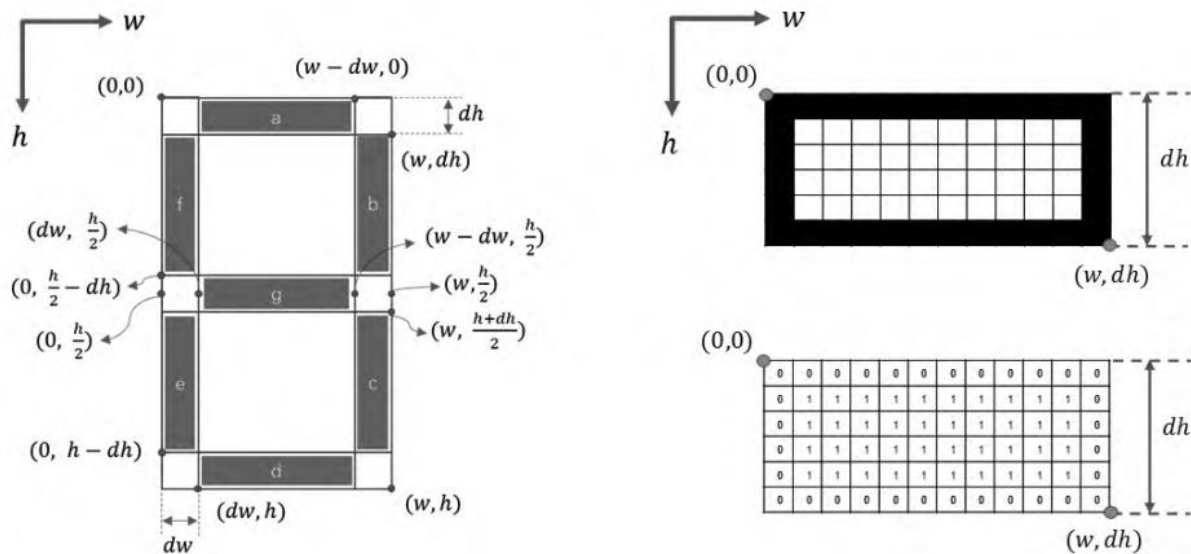


Figure 5. Liquid crystal segment code model and coordinate system description.

The number of white dots in the rectangular area can be counted to determine whether the a-segment code is lit or not. All that is required is the number of white dots in the rectangle. In formula (1), the criterion $f(a)$ is provided for segment a, taking into account that the image will produce edge effects due to the Gaussian blurring. We increase $f(a)$ by the calibration factor, which is 0.65. It is thought that the white point in the rectangle, which makes up more than 65% of the segment code point, is bright. Using the method outlined above [35], we can calibrate the segments b, c, d, e, f, and g one at a time.

$$f(a) = \begin{cases} 0 & \sum_{i=0}^w \sum_{j=0}^{dh} x_{ij} < (w+1) \times (dh+1) \times \lambda \\ 1 & \sum_{i=0}^w \sum_{j=0}^{dh} x_{ij} \geq (w+1) \times (dh+1) \times \lambda \end{cases} \quad (\lambda = 0.65) \quad (1)$$

Character classification

The process of character classification involves figuring out what the number that the current character represents means. The action of the segment code recognition result is compared with the segment code array, and when the two are identical, the character is identified as the current character. By evaluating the criterion f , we can determine the corresponding 0 or 1 for each segment. The character will be categorized as the number of the current character when the two are identical. The character is then classified as the current

number, i.e., the character classification is finished [35-38], when the segment code recognition result and the segment code array are identical.

The segment code light-up/light-down relationship is shown in figure 6.

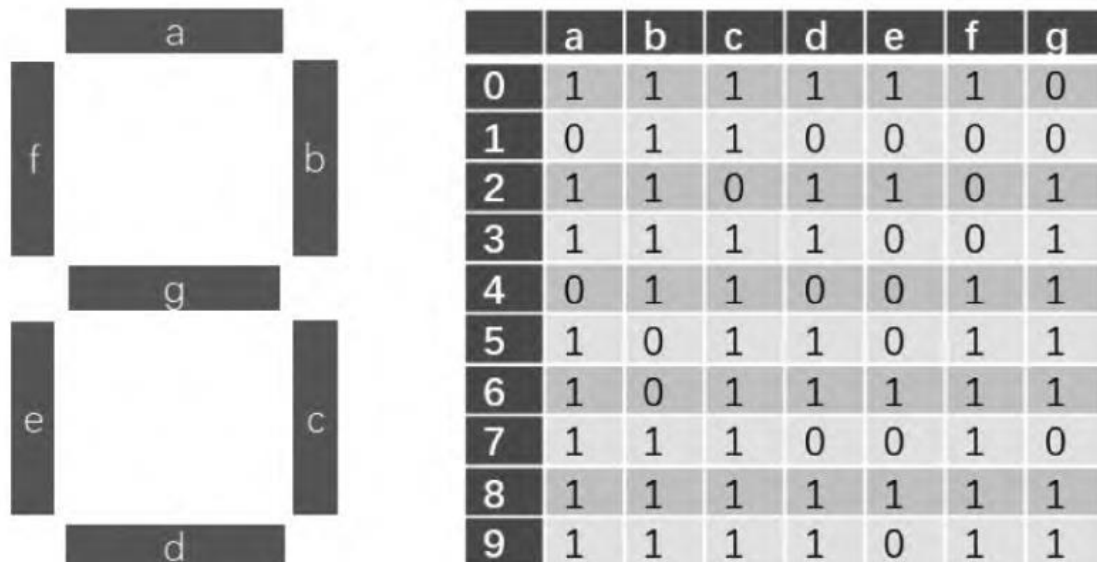


Figure 6. Seven segment characters and segment code encoding rules.

PRACTICAL APPLICATIONS

Using the hardware platform of the Raspberry Pi 4B (ARM Cortex-A72 quad-core 1.5 GHz, RAM: 8 GB LPDDR4), we measured the precision of the character recognition algorithm. To finally achieve the automatic recognition of 2, we used the pre-processing method and the recognition algorithm described in the preceding section.

The 2-bit width and 3-bit width characters were automatically recognized using the preprocessing procedure and recognition algorithm discussed in the previous section. The findings show that this method can be applied to determine the value of an electronic sphygmomanometer. The findings demonstrate that the electronic sphygmomanometer's value can be determined using this method [39-42], the positioning area is precise, and the results of the character recognition is show that this method can be used to identify the value of the electronic sphygmomanometer with precise area definition and character recognition.



Figure 7. Automatic recognition of results.

CONCLUSION

For the current electronic sphygmomanometer calibration and quality inspection the problem of manual recording of the displayed value and the inability to automate the testing and recording is solved. This study proposes an automatic recognition algorithm based on image processing. It is algorithm based on image processing, by systematically introducing the digital image processing of electronic sphygmomanometer. Proposed algorithm is based on image processing by systematically introducing the digital image processing of electronic sphygmomanometer and performing scale transformation, grayscale conversion, Gaussian smoothing Canny edge detection, character segmentation, segment code recognition, character classification, and so on [43-46].

The entire design is implemented on Raspberry Pi 4B using the OpenCV library, and finally the method is experimentally proven to be accurate in positioning and recognition. The implementation of this technique can solve the problem of the current electronics. The implementation of this technology can solve the current electronic blood pressure meter inspection workload The implementation of this technology can solve the current problems of large workload of electronic sphygmomanometer inspection, time-consuming and laborious manual recording, and improve the efficiency of inspection or quality testing. In this case, the intelligent image recognition algorithm is used to achieve the accuracy of the calibration or quality inspection. At the same time, the intelligent image recognition algorithm is used to realize the automatic reading and analysis of the calibration results, which avoids errors or errors caused by human factors. At the same time, the intelligent image recognition algorithm is used to achieve automatic reading and analysis of the calibration results, avoiding errors or mistakes caused by human factors [47-49].

In conclusion, we note that the development of intelligent devices for the automatic calibration of electronic blood pressure meters and the character recognition of electronic instrumentation as well as the creation of automated instrumentation display value recording devices has been made possible by the research and design of the digital recognition algorithm.

REFERENCES

- [1] Stergiou G. S., Parati G., McManus R. J., Head G. A., Myers M. G., Whelton P. K. Guidelines for blood pressure measurement: development over 30 years. *The Journal of Clinical Hypertension*. 2018; 20(7): 1089-1091.
- [2] He W., Hu W., Yang Y., Shen H., Wu Y., Song Y., Liu X. Improved left- and right-hand tracker using computer vision. *Student scientific research*. 2022: 21-29.
- [3] Jiang Zemin. Development of IT Industry in China in the New Age: Doctoral dissertation. 2008.
- [4] Wright J. M., Mattu G. S., Perry Jr T. L., Gelferc M. E., Strange K. D., Zorn A., Chen Y. Validation of a new algorithm for the BPM-100 electronic oscillometric office blood pressure monitor. *Blood pressure monitoring*. 2001; 6(3): 161-165.
- [5] Zhao C., Blekanov I. Two Towers Collaborative Filtering Algorithm for Movie Recommendation. *Management processes and sustainability*, 2021; 8(1): 397-401.
- [6] Yuan C., Liu X., Zhang Z. The Current Status and progress of Adversarial Examples Attacks. *International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*; May 2021; IEEE. 2021: 707-711.
- [7] Brownlee J. Machine learning mastery with Python: understand your data, create accurate models, and work projects end-to-end. *Machine Learning Mastery*. 2016.
- [8] Liu X., Xie X., Hu W., Zhou H. The application and influencing factors of computer vision: focus on human face recognition in medical field. *Science, education, innovations: topical issues and modern aspects*. 2022: 32-37.
- [9] Shen G., He K., Jin J., Chen B., Hu W., Liu X. Capturing and analyzing financial public opinion using nlp and deep forest. *Scientific research of students and pupils*. 2022: 66-71.
- [10] Cui K. P., Zhai X. R. Wang H. J. A survey on wood recognition using machine vision. *Adv For Lett* 2013; 2: 61-66.
- [11] Chen B., Song Y., Cheng L., He W., Hu W., Liu X., Chen J. A review of research on machine learning in stock price forecasting. In *Science and modern education: topical issues, achievements and innovations*. 2022: 56-62.

- [12] Parveen S., Shah J. A motion detection system in python and Opencv. Third international conference on intelligent communication technologies and virtual mobile networks (ICICV); February 2021; IEEE 2021: 1378-1382.
- [13] Gamal B. E., Ouda A. N., Elhalwagy Y. Z., Elnashar G. A. Embedded target detection system based on raspberry pi system. 12th International Computer Engineering Conference (ICENCO); December 2016; IEEE. 2016: 154-157.
- [14] Liu X., Liu W., Yi S., Li J. Research on Software Development Automation Based on Microservice Architecture. Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology, October 2020: 670-677.
- [15] He K., Song Y., Shen G., He W., Liu W. Based on deep reinforcement learning and combined with trends stock price prediction model. Topical issues of modern scientific research. 2022: 156-166.
- [16] Shiyi G. Research on English character algorithm based on OpenCV and Tesseract-OCR [J]. Computer programming skills and maintenance. 2019; 6: 45-49.
- [17] Wu J., Lee P. P., Li Q., Pan L., Zhang J. CellPAD: Detecting performance anomalies in cellular networks via regression analysis. IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops, May 2018; IEEE. 2018: 1-9.
- [18] Ou S., Gao Y., Zhang Z., Shi C. Polyp-YOLOv5-Tiny: A Lightweight Model for Real-Time Polyp Detection. IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA), December 2021; IEEE. 2021; 2: 1106-1111.
- [19] Chen S., Awano T., Yoshinaga A., Sugiyama, JFlexural behavior of wood in the transverse direction investigated using novel computer vision and machine learning approach. *Holzforschung*. 2022; 76(10): 875-885.
- [20] Xiaomin L., Yuehang S., Borun C., Xiaobin L., Weijun H. A novel deep learning based multi-feature fusion method for drowsy driving detection. *Industry and agriculture*. 2022: 34-49.
- [21] Zhouyi X., Weijun H., Yanrong H. Intelligent acquisition method of herbaceous flowers image based on theme crawler, deep learning and game theory. 2022; 7(4 (66)): 44-52.
- [22] Chen Y., Zhang X., Li T. Medical Records Classification Model Based on Text-Image Dual-Mode Fusion. 4th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD); May 2021; IEEE. 2021: 432-436.

- [23] Xie Z., Hu W., Fan Y., Wang Y. Research on multi-target recognition of flowers in landscape garden based on ghostnet and game theory. Development of science, technology, education in the 21st century: topical issues, achievements and innovations. 2022: 46-56.
- [24] Hu W., Zheng T., Chen B., Jin J., Song Y. Research on product recommendation system based on deep learning. Basic and Applied Research: Topical Issues, Achievements and Innovations. 2022: 116-124.
- [25] Zha H., Shi L. Application of license plate image recognition technology in intelligent parking lot. Proceedings of the 2020 International Conference on Cyberspace Innovation of Advanced Technologies, December 2020; 75-79.
- [26] Yin L. The time-consistency of optimality principles in multistage cooperative games with spanning tree. 2017.
- [27] He W., Hu W., Wu Y., Sun L., Liu X., Chen B. Development history and research status of convolutional neural networks. Student Scientific Forum. 2022: 28-36.
- [28] Zhang C., Tai Y., Li Q., Jiang T., Mao W., Dong H. License Plate Recognition System Based on OpenCV. 3D Imaging Technologies — Multi-Dimensional Signal Processing and Deep Learning; Springer, Singapore. 2021: 251-256.
- [29] Yin L. The dynamic Shapley Value in the game with spanning tree. International Conference Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems - Pyatnitskiy's Conference, June 2016; IEEE. 2016: 1-4.
- [30] Xie Z., Hu W., Zhu J., Li B., Wu Y., He W., Liu X. Left- and right-hand tracker based on convolutional neural network. Topical issues of modern science of education. 2022: 61-67.
- [31] Jiajun J., Wanting Y. The use of computer vision technology in intelligent agricultural machinery. Science and education: preserving the past, creating the future. 2022: 9.
- [32] Xu J., Chen J., Li B., Li X. Analysis of the bargaining game and buyer's benefit model. Modern scientific research: topical issues, achievements and innovations. 2022: 91-96.
- [33] Jiajun J., Yuehang S., Geya S., Borun C., Kun H., Weijia L., Zhouyi X., Yanyou W., Yu X., Weijun H. The use of a discrete differential algorithm for deep learning has been the focus of research into the technologies around visual target tracking. Industry and agriculture. 2022: 66-78.
- [34] Sun Q., Zhao C., Petrosian O., Li Y. Power allocation in wireless cellular networks: stochastic algorithm-based approach. Management processes and sustainability. 2022; 9(1): 357-362.

- [35] Petrosian O., Shi L., Li Y., Gao H. Moving information horizon approach for dynamic game models. *Mathematics*. 2019; 7(12): 1239.
- [36] Wang H., Qi H., Li W., Zhang G. Wang P. A GA-based automatic pore segmentation algorithm. *Proceedings of the first ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation*. 2009: 985-988.
- [37] Ma R., Zhang Y., Liu J., Li Y., Petrosian O., Krinkin K. Forecasting and XAI for Applications Usage in OS. *Machine Learning and Artificial Intelligence*. IOS Press. 2022: 17-27.
- [38] Ding Z. H., Yang F. W., Li Y., Petrosian O., Liu Y. Management processes and sustainability. 2022; 9(1): 311-318.
- [39] Yin L. Dynamic Shapley Value for 2-stage cost sharing game with perishable products. 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC); May 2017; IEEE. 2017: 3770-3774.
- [40] Yin L. Dynamic Shapley value in the game with spanning forest. *Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics dedicated to the memory of VF Demyanov (CNSA)*; May 2017; IEEE. 2017: 1-4.
- [41] Yin, L. The dynamic Nash bargaining solution for 2-stage cost sharing game. *Contributions to Game Theory and Management*. 2020; 13(0): 296-303.
- [42] Petrosian O., Nastych M., Li Y. The Looking Forward Approach in a Differential Game Model of the Oil Market with Non-transferable Utility. *Frontiers of Dynamic Games*. Birkhäuser, Cham; 2020: 215-244.
- [43] Hu W., Liu X., Xie Z. Ore image segmentation application based on deep learning and game theory. *World science: problems and innovations*. 2022: 71-76.
- [44] Cheng M., Li Y. New characteristic function for two stage games with spanning tree. *Contributions to Game Theory and Management*. 2021; 14: 59-71.
- [45] Li Y., Petrosyan O. L., Zou J. Dynamic shapley value in the game with perishable goods. *Contributions to Game Theory and Management*. 2021; 14(0): 273-289.
- [46] In L. Dynamic stability of optimality principles in cooperative multistage games with spanning tree. 2021.
- [47] Yin L. Dynamic Shapley Value for Two-Stage Cost Sharing Game. *International Conference Dedicated to the Memory of Professor Vladimir Zubov*; October 2020; Springer, Cham; 2020: 457-464.
- [48] Li I. Construction of a strongly dynamically stable kernel in cooperative games with complete information. *Management processes and sustainability*. 2015; 2(1): 635-640.

[49] Lin Y., Chen D., Liang S., Xu Z., Qiu Y., Zhang J., Liu X. Color classification of wooden boards based on machine vision and the clustering algorithm. Applied Sciences. 2020; 10(19): 6816.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yan Yuqi, Nanchang Hangkong University,
Nanchang, China
e-mail: 1586687913@qq.com

Ye Wanting, Beijing University of Chinese
Medicine, Beijing, China
e-mail: wy2838106204@163.com

Lian Lihua, Hunan University of Finance and
Economics, Changsha, China
e-mail: 2577531884@qq.com

Liu Xin, Drake University, Des Moines, USA
e-mail: 2781616274@qq.com

Xu Jie, Saint Petersburg State University,
Saint Petersburg, Russia
e-mail: 837409921@qq.com

Статья поступила в редакцию 05.12.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 20.12.2022.

The article was submitted 05.12.2022; approved after reviewing 19.12.2022; accepted for publication 20.12.2022.

УДК: 621.01

EDN: [XVYZTS](https://www.edn.net/XVYZTS)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0301-0311>



Расчет устойчивости междупильной прокладки при сжатии

Д. М. Мухаммадиев¹, Ф. Х. Ибрагимов¹, О. Х. Абзоиров¹, Л. Ю. Жамолова²

¹*Институт механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан*

²*Ташкентский государственный аграрный университет, Ташкент, Узбекистан*

Аннотация. В статье приведены результаты расчета устойчивости междупильной прокладки при сжатии для лентерной машины 5ЛП. Установлено увеличение значения числа полуволн для стали Ст3 ($n=0.4672$) в отличие от алюминиевой АК5М2 ($n=0.3276$) на 42.6% и критическое сжимающее усилие (для ст.3 – $T_{кр}=2263.4$ МПа и для АК5М2 – $T_{кр}=1642.3$ МПа) на 37.8%. Результаты расчетов устойчивости междупильных прокладок из стали ст.3 и алюминия АК5М2 показали возможность использования стальной междупильной прокладки при сборке пильных цилиндров лентерной машины 5ЛП.

Ключевые слова: Анализ, расчет, сжатия, лентерная машина, междупильная прокладка, пильный цилиндр, устойчивость, технологический процесс.

Для цитирования: Мухаммадиев, Д. М., Ибрагимов, Ф. Х., Абзоиров, О. Х., & Жамолова, Л. Ю. (2022). Расчет устойчивости междупильной прокладки при сжатии. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0301–0311. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0301-0311>

Calculation of the stability of the inter-saw gasket under compression

D. M. Mukhammadiev¹, F. Kh. Ibragimov¹, O. Kh. Abzoirov¹, L. Yu. Zhamolova²

¹*Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

²*Tashkent State Agrarian University, Tashkent, Uzbekistan*

Abstract. The article presents the results of calculating the stability of the inter-saw gasket under compression for a 5LP linter machine. An increase in the value of the number of half-waves for steel St3 ($n=0.4672$) from aluminum AK5M2 ($n=0.3276$) by 42.6% and the critical compressive force (for st.3 - $T_{cr}=2263.4$ MPa and for AK5M2 - $T_{cr}=1642.3$ MPa) by 37.8% has been found out. The results of calculations of the stability of inter-saw gasket made of steel St. 3 and aluminum AK5M2 showed the

possibility of using a steel inter-saw gasket when assembling the saw cylinders of the 5LP linter machine.

Keywords: Analysis, calculation, compression, linter machine, inter-saw gasket, saw cylinder, stability, technological process.

For citation: Mukhammadiev D. M., Ibragimov F. Kh., Abzoirov O. Kh., Zhamolova L. Yu. (2022). Calculation of the stability of the inter-saw gasket under compression. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0301–0311. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0301-0311>

ВВЕДЕНИЕ

Линтерные машины используются при сьеме коротких волокон с опушенных семян хлопка-сырца после его джинирования. Основной технологический процесс линтерования, который протекает в рабочей камере, а именно в рабочей зоне колосниковой решетки осуществляется пильным цилиндром (рис.1), состоит из вала 1, пильных дисков 6 и междупильных прокладок 7 [1].

В процессе линтерования зубьями пильных дисков пильный цилиндр захватывает короткие волокна, отрывает их от семян и выносит между колосниковыми щелевыми зазорами, а далее волокна подаются через патрубки на конденсор. При этом пильный цилиндр, отрывая короткие волокна с опушенных семян из семенного валика на дуге захвата, вращает его и создает условия для постоянной подачи семян на зубья пильных дисков других опушенных семян.

Чертеж пильного цилиндра линтерной машины марки 5ЛП представлен на рис.1. Линтерная машина состоит из пильного вала 1, пильных дисков 6, междупильных прокладок 7, которые собираются при помощи установки с двух сторон шайб 5, 8 и зажимных гаек 4, 9. Пильный вал соединен с валом электродвигателя посредством муфты 2. На валу профрезерована канавка, где жестко фиксируются пильные диски, что ограничивает их вращение относительно пильного вала.

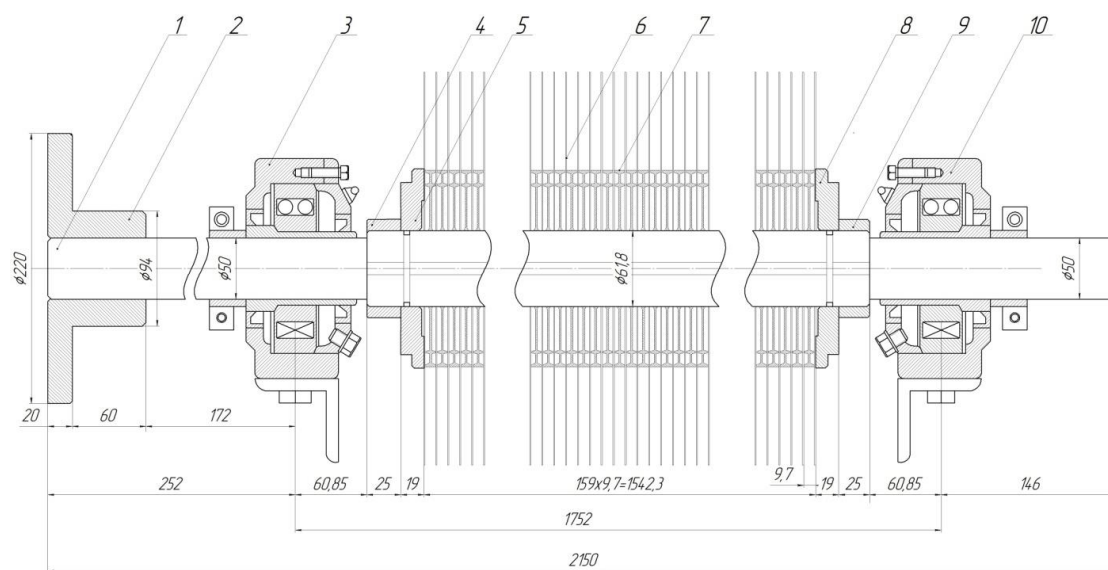


Рисунок 1. Пильный цилиндр линтерной машины марки 5ЛП:

1 – Вал, 2 – Полумуфта; 3, 10 – Корпус подшипников; 4, 9 – Гайки; 5, 8 – Шайбы; 6 – Пильные диски, 7 – Междупильные прокладки

Figure 1. Saw cylinder of a 5LP linter machine:

1 - Shaft, 2 - Half coupling; 3, 10 - Bearing housing; 4, 9 - Nuts; 5, 8 - Washers; 6 - Saw blades, 7 - Intersaw pads

Максимальный наружный диаметр пильных дисков составляет 320 мм, между ними устанавливают междупильные прокладки толщиной 8.75 мм с наружным диаметром 160 мм. При этом внутренние диаметры пильных дисков составляют 61.6 мм или 100 мм в зависимости от диаметра вала пильного цилиндра, который обеспечивает жесткость пил и устанавливает заданное между пилами точное расстояние. Количество пильных дисков на валу пильного цилиндра составляет 141-, 160-, а количество зубьев на пильных дисках зависит от их наружных диаметров.

В книге Г. И. Мирошниченко [1] рекомендован прогиб вала не более 0,3-0,4 мм и торцевое биение пил - не выше 0,15 мм. При превышении их значения происходит смещение пилы в щелевом зазоре между колосниками, что повышает вероятность повреждения линта и износ колосников. Поэтому к быстро изнашивающимся деталям пильного цилиндра линтерной машины относятся пильные диски и междупильные прокладки. Учитывая, что толщина пильных дисков, обеспечивается изготовителем в пределах $0,95 \pm 0,01$ мм, тогда управляемым элементом точной сборки пильных цилиндров являются междупильные прокладки, что определяет технологический зазор между пильными дисками и колосниками.

Из-за быстрого изнашивания междупильные прокладки линтерной машины изготавливается массово (рис. 2). Для многократного использования материалов,

уменьшения веса и себестоимости их отливают из алюминиевого сплава с последующей обработкой торцевых поверхностей цилиндрических поясков с обеспечением точности по толщине несколько сотых долей миллиметра.

В патенте Д. Якубова и др. [2] предложена междупильная прокладка, где дополнительно установлено кольцо из более прочного, чем сама прокладка, металла, что увеличивает массу и себестоимость их изготовления.



Рисунок 2. Междупильные прокладки для пильных джинов, линтерных и очистительных машин фирм США, Китая и Индии

Figure 2. Saw spacers for saw gins, linters and cleaning machines from the US, China and India

В работе А. Джураева [3] междупильные прокладки выполнены с эксцентритентом относительно оси вращения, а по длине пильного цилиндра установлены по одной винтовой линии, что приводит к неуровновешенности пильного цилиндра.

А. Артукуметовым [4] рекомендовано, что толщина прокладки должна быть абсолютно точной по размеру, так как это влияет на шаг между пилами, что обеспечивает точное расположение на центре зазоров между колосниками.

М. М. Агзамовым [5] предложена междупильная прокладка из полимерного материала со стальными штифтами, что приводит к неустойчивости к перепадам температур.

П. Н. Тютиным и Р. Ю. Меламедовым [6] для упрочнения предложена пластическая осадка междупильных прокладок джина. При однородной структуре

материала междупильной прокладки этот способ эффективен, но учитывая, что прокладка используется многократно, это приводит к неоднородной плотности.

Существующие алюминиевые прокладки имеют низкую надёжность и долговечность из-за сжатия в несколько десятков килоньютонов (20 кН - [1]) при их сборке и прогибе вала от технологической и динамической нагрузки, что приводит к пластическим деформациям и износу прокладок по толщине.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для устранения вышеуказанных недостатков предложена новая конструкция междупильных прокладок для линтерных машин (рис. 3), в которой диск с отверстием под размер вала и концентрически расположенный пояс выполнены из прочного листового металла, причём наружный диаметр диска в виде прямобочной шлицы, а концентрически расположенный пояс выполнен в виде кольца с отверстиями по периметру для соединения диска и кольца. При этом во внутреннее отверстие диска установлен второй пояс с отверстиями [7].

В статье [8] приведены результаты расчета по определению радиальных колебаний междупильной прокладки джина 4ДП-130. Установлена частота радиальных колебаний междупильной прокладки пильного джина как для серийного из алюминия АК5М2, так и предложенной стальной из Ст.3, что подтвердило возможность использования междупильной прокладки из стали при сборке пильных цилиндров джина 4ДП-130.

В рабочей камере линтерной машины технологические нагрузки от процесса линтерования семян распределяются между пильным цилиндром и ворошителем. При этом из-за нагрузок от вращения семенного валика и точности установки пил между колосниками и между пильным цилиндром и ворошителем предъявляются повышенные требования к прочности и жесткости деталей этих элементов. Наличие вибрации в пильном цилиндре отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики линтера [1].

Поэтому для определения устойчивости междупильных прокладок линтерной машины (рис. 3) необходимо определить число полувольт и критическую сжимающую усилия, которые влияют на работоспособность пильного цилиндра. Они зависят от размеров прокладки и от материала, из которого он изготовлен.

Рисунок 4 характеризует устойчивость междупильной прокладки при равномерно сжатой вдоль оси цилиндрической оболочки (в предположении малых осесимметричных перемещений).

Междупильную прокладку рассмотрим, как элементарную балку, выделенную двумя смежными сечениями, проходящими через ось оболочки (рис. 4). Вследствие предположенной осевой симметрии деформированного состояния изгиб междупильной прокладки представляет собой балку, лежащую на сплошном упругом основании; для любой данной балки роль упругого основания играет остальная часть оболочки.

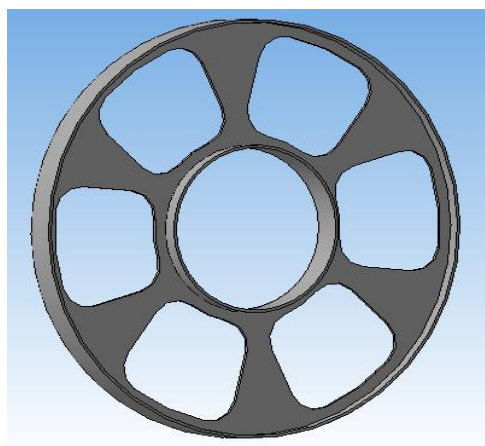


Рисунок 3. Новая конструкция междупильной прокладки линтерной машины.

Figure 3. New design of the linter saw spacer.

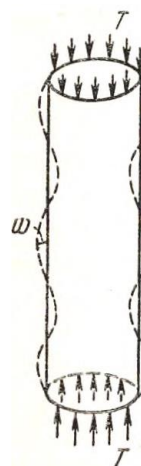


Рисунок 4. Схема цилиндрической круговой оболочки.

Figure 4. Scheme of a cylindrical circular shell.

Обозначим: z - координата сечения, измеряемая вдоль оси оболочки (прокладки), $w = w(z)$ - прогиб точек срединной поверхности, T - сжимающая сила, отнесенная к единице длины контура поперечного сечения прокладки, $D = Eh^3/(12(1-\mu^2))$ - цилиндрическая жесткость прокладки, h - толщина стенки (прокладки), μ - коэффициент Пуассона, $k = Eh/R^2$, R - радиус поперечного сечения срединной поверхности прокладки. При этих обозначениях дифференциальное уравнение продольного изгиба междупильной прокладки записывается в виде

$$\frac{d^4 w}{dz^4} + \frac{T}{D} \frac{d^2 w}{dz^2} + \frac{k}{D} w = 0. \quad (1)$$

К этому дифференциальному уравнению необходимо присоединить граничные условия, зависящие от вида опорных устройств на торцах междупильной прокладки. В случае, если считаем шарнирное опирание торцевых сечений и примем

$$w=0, \frac{d^2 w}{dz^2}=0 \text{ при } z=0 \text{ и } z=l. \quad (2)$$

В этом случае решение дифференциального уравнения (1) имеет вид

$$w=C \sin \frac{\pi n z}{l}. \quad (3)$$

Здесь n - произвольное целое число, равное числу полуволн, на которые подразделяется образующая оболочки (прокладки) при потере устойчивости. Подставляя (3) в (1), получим уравнение

$$\left(\frac{\pi n}{l}\right)^4 - \frac{T}{D} \left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 + \frac{k}{D} = 0, \quad (4)$$

из которого следует выражение для критического сжимающего усилия прокладки

$$T=D\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 + \left(\frac{l}{\pi n}\right)^2. \quad (5)$$

Как видно, усилия T зависит от цилиндрической жесткости D , толщины прокладки l и числа полуволн n . Последнее можно найти, исходя из условия, что практическое значение имеет наименьшая величина нагрузки, которая может быть получена из формулы (5). Полагая, что $n \gg l$, можно записать условие минимума T в виде

$$\frac{dT}{dn} = 0. \quad (6)$$

Это дает

$$n = \frac{l^4 \sqrt{12(1-\mu^2)}}{\pi \sqrt{R h}}, \quad (7)$$

и вместо (5) получим

$$T_{кр} = \frac{E h}{R \sqrt{3(1-\mu^2)}}. \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве материала нами предложены Ст3 и АК5М2, так как они являются стандартными материалами.

Анализ графика (рис. 5) показал, что для изготовления междупильной прокладки линтерной машины с одинаковой массой ($m=0.11673$ кг) междупильной прокладки из

ст.3 необходимая толщина контакта составляет $h=0.0015$ м, так как масса междупильной прокладки из АК5М2 составляет $m=0.12617$ кг, а $h=0.003$ м.

Если материал междупильной прокладки выполнен из стали Ст3, а $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $\mu=0.26$; $l=0.00875$ м; $R=0.07925$ м; $h=0.0015$ м, тогда $n=0.4672$ (рис.5) и $T_{кр}=2263.4$ МПа (рис. 6).

Если материал междупильной прокладки изготовлен из алюминия АК5М2, а $E=7 \cdot 10^{10}$ Н/м²; $\mu=0.34$; $l=0.00875$ м; $R=0.0785$ м; $h=0.003$ м, тогда $n=0.3276$ (рис.5) и $T_{кр}=1642.3$ МПа (рис. 6).

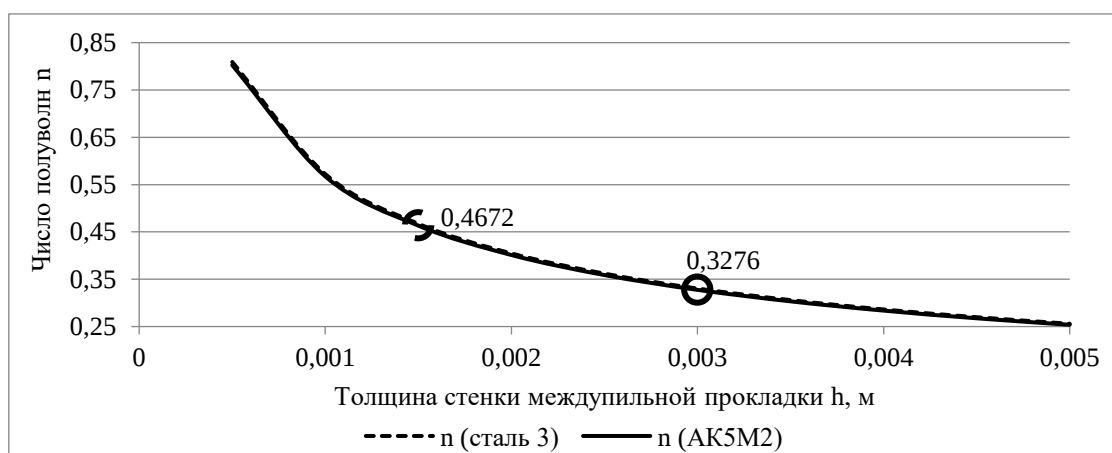


Рисунок 5. Изменения количества полуволн в зависимости от толщины стенки междупильной прокладки.

Figure 5. Changes in the number of half-waves depending on the wall thickness of the saw spacer.

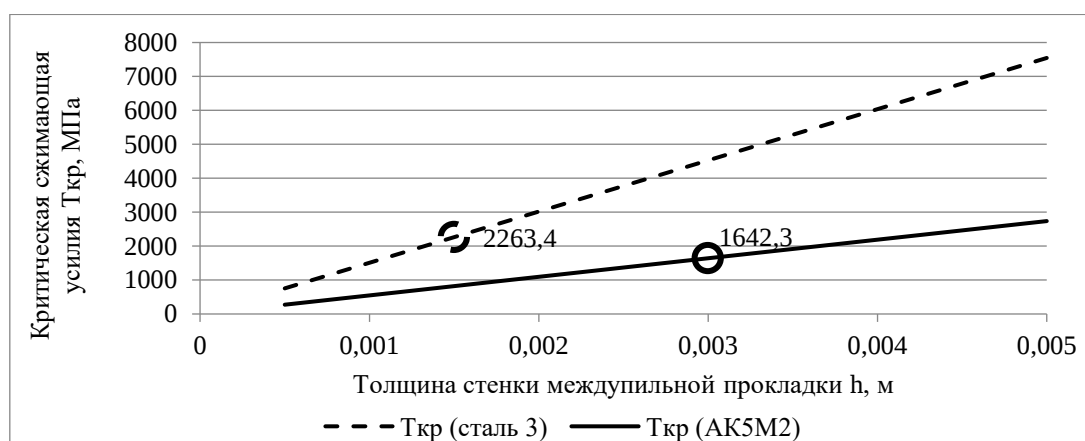


Рисунок 6. Изменения критического сжимающего усилия в зависимости от толщины стенки междупильной прокладки.

Figure 6. Changes in the critical compressive force depending on the wall thickness of the saw blade.

Расчетами установлено, что с увеличением толщины прокладки линтерной машины с 0.0005 до 0.005 м (рис. 5) снижается число полуволн (для ст.3 – от 0.809 до 0.255, для АК5М2 – от 0.802 до 0.253) и увеличивается значения критической сжимающей усилия (для ст.3 – от 754.46 МПа до 7544.65 МПа, для АК5М2 – от 273.72 МПа до 2737.24 МПа).

Значения число полуволн n междупильной прокладки из алюминия АК5М2 составляет 0.3276, а из стали 3 составляет 0.4672, что увеличено на 42.6% (рис. 5). При этом значения критического сжимающего усилие $T_{кр}$ междупильной прокладки из алюминия АК5М2 составляет $T_{кр}=1642.3$ МПа, а из стали 3 составляет 2263.4 МПа, что увеличено на 37.8% (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, расчет устойчивости междупильной прокладки позволил установить увеличение значение числа полуволн для стали Ст3 ($n=0.4672$) от алюминиевой АК5М2 ($n=0.3276$) на 42.6%. Кроме того, выявлена устойчивость междупильных прокладок к критическим сжимающим усилиям (для ст.3 – $T_{кр}=2263.4$ МПа и для АК5М2 – $T_{кр}=1642.3$ МПа) на 37.8%. Результаты расчетов устойчивости междупильных прокладок из стали ст.3 и алюминия АК5М2 показали возможность использования стальной междупильной прокладки при сборке пильных цилиндров линтерной машины 5ЛП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мирошниченко Г.И. *Основы проектирования машин первичной обработки хлопка*. М.: Машиностроение, 1972. – 486 с.
- [2] Якубов Д.Э. и др. Патент РУз. FAP 00348. - 1993. №2. *Междупильная прокладка для хлопкоочистительных машин*.
- [3] Джураев А.Д., и др. Патент РУз. FAP 05747. - 1999. №3. *Междупильная прокладка для хлопкоочистительных машин*.
- [4] Артукуметов А. и др. Патент РУз. FAP 00654. - 2010. - №4. *Междупильная прокладка для хлопкоочистительных машин*.
- [5] Агзамов М.М. и др. Патент РУз. FAP 01182. - 2017. - №2. *Междупильная прокладка для хлопкоочистительных машин*.

- [6] Тютин П.Н., Меламедов Р.Ю. Применение калибровки при изготовлении междупильных джинно-линтерных прокладок. *Хлопковая промышленность*. – Т., 1975. №3. – с. 14-16.
- [7] Мухаммадиев Д.М., Ибрагимов Ф.Х. и др. Патент РУз № IAP 06691. - 2021. - №3. *Междупильная прокладка для хлопкоочистительных машин*. 29.12.2021.
- [8] Мухаммадиев Д.М., Ибрагимов Ф.Х., Росулов Р.Х. Определение радиальных колебаний междупильных прокладок пильного джина // *Узбекский журнал: Проблемы текстиля*, 2018. – № 3-4. – С.56-61.

REFERENCES

- [1] Miroshnichenko G.I. *Osnovy proektirovaniya mashin pervichnoj obrabotki hlopka*. M.: Mashinostroenie, 1972. – 486 s.
- [2] Jakubov D.Je. i dr. Patent RUz. FAP 00348. - 1993. №2. *Mezhdupil'naja prokladka dlja hlopkoochistitel'nyh mashin*.
- [3] Dzhuraev A.D., i dr. Patent RUz. FAP 05747. - 1999. №3. *Mezhdupil'naja prokladka dlja hlopkoochistitel'nyh mashin*.
- [4] Artukmetov A. i dr. Patent RUz. FAP 00654. - 2010. - №4. *Mezhdupil'naja prokladka dlja hlopkoochistite'nyh mashin*.
- [5] Agzamov M.M. i dr. Patent RUz. FAP 01182. - 2017. - №2. *Mezhdupil'naja prokladka dlja hlopkoochistite'nyh mashin*.
- [6] Tjutin P.N., Melamedov R.Ju. Primenenie kalibrovki pri izgotovlenii mezhdupil'nyh dzhinno-linternyh prokladok. *Hlopkovaja promyshlennost'*. – Т., 1975. №3. – с. 14-16.
- [7] Muhammadiev D.M., Ibragimov F.H. i dr. Patent RUz № IAP 06691. - 2021. - №3. *Mezhdupil'naja prokladka dlja hlopkoochistitel'nyh mashin*. 29.12.2021.
- [8] Muhammadiev D.M., Ibragimov F.H., Rosulov R.H. Opredelenie radial'nyh kolebanij mezhdupil'nyh prokladok pil'nogo dzhina // *Uzbekskij zhurnal: Problemy tekstilja*, 2018. – № 3-4. – pp. 56-61.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мухаммадиев Давлат Мустафаевич,
главный научный сотрудник института
механики и сейсмостойкости сооружений
Академии наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: davlat_mm@mail.ru

Davlat M. Mukhammadiev, Chief
Researcher of the Institute of Mechanics and
Seismic Stability of Structures of the
Academy of Sciences of the Republic of
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
e-mail: davlat_mm@mail.ru

Ибрагимов Фарход Хайруллоевич,
старший научный сотрудник института
механики и сейсмостойкости сооружений
Академии наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: farkhod.ibragimov.1985@mail.ru

Farkhod Kh. Ibragimov, Senior Researcher
of the Institute of Mechanics and Seismic
Stability of Structures of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan
e-mail: farkhod.ibragimov.1985@mail.ru

Абзопров Ортик Хонимкулович,
младший научный сотрудник института
механики и сейсмостойкости сооружений
Академии наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: ortiq.abzoirov@gmail.com

Ortik Kh. Abzoirov, Junior Researcher of
the Institute of Mechanics and Seismic
Stability of Structures of the Academy of
Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Uzbekistan
e-mail: ortiq.abzoirov@gmail.com

Жамолова Лола Юсуповна, доцент
Ташкентского государственного
аграрного университета, Ташкент,
Узбекистан
e-mail: jamolova68@gmail.com

Lola Yu. Zhamolova, associate professor of
Tashkent State Agrarian University,
Tashkent, Uzbekistan
e-mail: jamolova68@gmail.com

*Статья поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 05.11.2022;
принята к публикации 07.11.2022.*

*The article was submitted 07.10.2022; approved after reviewing 05.11.2022; accepted for
publication 07.11.2022*

УДК: 677.057

EDN: [WIMNWW](https://www.oajmist.com)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323>


Скорости фильтрации в области отжима материалов

Ш. Р. Хуррамов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Определены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима. Установлено, что скорость фильтрации жидкости вдоль оси абсцисс на границах зоны сжатия равна нулю, а внутри зоны принимает отрицательные значения. Выявлено, что скорости фильтрации жидкости вдоль оси ординат и полярного угла равны нулю в начале зоны сжатия, возрастают до максимума в одной точке, лежащей на линии центров, а в зоне восстановления деформации зависят от угла, определяющего положение точки, где жидкость меняет направление.

Ключевые слова: валковый отжим, мокрый материал, гидравлические задачи, фильтрация, скорость фильтрации.

Для цитирования: Хуррамов, Ш. Р. (2022). Скорости фильтрации в области отжима материалов. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0501–0512. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323>

Filtration rates in the area of squeezing materials

Sh. R. Khurramov

Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. Analytical dependencies are determined that describe the patterns of change in filtration rates in the squeezing area. It was established that the fluid filtration rate along the abscissa axis at the boundaries of the compression zone is zero, and inside the zone, it takes negative values. It was found that the fluid filtration rates along the ordinate axis and the polar angle are zero at the beginning of the compression zone, they increase to a maximum at a point lying on the line of centers, and in the zone of strain restoration, they depend on the angle that determines the position of the point where the fluid changes direction.

Keywords: roll pressing, wet material, hydraulic tasks, filtration, filtration rate.

For citation: Khurramov Sh. R. (2022). Filtration rates in the area of squeezing materials. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0501–0512. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0312-0323>

ВВЕДЕНИЕ

В процессе валкового отжима мокрых материалов наблюдается одновременное происхождение двух явлений – контактное взаимодействие и фильтрация влаги. Это, в свою очередь, требует совместного решения при этом двух типов задач – контактных задач и гидравлических задач.

В работах [1-4] были решены основные контактные задачи валкового отжима мокрых материалов.

Основными гидравлическими задачами валкового отжима мокрых материалов являются задачи аналитического описания распределения гидравлического давления и математического моделирования остаточной влажности отжимаемого материала. Для решения этих задач необходимо знать закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима.

Анализ работ, посвященных исследованию гидравлических задач валкового отжима мокрых материалов [5-11], показал, что существующие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима получены с введением моделей валкового оборудования и материалов, не отвечающих реальным физическим явлениям валкового отжима мокрых материалов. Поэтому они не дают возможности по решению задач, позволяющих полностью раскрыть гидравлические явления валкового отжима мокрых материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе [12] были определены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима для симметричного двухвалкового модуля. В целях дальнейшего развития теоретических представлений, как и в работах [1-4], объектом исследования служит обобщенный двухвалковый модуль, в котором валки расположены относительно вертикали с наклоном справа под углом β , имеют неравные диаметры с эластичными покрытиями ($D_1 \neq D_2$), слой мокрого (обрабатываемого) материала имеет равномерную толщину δ_1 и подается наклоном вниз относительно линии центров под углом γ_1 (рисунок 1).

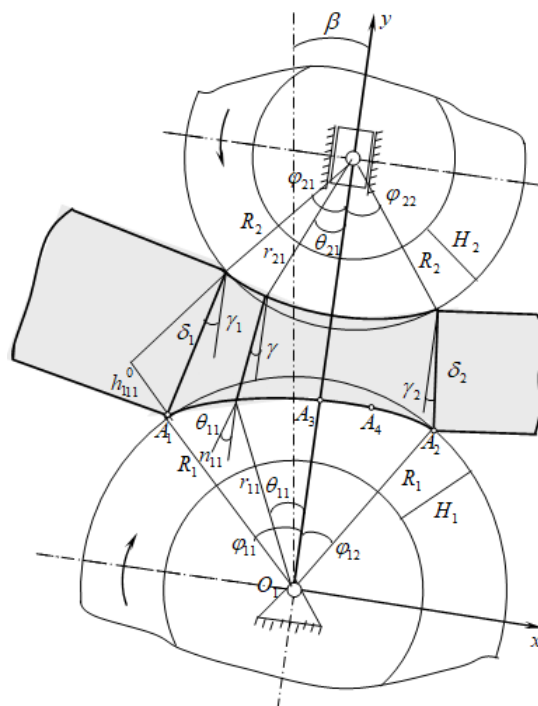


Рисунок 1. Схема двухвалкового модуля.

Figure 1. Scheme of a two-roll module.

Кривая контакта нижнего валка (кривая A_1A_2) состоит из двух зон A_1A_3 и A_3A_2 . В зоне A_1A_3 происходит сжатие слоя мокрого материала и покрытия валка, а A_3A_2 – восстановление деформации.

Сначала рассмотрим процесс фильтрации жидкости в зоне A_1A_3 . В этой зоне обрабатываемый материал сжимается, поэтому жидкость переходит из нее в покрытие валка вдоль полярного угла [5].

Скорость мокрого материала в области контакта величина постоянная и равна v_m .

Скорость жидкости в области контакта величина переменная и равна сумме двух составляющих [12]:

$$\varepsilon_{11}v_{11жх} = \varepsilon_{11}v_m + u_{11х}, \quad \varepsilon_{11}v_{11жy} = u_{11y}, \quad (1)$$

где $v_{11жх}$, $v_{11жy}$ – абсолютная скорость жидкости в зоне A_1A_3 вдоль оси Ox и Oy , соответственно; $v_{11х}$, v_{11y} – относительная скорость жидкости в зоне A_1A_3 вдоль оси Ox и Oy , соответственно; $u_{11х}$, u_{11y} – скорость фильтрации жидкости в зоне A_1A_3 вдоль

оси Ox и Oy , соответственно; ε_{11} – относительная деформация мокрого материала в зоне A_1A_3 .

В процессе фильтрации для скоростей v_{11x} и v_{11y} должно выполняться уравнение неразрывности [12]:

$$\frac{\partial(\varepsilon_{11}v_m + u_{11x})}{\partial x_{11}} + \frac{\partial(u_{11y})}{\partial y_{11}} = 0.$$

Отсюда находим

$$v_m \frac{\partial \varepsilon_{11}}{\partial x_{11}} + \frac{\partial u_{11x}}{\partial x_{11}} + \frac{\partial u_{11y}}{\partial y_{11}} = 0. \quad (2)$$

Переходим к дифференцированию по одной переменной $\theta_{11} + \gamma$:

$$v_m \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d(\theta_{11} + \gamma)}{dx_{11}} + \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d(\theta_{11} + \gamma)}{dx_{11}} + \frac{du_{11y}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d(\theta_{11} + \gamma)}{dy_{11}} = 0.$$

После преобразования получим

$$\frac{du_{11y}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = -v_m \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}} - \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}} = 0. \quad (3)$$

Заметим, что

$$u_{11y} = u_{11x} \operatorname{ctg}(\theta_{11} + \gamma). \quad (4)$$

Проведем дифференцирование

$$\frac{du_{11y}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \operatorname{ctg}(\theta_{11} + \gamma) - u_{11x} \frac{1}{\sin^2(\theta_{11} + \gamma)}. \quad (5)$$

Учитывая это, из равенства (3) получим

$$\frac{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cos(\theta_{11} + \gamma) + \frac{dy_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \sin(\theta_{11} + \gamma)}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \sin(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} - \frac{1}{\sin^2(\theta_{11} + \gamma)} u_{11x} = -v_m \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}}{\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}}. \quad (6)$$

Из рисунка 1 следует, что

$$x_{11} = r_{11} \sin(\theta_{11} + \lambda), \quad y_{11} = r_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma).$$

Отсюда находим

$$\frac{dx_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = r'_{11} \sin(\theta_{11} + \gamma) + r_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma), \quad \frac{dy_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = r'_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma) - r_{11} \sin(\theta_{11} + \gamma).$$

Подставляя эти производные в равенства (6) и считая $r'_{11} \sin^2(\theta_{11} + \gamma) \approx 0$, после несложных преобразований находим

$$\frac{1}{\cos(\theta_{11} + \gamma) \sin(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} - \frac{u_{11x}}{\sin^2(\theta_{11} + \gamma)} = v_m \frac{r'_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma) - r_{11} \sin(\theta_{11} + \gamma)}{r'_{11} \sin(\theta_{11} + \gamma) + r_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}. \quad (7)$$

Уравнение кривой контакта нижнего валка в зоне сжатия для рассматриваемого двухвалкового модуля имеет вид [2]:

$$r_{11} = \frac{R_1}{1 + k_{11} \lambda_{11}} \left(1 + k_{11} \lambda_{11} \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)} \right), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \leq \theta_{11} + \gamma \leq 0, \quad (8)$$

где

$$k_{11} = \frac{m_{11} H_1 \sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}{m_1^* \delta_1 \sin(\varphi_{21} - \gamma_1)}, \quad \lambda_{11} = \frac{A_{11}^* m_{11}^* (\Delta l_{11})_{cp} - (A_{11} (1 - m_{11}) - A_{11}^* (1 - m_{11}^*)) h_{11}^0}{A_{11} m_{11} (\Delta l_{11})_{cp} + (A_{11} (1 - m_{11}) - A_{11}^* (1 - m_{11}^*)) H_1};$$

$$h_{11}^0 = \delta_1 \frac{\sin(\varphi_{21} - \gamma_1)}{\sin(\varphi_{11} + \varphi_{21})}; \quad (\Delta l_{11})_{cp} = R_1 \cdot \left(1 - \frac{\sin 2(\varphi_{11} + \gamma_1)}{2(\varphi_{11} + \gamma_1)} \right),$$

здесь m_{11} – коэффициент упрочнения точек эластичного покрытия нижнего валка при сжатии, m_1^* – коэффициент упрочнения точек волокнистого материала при сжатии.

Откуда

$$r'_{11} = \frac{k_{11} \lambda_{11} R_1}{1 + k_{11} \lambda_{11}} \cdot \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos \varphi(\theta_{11} + \gamma)} \operatorname{tg}(\theta_{11} + \gamma). \quad (9)$$

Используя выражение (8) и (9), имеем

$$r'_{11} \sin(\theta_{11} + \gamma) + r_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma) = \frac{R_1}{1 + k_{11} \lambda_{11}} \frac{k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1) + \cos^3(\theta_{11} + \gamma)}{\cos^2(\theta_{11} + \gamma)},$$

$$r'_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma) - r_{11} \sin(\theta_{11} + \gamma) = -\frac{R_1}{1 + k_{11} \lambda_{11}} \sin(\theta_{11} + \gamma). \quad (10)$$

После подстановки этих выражений и некоторых преобразований уравнение (7) принимает вид

$$\frac{1}{\cos(\theta_{11} + \gamma) \sin(\theta_{11} + \gamma)} \cdot \frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} - \frac{u_{11x}}{\sin^2(\theta_{11} + \gamma)} = -v_m \frac{\sin(\theta_{11} + \gamma) \cos^2(\theta_{11} + \gamma)}{(k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1) + \cos^3(\theta_{11} + \gamma))} \cdot \frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)}. \quad (11)$$

Из рисунка 1 следует, что

$$\varepsilon_{11}^* = \frac{r_{11} - R_1 \frac{\cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{\cos(\theta_{11} + \gamma)}}{h_{11}^0}. \quad (12)$$

Откуда

$$\frac{d\varepsilon_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = -\frac{R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1) \sin(\theta_{11} + \gamma)}{h_{11}^0 (1 + k_{11} \lambda_{11}) \cos^2(\theta_{11} + \gamma)}. \quad (13)$$

Подставим это выражение в равенство (11):

$$\frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} - \frac{\cos(\theta_{11} + \gamma)}{\sin(\theta_{11} + \gamma)} u_{11x} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{h_{11}^0 (1 + k_{11} \lambda_{11})} \cdot \frac{\sin^3(\theta_{11} + \gamma) \cos(\theta_{11} + \gamma)}{(k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1) + \cos^3(\theta_{11} + \gamma))}. \quad (14)$$

Дифференциальное уравнение (14) является линейным. Его однородная часть имеет решение

$$u_{11x} = C_{11}(\theta_{11} + \gamma) \sin(\theta_{11} + \gamma), \quad (15)$$

откуда

$$\frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = \frac{dC_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} \sin(\theta_{11} + \gamma) + C_{11} \cos(\theta_{11} + \gamma).$$

Подставив $\frac{du_{11x}}{d(\theta_{11} + \gamma)}$ и u_{11x} в уравнение (14), имеем

$$\frac{dC_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{h_{11}^0 (1 + k_{11} \lambda_{11})} \cdot \frac{\sin^2(\theta_{11} + \gamma) \cos(\theta_{11} + \gamma)}{(k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1) + \cos^3(\theta_{11} + \gamma))}. \quad (16)$$

Введем допущения $\sin(\theta_{11} + \gamma) \approx \theta_{11} + \gamma$, $\cos(\theta_{11} + \gamma) \approx 1 - \frac{(\theta_{11} + \gamma)^2}{2}$.

После этого равенство (16) принимает вид

$$\frac{dC_{11}}{d(\theta_{11} + \gamma)} = a_{11} \frac{(\theta_{11} + \gamma)^2}{m_{11}^2 - (\theta_{11} + \gamma)^2}, \quad (17)$$

где

$$a_{11} = \frac{2v_m R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{3h_{11}^0 (1 + k_{11} \lambda_{11})}, \quad m_{11}^2 = \frac{2}{3} (1 + k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)). \quad (18)$$

Интегрируем равенство (21)

$$C_{11} = a_{11} \left(-(\theta_{11} + \gamma) + \frac{m_{11}}{2} \ln \left| \frac{m_{11} + (\theta_{11} + \gamma)}{m_{11} - (\theta_{11} + \gamma)} \right| \right) + C_{11}^*.$$

Раскладывая логарифмическую функцию в ряд и ограничиваясь членами до третьей степени относительно $(\theta_{11} + \gamma)$, имеем $C_{11} = \frac{a_{11}}{3m_{11}^2} (\theta_{11} + \gamma)^3 + C_{11}^*$.

Подставим это выражение в уравнение (15):

$$u_{11x} = \left(\frac{a_{11}}{3m_{11}^2} (\theta_{11} + \gamma)^3 + C_{11}^* \right) \sin(\theta_{11} + \gamma).$$

После определения C_{11}^* по начальному условию $u_{11x}(-(\varphi_{11} + \gamma_1)) = 0$, имеем

$$u_{11x} = b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3) \sin(\theta_{11} + \gamma), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \leq \theta_{11} + \gamma \leq 0, \quad (19)$$

$$\text{где } b_{11} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{11} + \gamma_1)}{3h_{11}^0 (1 + k_{11} \lambda_{11}) (1 + k_{11} \lambda_{11} \cos(\varphi_{11} + \gamma_1))}.$$

Из равенства (6) с учетом равенства (19) находим

$$u_{11y} = -b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3) \cos(\theta_{11} + \gamma), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \leq \theta_{11} + \gamma \leq 0, \quad (20)$$

При известных значениях слагаемых u_{11x} и u_{11y} , скорость фильтрации жидкости вдоль полярного угла определяется по формуле $u_{11r} = \sqrt{u_{11x}^2 + u_{11y}^2}$.

Тогда имеем

$$u_{11\theta} = -b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3), \quad -(\varphi_{11} + \gamma_1) \leq \theta_{11} + \gamma \leq 0. \quad (21)$$

Знак $(-)$ в формулах (20) и (21) означает, что жидкость переходит из волокнистого материала вниз в покрытие нижнего вала.

Формула (21) определяет изменение скорости фильтрации жидкости, протекшей из мокрого материала в покрытия нижнего вала в зоне сжатия.

В зоне A_3A_2 обрабатываемый материал, восстанавливая деформацию, может впитывать жидкость из покрытия вала. В этом случае, жидкость, слева от некоторой точки A_4 зоны A_3A_2 , движется из мокрого материала в покрытие вала, справа – в обрабатываемый материал. В зависимости от конструкции вала отжимной машины и его покрытия, точка A_4 может совпадать с любой точкой зоны восстановления деформации [5-7].

Пусть точка A_4 определяется углом $\varphi_{14} + \gamma_4 = \varsigma_1(\varphi_{12} + \gamma_2)$, $0 < \varsigma_1 \leq 1$. Точка A_4 делит зоны восстановления деформации на два участка: первый A_3A_4 , где $0 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{14} + \gamma_4$ и второй A_4A_2 , где $\varphi_{14} + \gamma_4 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{12} + \gamma_2$. В точке A_4 скорости фильтрации равны нулю, то есть $u_{12x}(\varphi_{14} + \gamma_4) = 0$ и $u_{12y}(\varphi_{14} + \gamma_4) = 0$.

Аналогично формулам (19) - (21) определяем изменения скоростей фильтрации жидкости, протекшей из мокрого материала в покрытия нижнего вала на первом участке A_3A_4 зоны восстановления деформации.

Выражения имеют вид:

$$u_{12x} = b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3) \sin(\theta_{12} + \gamma), \quad 0 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{14} + \gamma_4, \quad (22)$$

$$u_{12y} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3) \cos(\theta_{12} + \gamma), \quad 0 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{14} + \gamma_4, \quad (23)$$

$$u_{12\theta} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \quad 0 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{14} + \gamma_4, \quad (24)$$

$$\text{где } b_{12} = \frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{3h_{12}^0(1 + k_{12}\lambda_{12})(1 + k\lambda_{12} \cos(\varphi_{12} + \gamma_2))}.$$

Авторы работ [8, 9], считают, что на втором участке A_4A_2 зоны восстановления деформации скорость фильтрации вдоль оси Ox равна нулю, то есть $u_{12x}(\theta_{12} + \gamma) = 0$, где $\varphi_{14} + \gamma_4 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{12} + \gamma_2$. В этом случае, из равенства, соответствующего (3) следует, что

$$\frac{du_{12y}}{d(\theta_{12} + \gamma)} = -v_m \frac{d\varepsilon_{12}}{d(\theta_{12} + \gamma)} \cdot \frac{\frac{dy_{12}}{d(\theta_{12} + \gamma)}}{\frac{dx_{12}}{d(\theta_{12} + \gamma)}}$$

или с учетом аналогичных выражений (9) и (17)

$$\frac{du_{12y}}{d(\theta_{12} + \gamma)} = -\frac{v_m R_1 \cos(\varphi_{12} + \gamma_2)}{h_{12}^0(1 + k_{12}\lambda_{12})} \cdot \frac{\sin^2(\theta_{12} + \gamma)}{(k_{12}\lambda_{12} \cos(\varphi_{12} + \gamma_2) + \cos^3(\theta_{12} + \gamma))}.$$

Преобразуем с учетом аналогичного выражения (18)

$$\frac{du_{12y}}{d(\theta_{12} + \gamma)} = a_{12} \frac{(\theta_{12} + \gamma)^2}{m_{12}^2 - (\theta_{12} + \gamma)}. \quad (25)$$

$$\text{Решение этого уравнения будет } u_{12y} = \left(\frac{a_{12}}{3m_{12}^2} (\theta_{12} + \gamma)^3 + C_{13}^* \right).$$

$$\text{По условию } u_{12y}(\varphi_{14} + \gamma_4) = 0 \text{ определяем, } C_{13}^* = -\frac{a_{12}}{3m_{12}^2} (\varphi_{14} + \gamma_4)^3.$$

После этого получаем

$$u_{12y} = b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \quad \varphi_{14} + \gamma_4 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{12} + \gamma_2. \quad (26)$$

Отсюда, имеем

$$u_{12\theta} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), \quad \varphi_{14} + \gamma_4 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{12} + \gamma_2. \quad (27)$$

Обобщая формулы (21), (24) и (27), получаем

$$\begin{cases} u_{11\theta} = -b_{11}((\varphi_{11} + \gamma_1)^3 + (\theta_{11} + \gamma)^3), & -(\varphi_{11} + \gamma_1) \leq \theta_{11} + \gamma \leq 0, \\ u_{12\theta} = -b_{12}((\varphi_{14} + \gamma_4)^3 - (\theta_{12} + \gamma)^3), & 0 \leq \theta_{12} + \gamma \leq \varphi_{12} + \gamma_2, \end{cases} \quad (28)$$

где $\varphi_{14} + \gamma_4 = \varsigma_1(\varphi_{12} + \gamma_2)$, $0 < \varsigma_1 \leq 1$.

Скорости фильтрации жидкости, протекающей через кривую контакта верхнего вала, определяем аналогично.

Они имеют вид:

$$\begin{cases} u_{21\theta} = b_{21}((\varphi_{21} - \gamma_1)^3 + (\theta_{21} - \gamma)^3), & -(\varphi_{21} - \gamma_1) \leq \theta_{21} - \gamma \leq 0, \\ u_{22\theta} = b_{22}((\varphi_{24} - \gamma_4)^3 - (\theta_{22} - \gamma)^3), & 0 \leq \theta_{22} - \gamma \leq \varphi_{22} - \gamma_2, \end{cases} \quad (29)$$

где $\varphi_{24} - \gamma_4 = \varsigma_2(\varphi_{22} - \gamma_2)$, $0 < \varsigma_2 \leq 1$, $b_{21} = \frac{v_m R_2 \cos(\varphi_{21} - \gamma_1)}{3h_{21}^0(1 + k_{21}\lambda_{21})(1 + k_{21}\lambda_{21}\cos(\varphi_{21} - \gamma_1))}$,

$$b_{22} = \frac{v_m R_2 \cos(\varphi_{22} - \gamma_2)}{3h_{22}^0(1 + k_{22}\lambda_{22})(1 + k_{22}\lambda_{22}\cos(\varphi_{22} - \gamma_2))}.$$

На рисунках 2 и 3 приведены графики изменения скоростей фильтрации, интерпретирующие формулы (11) и (12).

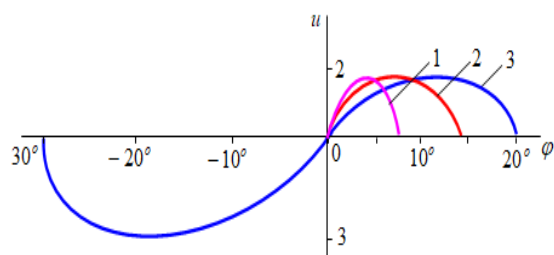


Рисунок 2. График изменения скорости фильтрации u_x :

1 – $\varsigma = 0,33$; 2 – $\varsigma = 0,67$; 3 – $\varsigma = 1$.

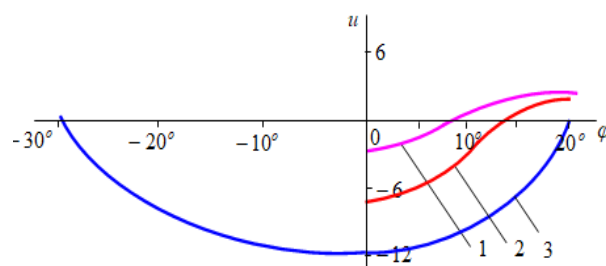


Рисунок 3. График изменения скорости фильтрации u_θ нижнего вала:

1 – $\varsigma = 0,33$; 2 – $\varsigma = 0,67$; 3 – $\varsigma = 1$.

Figure 2. Graph of the change in speed filtration u_x :

1 – $\varsigma = 0,33$; 2 – $\varsigma = 0,67$; 3 – $\varsigma = 1$.

Figure 3. Graph of the change in speed bottom roll filtration:

1 – $\varsigma = 0,33$; 2 – $\varsigma = 0,67$; 3 – $\varsigma = 1$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Определены аналитические зависимости, описывающие закономерности изменения скоростей фильтрации в области отжима.

2. Установлено, что скорость фильтрации жидкости вдоль оси абсцисс на границах зоны сжатия равна нулю, а внутри зоны принимает отрицательные значения.

3. Выявлено, что скорости фильтрации жидкости вдоль оси ординат и полярного угла равны нулю в начале зоны сжатия, возрастают до максимума в особой точке, лежащей на линии центров, а в зоне восстановления деформации зависят от угла, определяющего положение точки, где жидкость меняет направление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Из анализа расчетных данных и графиков (рисунки 2 и 3) следует:

- скорость фильтрации жидкости вдоль оси Ox на границах зоны сжатия равна нулю, а внутри зоны принимает отрицательные значения. Она имеет минимум в точке, определяемой углом $\varphi = 0,63\varphi_1$ (φ_1 – угол захвата валка);
- закономерности изменения скоростей фильтрации вдоль осей Ox , Oy и угла θ в зоне восстановления зависят от числа ζ_i , определяющего положение точки, где жидкость меняет направление. Чем ближе ζ_i к нулю, тем длиннее часть зоны восстановления деформации, где жидкость перемещается из покрытия валка обратно в мокрый материал. По мере увеличения числа ζ_i от нуля до единицы, протяженность изменения скорости фильтрации вдоль оси Ox увеличивается. При $\zeta_i = 1$, скорость фильтрации u_x внутри зоны восстановления положительна, имеет максимум в точке, определяемой углом $\varphi = 0,63\varphi_2$ (φ_2 – угол выхода). При этом она в начале и конце зоны восстановления деформации равна нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Khurramov Sh. R. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012004.
- [2] Khurramov Sh. R. On the issues modeling the roll contact curves. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042036.
- [3] Khurramov Sh. R., Abdurkarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module. IOP Conf. Series. 2020; 916: 012051.
- [4] Khurramov Sh. R., Abdurkarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.

- [5] Коновалов А.Б. Имитационные моделирование рабочего процесса в прессах продольной фильтрацией. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2012; 2(20): 40-47.
- [6] Новиков Н. Е. Прессование бумажного полотна. Москва. Лесная промышленность; 1992. 242.
- [7] Bezanovic D., Duin C. J., Kaasschieter E.F. Analysis of wet pressing of paper: The three phase model, Part II: Compressible air case. Transport in Porous Media. 2007; 67: 171-187.
- [8] Кузнецов В.А., Петров Н.А., Кортювенко В.М. Физическая модель процесса отжима ткани. Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1984; 3: 102-105.
- [9] Паршуков В.Е., Маринин А.Н., Константинова Е.Р., Петрова И.В., Фомин Ю.Г. Влияние технологических факторов на степень отжима влаги из ткани. Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2011; 4 (333): 124-127.
- [10] McDonald D.J., Kerekes R. J., Zhao R.J. Perspectives on deriving mathematical models in pulp and paper science. J BioResources. 2020; 15: 7319-7329.
- [11] Iliev O., Printsypar G., Rief S. On mathematical modeling and simulation of the pressing section of a paper machine including dynamic capillary effects: One-dimensional model. Transport in Porous Media. 2012; 92: 41-59.
- [12] Khurramov Sh. R. Filtration rates in roller pressing of fibrous materials. AIP Conference Proceedings. 2021; 2402: 030042.

REFERENCES

- [1] Khurramov Sh. R. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012004.
- [2] Khurramov Sh. R. On the issues modeling the roll contact curves. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889: 042036.
- [3] Khurramov Sh. R., Abdurkarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction forces in an asymmetric two-roll module. IOP Conf. Series. 2020; 916: 012051.
- [4] Khurramov Sh. R., Abdurkarimov A., Khalturayev F.S., Kurbanova F.Z. Modeling of friction stress in twin roll modules. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1789: 012008.
- [5] Konovalov A.B. Imitacionnyye modelirovanie rabocheho processa v pressah prodol'noj fil'traciej. Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2012; 2(20): 40-47.
- [6] Novikov N. E. Pressovanie bumazhnogo polotno. Moskva. Lesnaya promyshlennost'; 1992. 242.

- [7] Bezanovic D., Duin C. J., Kaasschieter E.F. Analysis of wet pressing of paper: The three phase model, Part II: Compressible air case. *Transport in Porous Media*. 2007; 67: 171-187.
- [8] Kuznecov V.A., Petrov N.A., Kortovenko V.M. Fizicheskaya model' processa otzhima tkani. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 1984; 3: 102-105.
- [9] Parshukov V.E., Marinin A.N., Konstantinova E.R., Petrova I.V., Fomin YU.G. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na stepen' otzhima vlagi iz tkani. *Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2011; 4 (333): 124-127.
- [10] McDonald D.J., Kerekes R. J., Zhao R.J. Perspectives on deriving mathematical models in pulp and paper science. *J BioResources*. 2020; 15: 7319-7329.
- [11] Iliev O., Printsypar G., Rief S. On mathematical modeling and simulation of the pressing section of a paper machine including dynamic capillary effects: One-dimensional model. *Transport in Porous Media*. 2012; 92: 41-59.
- [12] Khurramov Sh. R. Filtration rates in roller pressing of fibrous materials. *AIP Conference Proceedings*. 2021; 2402: 030042.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич,
доктор технических наук, профессор,
Ташкентский архитектурно-строительный
институт, Ташкент, Республика Узбекистан
e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

Shavkat R. Khurramov, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Tashkent Institute of
Architecture and Civil Engineering, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
e-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 06.10.2022; одобрена после рецензирования 05.11.2022;
принята к публикации 07.11.2022.*

*The article was submitted 06.10.2022; approved after reviewing 05.10.2022; accepted for
publication 07.11.2022*

УДК: 621.9.015

EDN: [VMSHZA](https://www.edn.net/VMSHZA)



DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0324-0330>

Расчетные модели для оценки напряженно-деформированного состояния в поверхностном слое деталей при поверхностном пластическом деформировании обкатыванием и выглаживанием

Бахтиёржон Касимов¹, Мансурбек Муминов², Акбар Аброров³, Хумоюн Мирзакаримов¹

¹Андижанский машиностроительный институт, Андижан, Узбекистан

²АО “Пахтасаноат илмий маркази”, Ташкент, Узбекистан

³Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

Аннотация. В работе выполнено обоснование выбора расчетной модели для оценки напряженного состояния при отделочно-упрочняющей обработке, в частности, при дробеударной обработке. Приведены аналитические зависимости для расчета компонентов и интенсивности напряжений в поверхностном слое полубесконечного тела под действием распределенной нагрузки по сферической поверхности.

Ключевые слова: поверхностно-пластическое деформирование, сосредоточенная и распределенная сила, нормальные и касательные напряжения, интенсивность напряжений, площадь контакта.

Для цитирования: Касимов, Б., Муминов, М., Аброров, А., & Мирзакаримов, Х. (2022). Расчетные модели для оценки напряженно-деформированного состояния в поверхностном слое деталей при поверхностном пластическом деформировании обкатыванием и выглаживанием. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0324–0330. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0324-0330>

Calculation models for the assessment of deflected mode in the surface layer of parts during surface plastic deformation by running and smoothing

Bakhtiyorjon Kasimov¹, Mansurbek Muminov², Akbar Abrorov³, Khumoyun Mirzakarimov¹

¹ Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan

² JSC “Scientific Center of Cotton Industry”, Tashkent, Uzbekistan

³ Bukhara Engineering-Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. The choice of a calculation model for the assessment of the stress state during finishing-hardening processing, in particular, during shot-impact processing are substantiated in the work. Analytical dependencies for calculating the components and intensity of stresses in the surface layer of a semi-infinite body under the action of a distributed load over a spherical surface are presented.

Keywords: surface-plastic deformation, concentrated and distributed force, normal and shear stresses, stress intensity, contact area.

For citation: Kasimov B., Muminov M., Abrorov A., & Mirzakarimov K. (2022). Calculation models for the assessment of deflected mode in the surface layer of parts during surface plastic deformation by running and smoothing. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0324–0330. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0324-0330>

INTRODUCTION

Majority of the important parts of machines and mechanisms (parts of the working bodies) are subject to high requirements for the quality of the treated surfaces, determined by a set of geometric, physical, and mechanical parameters: surface roughness, strength and hardness, residual stresses, dislocation density. The required quality of the surface layer of parts can be achieved by finishing-hardening processing, in particular, by surface-plastic deformation (SPD). This type of machining, being the simplest and most effective method of strain hardening, has now proven itself reliably and is therefore widely used in mechanical engineering.

It should be considered that the properties of the part begin to form already at the stage of obtaining the blank (casting, forging, welding, and cutting). The correct choice of material and the method of obtaining the blank greatly affect the dynamic strength of the material, increasing the durability of machine parts [1]. A further increase in the durability of parts in the manufacture is achieved by using various methods of thermal, chemical-thermal treatment, surface-plastic deformation (SPD).

Efficient working of new equipment, characterized by good design and quality of manufacturing, is possible only under optimal operating conditions. With unsatisfactory maintenance, there are sometimes cases of loss of performance even of new machines at the very beginning of operation. Therefore, operational methods are an integral part of a set of measures to increase the reliability and durability of machines [2, 3]. The technological process

of manufacturing, assembly and control of products should ensure the required level of quality of the products, including operability and reliability, with the least amount of time and money [4]. All components of the technological process - the processing method and the equipment used, the sequence of operations, tools and processing modes, control methods determine its output parameters and, first of all, the quality indicators of the product specified by the designer in the technical requirements, i.e., its accuracy, quality of the machined surface, mechanical properties and others.

METHODS

The simplest to implement and effective in creating a high-quality surface layer of parts (favorable compressive residual stresses, low surface roughness, depth and degree of hardening) are such methods of finishing and hardening treatment as running and diamond burnishing. Despite the fact that running with slipping occurs when running with a ball in the contact zone, and with diamond burnishing, only sliding occurs, there are similarities between them regarding the nature of the deformation of the surface layer, the ratio of acting forces and friction coefficients, as well as in the patterns of formation of a microprofile of the machined surfaces.

The high quality of the surface layer, achieved by surface-plastic deformation, increases the fatigue strength, contact endurance, wear resistance of parts, and thereby increases the durability of machines and mechanisms [5].

Finishing-hardening processing of parts by rolling and smoothing is characterized by the locality of plastic deformation of the surface layer. Because of the force impact of the deforming body, a deformation zone is created on the contact surface, the initial shape of which corresponds to a dimple, which causes a certain deflected mode along the thickness of the surface layer. Subsequently, as the deforming tool is rolled or smoothed, the entire surface of the cylindrical part is covered with a deformation zone in the form of a continuous helix due to the longitudinal feed, the value of which determines the degree of overlap of the current deformation centers [6, 7].

Because of the local nature of the process of interaction of bodies during surface-plastic deformation, the deflected mode of the surface layer of the part turns out to be inhomogeneous in thickness, i.e. there is an uneven elastic-plastic deformation with its characteristic features: the formation of compressive residual stresses, distortion of the crystal lattice and an increase in the density of dislocations, and an increase in hardness.

RESULTS: CALCULATION MODEL

In order to assess the deflected mode in the surface layer of parts during rolling and smoothing, the following calculation models of loading can be used [8, 9], which differ in the type of load (concentrated or distributed force), the shape and law of load distribution on the boundary of a semi-infinite body:

1. a concentrated force P is applied on the boundary of a semi-infinite body;
2. a uniformly distributed load P is applied within the area of a circle on the boundary of a semi-infinite body;
3. distributed load P_0 over the “hemisphere” (proportional to the ordinates of the spherical surface), applied over the area of the circle on the boundary of the semi-infinite body (Figure 1).

The last loading model most accurately reflects the mechanics of contact interaction when a ball is pressed into a semi-infinite body, since the result of this interaction is a plastically deformed zone in the form of a spherical surface. In the direction of penetration (along the z -axis), shear stresses on areas parallel to the coordinate planes are equal to zero ($\tau_{xy} = \tau_{zx} = \tau_{yz} = 0$). Therefore, the normal stresses will be principal.

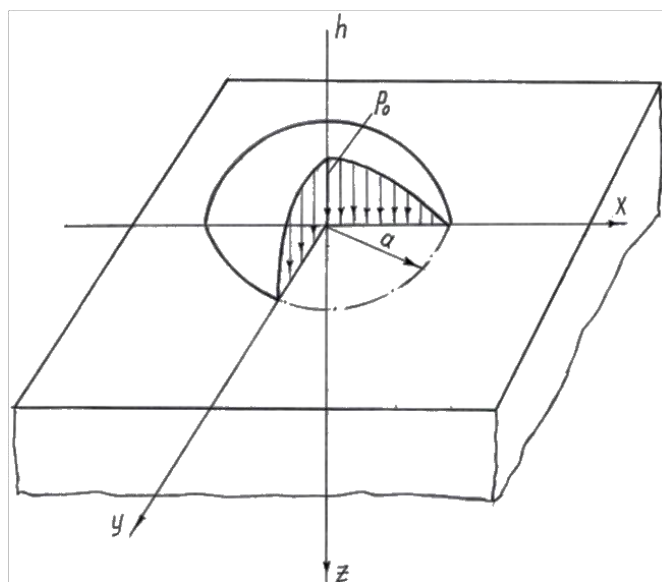


Figure 1. Calculation scheme for the stress state created by a distributed load over the “hemisphere” at the boundary of the semi-infinite body.

The ordinates h of a hemisphere built on this site represent the load distribution P over the area of a circle with a radius:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{h}{a}, p = p_0 \cdot \frac{h}{a} = p_0 \sqrt{\frac{a^2 - (x^2 + y^2)}{a^2}} = p_0 \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{a^2}},$$

where, p_0 is the pressure in the center of the circular platform F; p is pressure corresponding to the h ordinate of the hemisphere

The maximum load P will be:

$$P = \int_F p dF = \frac{p_0}{a} \int_F h dF,$$

where $\int_F h dF = \frac{2}{3} \pi \cdot a^3$ is volume bounded by a hemisphere of a radius. Consequently,

$$p_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi \cdot a^2}. \quad (1)$$

Thus, when the load is distributed over the “hemisphere”, the highest pressure is 1.5 times higher than its average value.

The stress components under a load distributed over a circular contact can be determined from the dependencies:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -p_0 \frac{1}{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2}; \\ \sigma_y = \sigma_x &= -p_0 \left[(1 + \mu) - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2} - (1 + \mu) \cdot \frac{z}{a} \cdot \operatorname{arctg} \frac{a}{z} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

where z is the distance to some considered point of the surface layer; μ is Poisson's coefficient.

Due to the axial symmetry of the stress state in the case of a circular contact area, we have $\sigma_x = \sigma_y$. The normal stresses σ_x and σ_y , in contrast to σ_z , depend on the elastic properties of the material (Poisson's coefficient). If we take $z = 0$ in formulas (2), then

$$\sigma_z = -p_0; \sigma_x = \sigma_y = -p_0 \frac{1 + 2\mu}{2} = \sigma_y. \quad (3)$$

Because $\sigma_z = \sigma_1; \sigma_x = \sigma_y = \sigma_2 = \sigma_3$ and $\sigma_i = |\sigma_1 - \sigma_2|$, then the stress intensity is equal to

$$\sigma_i = p_0 \left[\frac{3}{2 \cdot \left(1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right)} - (1 + \mu) \cdot \left(1 - \frac{z}{a} \cdot \operatorname{arctg} \frac{a}{z}\right) \right]. \quad (4)$$

Given calculation model of loading is applicable for the analytical description of the contact interaction in the shot-impact processing of machine parts for strain hardening. The stress intensity σ_i calculated by formula (4) allows further determining the level of specific stored energy U_s , which is an energy criterion for the quality of the surface layer of parts after final machining and is responsible for the residual stress state. Estimation of the stored strain energy in the surface layer of parts after machining is based on several reasonable approaches that consider the fundamentals of the theory of dislocations, the thermodynamics of irreversible processes, and the energy analysis of the deformation diagram of materials.

CONCLUSION

The reviewed justification for the choice of a calculation model for assessing the stress state during finishing and hardening processing, in particular, during shot-impact, is the most effective processing, since finishing work and hardening properties are considered difficult in practice. The given analytical dependences for calculating the components and intensity of stresses in the surface layer of a semi-infinite body under the action of a distributed load over a spherical surface are calculated to the slightest accuracy, which corresponds to the relevance of this research.

REFERENCES

- [1] Kasimov B. Experimental Determination of the Depth and Degree of Riveting of the Surface Layer of Batan Teeth. Middle European Scientific Bulletin. 2021; 18: 169-171.
- [2] Kasimov B., Muminov M. and Shin I. Combined Strengthening of Batan Teeth of the Stb Loom. International Journal on Orange Technologies. 2021; 3.4: 223-225.
- [3] Abrorov A., Kuvoncheva M., Muhammadov M. Ion-plasma nitriding of disk saws of a ginning machine. Modern Innovations, Systems and Technologies. 2021; 1(3): 30–35.
- [4] Nazarov S. R., Kasimov B. M., Shin I. G. Algorithmization for calculating the intensity of residual stresses during shot-impact hardening of parts of technological machine. Progressive technologies and equipment: textiles, clothing, footwear. 2020; 81-84.
- [5] Mukhammadiev D. M., Akhmedov Kh. A. and Ibragimov F. Kh. Research of a new

design of a steel grate of a saw gin. Problems of Mechanics. 2013; 3-4: 131–35.

[6] Abrorov A., Salimov Sh., Ibodullo S., Matluba K. Vacuum Installation of Technology of Deep Ion-Plasmic Nitriding Disc Saw of Fiber Separating Machines. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020; 7(1): 12406-12409.

[7] Shin I. G. Technological methods for ensuring the quality and predicting the durability of machine parts for the primary processing of cotton: Dissertation of doctor of technical sciences. Tashkent: Tashkent Institute of Light and Textile Industry. 2014. 264 p.

[8] Shin I.G. Intensity of residual stresses during surface plastic deformation of machine parts. Hardening technologies and coatings. Moscow. 2010; 2: 10-13.

[9] Shin I.G. Influence of technological residual stresses on the fatigue strength of machine parts. Problems of textiles. 2004; 1: 63-68.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Касимов Бахтиёржон Мурат угли, PhD, доцент, Андижанский машиностроительный институт, Андижан, Узбекистан

Bakhtiyorjon Kasimov, PhD, associate professor, Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan

Муминов Мансурбек Рахимович, PhD, специалист, АО “Пахтасаноат илмий маркази” Ташкент, Узбекистан

Mansurbek Muminov, PhD, specialist, JSC “Scientific Center of Cotton Industry” Tashkent, Uzbekistan

Аброров Акбар Саидович, PhD, доцент, Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан
E-mail: abrоров1975@mail.ru

Akbar Abrorov, PhD, associate professor Bukhara Engineering-Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan
E-mail: abrоров1975@mail.ru

Мирзакаримов Хумоюн Равшанбек угли, магистр, Андижанский машиностроительный институт, Андижан, Узбекистан

Khumoyun Mirzakarimov, master degree student, Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan

Статья поступила в редакцию 02.11.2022; одобрена после рецензирования 17.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.

The article was submitted 02.11.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.

УДК: 621.9.015

EDN: [ZZRYQE](https://www.edn.net/ZZRYQE)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0331-0338>



Производственные испытания дисковых пил после ионно-плазменного азотирования и лазерной закалки волоконотделительной машины марки 5ДП-130

Акбар Аброров¹, Матлуба Кувончева¹, Ноила Хасанова², Мухсин Мухаммадов¹,
Хасан Саидов¹

¹Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

²Бухарская профессиональная школа, Бухара, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены производственные испытания дисковых пил после ионно-плазменного азотирования. Практическая реализация выполнена для дисковых пил, изготовленных из стали У8Г. Разработана новая методика двухстороннего упрочнения поверхностей ионно-плазменным азотированием с последующей лазерной закалкой зубьев пильных дисков волоконотделительных машин. Теоретически определен рациональный способ ионно-плазменного азотирования и лазерной закалки зубьев дисковой пилы джина с переменными параметрами режима упрочнения. Представлены полученные результаты по производственному испытанию.

Ключевые слова: ионно-плазменное азотирование, лазерная закалка, волоконотделительная машина, сталь У8Г, пильный диск, джин 5ДП-130, режим упрочнения.

Для цитирования: Аброров, А. С., Кувончева, М. Р., Хасанова, Н. Н., Мухаммадов, М. М., & Саидов, Х. А. (2022). Производственные испытания дисковых пил после ионно-плазменного азотирования и лазерной закалки волоконотделительной машины марки 5ДП-130. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0331–0338. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0331-0338>

Production tests of circular saws after ion-plasma nitriding and laser hardening of a 5DP-130 ginning machine

Akbar Abrorov¹, Matluba Kuvoncheva¹, Noila Khasanova², Mukhsin Mukhammadov¹,
Khasan Saidov¹

¹Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

²Bukhara vocational school, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. This article presents production tests of circular saws after ion-plasma nitriding. Practical implementation is made for circular saws made of U8G steel. A new method of double-sided hardening of surfaces by ion-plasma nitriding with subsequent laser hardening of the teeth of saw blades of fiber ginning machines has been developed. A rational method of ion-plasma nitriding and laser hardening of the teeth of a gin's circular saw with variable parameters of the hardening regime has been theoretically determined. The results of the production test are presented.

Keywords: ion-plasma nitriding, laser hardening, fiber separator, U8G steel, saw blade, gin 5DP-130, hardening mode.

For citation: Abrorov A.S., Kuvoncheva M. R., Khasanova N.N., Mukhammadov M.M., & Saidov Kh.A. (2022). Production tests of circular saws after ion-plasma nitriding and laser hardening of a 5DP-130 ginning machine. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0331–0338. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0331-0338>

ВВЕДЕНИЕ

Переработка хлопка-сырца осуществляется на технологических машинах и оборудовании, которое, в основном, изготовлено в США, Китае, России и Узбекистане [1]. Важным фактором по обеспечению стабильности объема выращивания хлопка-сырца и повышения конкурентоспособности сырья на мировом рынке является получение хлопка-волокна высокого качества при обеспечении высокой эффективности.

В Республике Узбекистан осуществляются широкомасштабные мероприятия по разработке высокоэффективной техники и технологий для первичной обработки хлопка-сырца, обеспечивающих получение продукции высокого качества. В этом отношении можно отметить разработку техники и технологий, обеспечивающих сохранение качества вырабатываемой хлопковой продукции на хлопкоперерабатывающих предприятиях, дающих возможность снижения расхода сырья и энергии, совершенствование технологии и техники хлопкоочистительной промышленности, ведущим технологическим звеном которой является процесс дженирования, выполняемый узлом пильного цилиндра [2].

Основной проблемой при функционировании рабочих органов пильного джина является низкий выход волокна, высокая поврежденность волокна и семян хлопка, затрудненность отвода оголенных семян из камеры, высокая потребляемая мощность, низкая эффективность и невозможность дженирования хлопка повышенной влажности.

Проводимые исследования направлены, как правило, на технологию дженирования, съема хлопка-волокна, очистки, выделения оголенных семян и др. Но в них не учитывалось увеличение срока службы за счёт упрочнения и повышения

стойкостных характеристик значимого элемента джинов – дисковой пилы, а также не изучено его влияние на процесс джинирования, что является важным фактором повышения эксплуатационной надежности машин [3]. На основе вышеизложенного повышение надежности основной детали рабочего органа джина – пильных дисков, обоснование основных параметров и режимов их упрочнения является актуальной проблемой отрасли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Производственные испытания износостойкости и прогнозирование долговечности пильных дисков джинов, упрочненных ионно-плазменным азотированием с последующей лазерной закалкой, могут дать ясную картину о целесообразности выбранного метода упрочнения и дальнейшего внедрения в хлопкоочистительный сектор Бухарской области. Основным критерием эффективности данной работы является увеличение срока службы дисковых пил, а также повышение качественных показателей волокна и семян (выход волокна, опушенность и поврежденность семян) в процессе джинирования [4].

В данной работе приведена методика и результаты производственных испытаний упрочненных пильных дисков, расчетная модель износа зубьев джинных пил, метод прогнозирования относительной долговечности упрочненных пильных дисков в зависимости от уровня интенсивности износа и предела прочности материала [5].

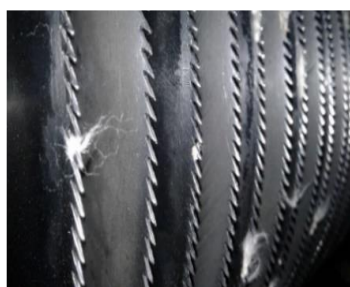
Процесс волокноотделения семян осуществляется непосредственно с помощью пильных дисков и колосников. Рабочее состояние этих рабочих органов зависит от засорённости хлопка сырца, влажности, содержания в составе хлопка органических и минеральных абразивных элементов. В следствие, с увеличением содержания этих элементов начинается возрастание величины износа рабочих зубьев пильных дисков и ребер колосников, что приводит к уменьшению их срока службы. Решению этой проблемы посвящена представленная научная работа, а именно, нанесению износостойкого покрытия с помощью азотирования и лазерного закаливания.

Известно, что срок службы существующих конструкций пильных цилиндров джинных пил составляет всего лишь 48 часов, затем необходима заточка зубьев или замена пил, что влечет простой машины. Процесс восстановления зубьев пил в течение 96 часов повторяется два раза, после чего заканчивается ресурс работы дисковых пил. На втором этапе непригодные пилы подвергаются повторной заточке для дальнейшего

использования их в линтерных машинах. Для повышения износостойкости и прочности поверхностей рабочего органа джинов одним из современных передовых методов является упрочнение рабочей кромки зубьев дисковых пил с помощью лазерного луча.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Производственные испытания износостойкости джиновых пил, упрочненных по технологии ионно-плазменного азотирования и лазерной закали, проводили с использованием хлопка-сырца ручного сбора 3-го сорта 3-й селекции Бухара-108 влажностью 12,1 % на двух джинах 5ДП-130 лабораторного типа в джино-линтерном цехе Бухарского хлопкоочистительного завода. Износ измеряли по задней поверхности на пяти маркированных и расположенных подряд зубьях с помощью отсчетного микроскопа – лупы Бринеля МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм и увеличением $\times 24$ (см. рисунок 1).



а)



б)

Рисунок 1. Состояние дисковых пил после 96 часов работы с закаленными и не закаленными зубьями (б) на отдельных джинах 5ДП-130.

Figure 1. The condition of circular saws after 96 hours of operation with hardened (a) and non-hardened teeth (b) on individual gins 5DP-130.

Исследования показали, что работоспособность пильных дисков с упрочненными зубьями по технологии ионно-плазменного азотирования и лазерной закали значительно превосходит стойкость неупрочненных джиновых пил [6]. Так, если стойкость пильных дисков с упрочненными зубьями составила $T=98$ часов при достижении $h_3 = 0,6$ мм, то стойкость неупрочненных дисков – всего лишь $T=98$ часов при $h_3 = 1,2$ мм.

Установлено, что после 98 часов работы закаленные зубья пильных дисков

сохранили полностью исходный профиль и высокую работоспособность при $h_3 = 0,6$ мм. Длинные дисковые пилы с незакаленными зубьями показали значительно меньшую работоспособность $h_3 = 1,2$ мм, из-за поломок и искажения заданного профиля зубьев вследствие износа (рисунок 2).



Рисунок 2. Состояние дисковых пил после 96 часов работы, установленных чередованием (с закаленными и не закаленными зубьями) на джине 5ДП-130.

Figure 2. The condition of circular saws after 96 hours of operation, installed in alternation (with hardened and not hardened teeth) on a gin 5DP-130.

Выявлены особенности процесса изнашивания при одновременной эксплуатации пильных дисков на одном джине с закаленными и не закаленными зубьями (рисунок 2). Заводские пильные диски показали низкую работоспособность. Зубья заводских пильных дисков на некоторых участках полностью разрушились и потеряли функциональную способность [7]. Закаленные зубья дисков имеют высокую работоспособность при их минимальном износе $h_3=0,2...0,6$ мм, сохраняя геометрические параметры.

В работе произведена оценка интенсивности износа зубьев джинных пил в соответствии с методикой прогнозирования изнашиваемых механических устройств [8,9].

С учетом приведенных результатов исследований по износостойкости пильных дисков составлена таблица соответствия развития износа зубьев по длительности

эксплуатации джиновых пил по задней поверхности, по которой можно рассчитать среднее значение продолжительности производственного цикла (таблица 1).

Таблица 1. Степень развития износа зубьев от длительности эксплуатации.

Table 1. The degree of development of tooth wear from the duration of operation.

№	Пилы с упрочнёнными зубьями		Пилы с неупрочнёнными зубьями	
	T, час	h _з , мм	T, час	h _з , мм
1	48	0,2	48	0,28
2	72	0,4	72	0,6
3	96	0,6	96	1,2

В результате выполненного анализа рекомендуемых пильных цилиндров стало возможным значительно повысить твердость зубьев при сохранении высокой твердости по толщине, в результате увеличен срок службы пил джинов в 2-2,5 раза, что подтверждается результатами экспериментальных исследований, проведенными на пильных джинах, упрочненных с помощью ионно-плазменного азотирования и лазерной закалки зубьев пильного цилиндра.

ВЫВОДЫ

Применение вышеперечисленных способов упрочнения позволило значительно повысить твердость зубьев пильных дисков при сохранении их высокой твердости по толщине, в результате было установлено, что срок службы пильных дисков джина увеличился в 2,5 раза. Упрочненные зубья пильных цилиндров сохранили первоначальный профиль и высокую работоспособность при h_з=0,2 мм после 48 часов работы. Исходя из полученных результатов исследования микротвердости, прочность поверхности пильного цилиндра увеличилась и срок работы пильного цилиндра с 48 часов увеличился до 96 часов после химико-термической обработки и лазерной закалки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Cotton: World Statistics. Bulletin of the international cotton advisory committee. NY. November 2021.
- [2] Мирошниченко Г.И. и др. Оборудование и технология производства первичной обработки хлопка. Т.: Укитувчи; 1980. 328.

- [3] Махкамов Р.Г. Некоторые проблемы текстильного машиностроения. Известия ВУЗов. Технические науки. 1995; 1-4: 105-111.
- [4] Kasimov B., Muminov M., Shin I. Combined strengthening of Batan teeth of the Stb loom. International Journal on Orange Technologies. 2021; 3(4): 223-225.
- [5] Abrorov A., Kuvoncheva M., Muhammadov M. Ion-plasma nitriding of disk saws of a ginning machine. Modern Innovations, Systems and Technologies. 2021; 1(3): 30–35.
- [6] Богачёв И.И., Климов В.Н., Алешин С.В. Технология глубокого ионно-плазменного азотирования режущего инструмента. Станкостроение и инструментальное производство. 2016; 5: 30-32.
- [7] Abrorov A., Salimov Sh., Sohibov I., Kuvoncheva M. Vacuum installation of technology of deep ion-plasmic nitriding disc saw of fiber separating machines. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020; 7(1): 12406-12409.
- [8] Kasimov B. Experimental determination of the depth and degree of riveting of the surface layer of Batan teeth. Middle European Scientific Bulletin. 2021; 18: 169-171.
- [9] Fedorov S., Sharipov J., Abrorov A. Increasing the surface stability of the cutting tool through complex machining. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889(2): 022079.

REFERENCES

- [1] Cotton: World Statistics. Bulletin of the international cotton advisory committee. NY. November 2021.
- [2] Miroshnichenko G.I. i dr. Oborudovanie i tekhnologiya proizvodstva pervichnoj obrabotki hlopka. T.: Ukituvchi; 1980. 328.
- [3] Mahkamov R.G. Nekotorye problemy tekstil'nogo mashinostroeniya. Izvestiya VUZov. Tekhnicheskie nauki. 1995; 1-4: 105-111.
- [4] Kasimov B., Muminov M., Shin I. Combined strengthening of Batan teeth of the Stb loom. International Journal on Orange Technologies. 2021; 3(4): 223-225.
- [5] Abrorov A., Kuvoncheva M., Muhammadov M. Ion-plasma nitriding of disk saws of a ginning machine. Modern Innovations, Systems and Technologies. 2021; 1(3): 30–35.
- [6] Bogachyov I.I., Klimov V.N., Aleshin S.V. Tekhnologiya glubokogo ionno-plazmennogo azotirovaniya rezhushchego instrumenta. Stankostroenie i instrumental'noe proizvodstvo. 2016; 5: 30-32.
- [7] Abrorov A., Salimov Sh., Sohibov I., Kuvoncheva M. Vacuum installation of technology of deep ion-plasmic nitriding disc saw of fiber separating machines. International Journal of

Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020; 7(1): 12406-12409.

[8] Kasimov B. Experimental determination of the depth and degree of riveting of the surface layer of Batan teeth. Middle European Scientific Bulletin. 2021; 18: 169-171.

[9] Fedorov S., Sharipov J., Abrorov A. Increasing the surface stability of the cutting tool through complex machining. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889(2): 022079.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Аброров Акбар Саидович, старший преподаватель, Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан
E-mail: abrorov1975@mail.ru

Akbar S. Abrorov, Senior Lecturer, Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan
E-mail: abrorov1975@mail.ru

Кувончева Матлуба Рашидовна, докторант, Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

Matluba R. Kuvoncheva, doctoral student, Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

Хасанова Ноила Намозовна, преподаватель специальных дисциплин, Бухарская профессиональная школа, Бухара, Узбекистан

Noila N. Khasanova, teacher of special disciplines, Bukhara vocational school, Bukhara, Uzbekistan

Мухаммадов Мухсин Азамат угли, магистр группы М8-21ТМО и ТО, Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

Mukhsin A. Mukhammadov, master student, Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

Саидов Хасан Акбар угли, студент группы 312-20 ТМО, Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

Khasan A. Saidov, student, Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

Статья поступила в редакцию 13.11.2022; одобрена после рецензирования 25.11.2022; принята к публикации 28.11.2022.

The article was submitted 13.11.2022; approved after reviewing 25.11.2022; accepted for publication 28.11.2022.

УДК: 591.6

 DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0339-0349>

 EDN: [ISHWUX](#)


On the calculation of a model of a three-dimensional turbulent diffusion plume

Safar Khojiev¹, Shukhrat Yuldoshev² and Shamshod Savriev²

¹*Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan*

²*Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan*

Abstract. In this paper a three-dimensional model of diffusion combustion is presented in the case of the outflow of a combustible gas mixture from a rectangular nozzle and propagating in a heated (with a passing) air flow. For the three-dimensional case, the transformation of the multicomponent concentration equation is described in detail using the conservative Schwab-Zeldovich function with respect to excess concentrations, which reduces the number of diffusion equations to one for a four-component mixture. It is assumed that on the surface of the flame front, the flows of the oxidizer and fuel must satisfy the condition of stoichiometric equality of the consumed and formed substances at the flame front are equal to zero. The three-dimensional system of Navier-Stokes equations is used to describe the flow. To calculate the turbulent viscosity, an algebraic model is used that takes into account the three-dimensionality and temperature inhomogeneity of the jet. A number of numerical results are given as the influence of the initial value of the velocity of the combustible mixture on the flame parameters. During diffusion combustion of a propane-butane mixture. It was found that an increase in fuel velocity does not always lead to an increase in the maximum temperature at the flame front, with other parameters unchanged.

Keywords: three-dimensionality, diffusive, jet, turbulence, reacting, flow, torch, front, components, stoichiometry.

For citation: Khojiev, S., Yuldoshev, S., & Savriev, S. (2022). On the calculation of a model of a three-dimensional turbulent diffusion plume. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2(4), 0339–0349. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0339-0349>

INTRODUCTION

To describe the combustion process, various models are adopted based on the law of acting masses. One of the simplest and most widespread models is diffusion combustion. The most general analysis of the combustion of undisplaced gases was performed by Ya. B. Zel'dovich [1] and showed that during the combustion of unmixed gases, the flame front is

established at those points where the reactant flows approaching the front are in a stoichiometric ratio. One of the first serious attempts to construct a theory of a turbulent diffusion plume belongs to V.A. Shvab [2]. To simplify the calculation, V.A. Shvab proceeds from the assumption of the similarity of the fields of velocity, concentration and temperature in the plume [3,4].

A more detailed review of combustion studies can be found in [5] and others.

Numerous studies have dealt mainly with the combustion of unmixed gases in two-dimensional plane and axisymmetric turbulent jets. In [5], taking into account that the aerodynamics of the flame and its stability are largely determined by the flow structure in the non-self-similar region - the zone of formation and stabilization of the flame, the method of the equivalent problem of the theory of heat conduction is used to describe three-dimensional flames. Within the framework of the method of the equivalent problem of the theory of heat conduction for calculating the distribution of velocity, temperature and concentration, as well as for calculating by stoichiometric ratios, the length of the flame is determined, where expressions for engineering calculations of a turbulent diffusion flame flowing out of a rectangular nozzle are derived. A detailed numerical study of the parameters of a flame flowing from a nozzle of a rectangular or any complex shape is practically absent in publications, but there are some works devoted to spatial combustion [6-8].

Taking into account the wide application of the problem of jet flow dynamics, it is of great interest to study propagating reacting jets flowing out of a rectangular nozzle with a finite aspect ratio.

Such tasks are used in the creation of various furnace devices, combustion chambers, efficient fuel combustion, etc. However, it should be noted that the main experimental and few numerical studies are devoted to the study of air outflows [9,10] as well as chemical reactions [11-14].

PROBLEM STATEMENT

In this paper, a three-dimensional model of diffusion combustion is presented in the case of a combustible gas mixture flowing out of a rectangular nozzle and propagating in a flooded (with a passing) air flow (figure 1). To describe the flow, we use three-dimensional systems of Navier-Stokes equations for multicomponent chemical reacting gas mixtures [15], which has the form

Mixture equation for gases:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0,$$

The equation of motion along the x coordinate:

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial u}{\partial z} \right),$$

The equation of motion along the y coordinate:

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{4}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial w}{\partial y} \right),$$

The equation of motion along the z coordinate:

$$\rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{4}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial v}{\partial y} \right),$$

Energy transfer equation (total enthalpy):

$$\begin{aligned} \rho u \frac{\partial H}{\partial x} + \rho v \frac{\partial H}{\partial y} + \rho w \frac{\partial H}{\partial z} = & \frac{1}{Pr_T} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{1}{Pr_T} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial H}{\partial z} \right) + \left(1 - \frac{1}{Pr_T} \right) \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T u \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \right. \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T u \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T w \frac{\partial w}{\partial y} \right) \left. \right] + \left(\frac{4}{3} - \frac{1}{Pr_T} \right) \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T v \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] - \\ & - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{2}{3} \mu_T v \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T v \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T w \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{2}{3} \mu_T w \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

Total enthalpy:

$$H = c_p T + \frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} + \sum_{i=1}^{N_k} C_i h_i^*.$$

The equation of state of the gas mixture:

$$P = \rho T R \sum_{i=1}^{N_k} \frac{C_i}{m_i}$$

For the three-dimensional case, the equation for the concentration of the i -th component has the form:

$$\rho u \frac{\partial C_i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial C_i}{\partial y} + \rho w \frac{\partial C_i}{\partial z} = \frac{1}{Sc_T} \left(\mu \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + \dot{\omega}_i. \quad (1)$$

Here x, y, z are Cartesian coordinates; u, v, ω are the velocity components along the axis, respectively x, y, z ; ρ - density; C_i - mass concentration of i -th component; Sc_T - turbulent Schmidt number; μ - turbulent viscosity; $\dot{\omega}_i$ - mass formation rate i -th component.

SOLUTION METHOD

Let us describe the method of transformation of the three-dimensional equation of the concentration of the i -th component leading to one equation for a four-component mixture of gases during diffusion combustion.

It is assumed that the reaction proceeds in the zone of contact between the fuel and the oxidizer. Usually this zone, which is an infinitely thin surface, is called the flame front. On the surface of the flame front, the flows of the oxidizer and fuel must satisfy the condition of stoichiometric equality of the consumable and formed substances

$$\dot{\omega}_i v_3 m_3 + \dot{\omega}_3 v_i m_i = 0, \quad (2)$$

those. the concentration of the oxidizer and fuel at the flame front are equal

$$(C_1)_\phi = (C_2)_\phi = 0. \quad (3)$$

Equation (1) for problems (models) of diffusion combustion can be reduced to a more compact form

$$\rho u \frac{\partial C_i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial C_i}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial C_i}{\partial z} = \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + \dot{\omega}_i \cdot |v_3 m_3 \quad (4)$$

$$\rho u \frac{\partial C_3}{\partial x} + \rho v \frac{\partial C_3}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial C_3}{\partial z} = \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial C_3}{\partial y} \right) + \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial C_3}{\partial z} \right) + \dot{\omega}_3 \cdot |v_i m_i \quad (5)$$

Adding (4) and (5), we get

$$\begin{aligned} & \rho u \frac{\partial}{\partial x} (C_i v_3 m_3 + C_3 v_i m_i) + \rho v \frac{\partial}{\partial y} (C_i v_3 m_3 + C_3 v_i m_i) + \rho \omega \frac{\partial}{\partial z} (C_i v_3 m_3 + C_3 v_i m_i) \\ &= \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial}{\partial y} (C_i v_3 m_3 + C_3 v_i m_i) \right] + \frac{1}{Sc_T} \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial}{\partial z} (C_i v_3 m_3 + C_3 v_i m_i) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Here the condition of stoichiometric equality of the amount of consumed and formed substances is used (2), or

$$\rho u \frac{\partial \tilde{C}_i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \tilde{C}_i}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial \tilde{C}_i}{\partial z} - \frac{1}{s_{CT}} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \tilde{C}_i}{\partial y} \right) + \frac{1}{s_{CT}} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \tilde{C}_i}{\partial z} \right), \quad (7)$$

where,

$$\tilde{C}_i = C_i \nu_3 m_3 + C_3 \nu_i m_i. \quad (8)$$

Using the conservative Schwab-Zel'dovich function with respect to excess concentrations

$$\tilde{\tilde{C}} = \frac{\tilde{C}_i - (\tilde{C}_i)_1}{(\tilde{C}_i)_2 - (\tilde{C}_i)_1}, \quad i = \overline{1 \div 3} \quad (9)$$

does not change the form of equation (7)

$$\rho u \frac{\partial \tilde{\tilde{C}}}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \tilde{\tilde{C}}}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial \tilde{\tilde{C}}}{\partial z} = \frac{1}{s_{CT}} \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \tilde{\tilde{C}}}{\partial y} \right) + \frac{1}{s_{CT}} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \tilde{\tilde{C}}}{\partial z} \right). \quad (10)$$

The function $\tilde{\tilde{C}}$ takes the value 1 in the fuel nozzle exit, and 0 in the air zone (here the second indices indicate that this value belongs to the air-1 or bitter-2 nozzle exit). The introduction of function (9) makes it possible to get rid of the source a term in the diffusion equation (1) and reduces the number of diffusion equations to one for a four-component mixture (10).

At a finite reaction rate, it is necessary to integrate the diffusion equation for each component separately.

Using condition (3), from relation (8) we find

$$\begin{cases} (\tilde{C}_1)_\phi = (\tilde{C}_3)_\phi \nu_1 m_1, \\ (\tilde{C}_2)_\phi = (\tilde{C}_3)_\phi \nu_2 m_2. \end{cases} \quad (11)$$

Using (11), from (9) we determine the value $\tilde{\tilde{C}}$ at the flame front (see Fig. 1, which shows the spatial shape of the flame), i.e. $\tilde{\tilde{C}}_\phi$

$$\frac{\nu_3 m_3}{\nu_1 m_1} (C_1)_1 (1 - \tilde{\tilde{C}}_\phi) = \frac{\nu_3 m_3}{\nu_2 m_2} (\tilde{\tilde{C}}_\phi) (C_2)_2,$$

or

$$\frac{(C_1)_1}{\nu_1 m_1} = \left[\frac{(C_1)_1}{\nu_1 m_1} + \frac{(C_2)_2}{\nu_2 m_2} \right] (\tilde{\tilde{C}}_\phi),$$

from here
$$\tilde{C}_\phi = \frac{1}{1 + \frac{v_1 m_1 (C_2)_2}{v_2 m_2 (C_1)_1}} \quad (12)$$

From (8), (9) we find the distribution of the relative excess concentration of fuel, oxidizer, inert gas reaction product using the following boundary conditions:

$$\begin{cases} (\tilde{C}_1)_1 = (C_1)_1 v_3 m_3, & (\tilde{C}_1)_2 = 0, \\ (\tilde{C}_2)_1 = 0, & (\tilde{C}_2)_2 = (C_2)_2 v_3 m_3. \end{cases} \quad (13)$$

The condition $\tilde{C} > \tilde{C}_\phi$ corresponds to the fuel region, $0 \leq L(y, z) < L_\phi(y, z)$, the concentrations of the components are defined as

$$\begin{cases} C_1 = 0, \\ C_2 = \tilde{C} \left[(C_2)_2 + \frac{v_3 m_3}{v_1 m_1} (C_1)_1 \right] - \frac{v_3 m_3}{v_1 m_1} (C_1)_1, \\ C_3 = \frac{v_3 m_3}{v_1 m_1} (C_1)_1 (1 - \tilde{C}), \end{cases} \quad (14)$$

a for the oxidizer zone, where the condition is fulfilled $\tilde{C} < \tilde{C}_\phi$, $[L(y, z) > L_\phi(y, z)]$,

$$\begin{cases} C_2 = 0, \\ C_1 = \left[(C_1)_1 + \frac{v_3 m_3}{v_2 m_2} (C_2)_2 \right] \tilde{C}, \\ C_3 = \frac{v_3 m_3}{v_2 m_2} (C_2)_2 \tilde{C}. \end{cases} \quad (15)$$

For an inert gas N_2 , its distribution relative to the excess concentration and the boundary conditions will be the same as for $\tilde{C}$, therefore

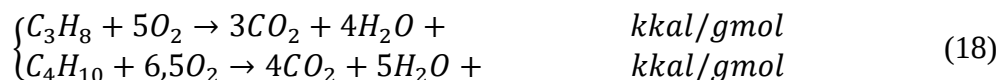
$$\frac{C_4 - (C_4)_1}{(C_4)_2 - (C_4)_1} = \tilde{C} \quad (16)$$

$$C_4 = (C_4)_1 + [(C_4)_1 - (C_4)_2] \tilde{C}, \quad (17)$$

where expressions (17) are valid in the entire investigated area of heat and mass transfer. Formulas (14 - 17) when calculating $\tilde{C}$ make it possible to unambiguously find the values of the concentration of all components of the flow region. The reliability of determining the concentration of the components can be checked using the identity

$$\sum_{i=1}^{N_k} C_i = 1. \quad (N_k - \text{number of components}).$$

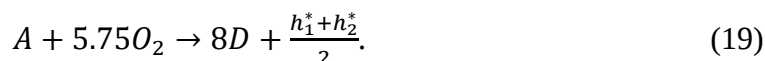
As an example, the combustion of a mixture of propane a - butane in air with different values of the jet parameters was studied. The reaction proceeds according to the stoichiometric equations:



$$\nu_{O_2} = 5,75; \nu_{C_3H_8+C_4H_{10}} = 1; \nu_{CO_2} = 3,5; \nu_{H_2O} = 4,5;$$

$$m_{O_2} = 32; m_{C_3H_8+C_4H_{10}} = 41; m_{CO_2} = 44; m_{H_2O} = 18; m_{N_2} = 28,$$

because $0,5(C_3H_8 + C_4H_{10})$, the mol is 1 mol of the combustible mixture, which we denote by A and the unified stoichiometric equation can be represented as



The parameters of fuel A and the combustion product required for calculation $D = \frac{7CO_2 + 9H_2O}{2}$ (heat capacity, molecular weight, thermal conductivity) are determined according to the laws of thermodynamics.

So, from the point of view of mathematical calculation, we consider a four-component mixture of gases in the mixing zone, consisting of oxygen O_2 - index "1", a mixture of propane a - butane ($C_3H_8 + C_4H_{10}$) - "2", combustion products $CO_2 + 9H_2O$ - "3", inert gas N_2 - "4". From a physical point of view, 6 components are involved in the zone of heat and mass exchange.

NUMERICAL RESULTS

We present some numerical results, as in the line of the initial value of the speed of the hot mixture on the parameters of the torch.

For the numerical solution describing the flows, an efficient method [12] similar to SIMPLE [15] was used, that the corrections to the velocity are determined by the corrections to the pressure in accordance with the approximate equations of motion, in which the longitudinal convective terms are balanced by the pressure terms.

To calculate the turbulent viscosity, a semi-empirical formula was used that takes into account molecular transfer, three-dimensionality, and temperature inhomogeneity of the jet in the form [13].

$$\mu = \chi \rho l^2(y, z) \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} + \left(\frac{\partial \omega}{\partial y}\right)^2 \left(\frac{T}{T_2}\right)^\alpha.$$

In this case, the combustion of a propane-butane mixture flowing from a square-shaped nozzle and propagating in a concurrent oxidizer flow was calculated [4] under the condition:

I. Oxidizer zone:

$$T_1 = 300 \text{ K}; u_1 = 0; (C_1)_1 = 0,232, (C_2)_1 = 0; (C_3)_1 = 0; (C_4)_1 = 0,768.$$

II. Fuel zone:

$$T_2 = 1200 \text{ K}; u_2 = 61 \text{ м/с} (18,3 ; 30; 38 \text{ м/с});$$

$$(C_1)_2 = 0; (C_2)_2 = 0,12; (C_3)_2 = 0; (C_4)_2 = 0,88 ;$$

$$Pr_T = Sc_T = 0,65, P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}.$$

Figure 2 shows the shape of the torch depending on the initial value of the velocity, while other parameters of the jet and the oxidizer remained unchanged. As can be seen from the graph, when the speed changes u_2 from 18.3 to 30 m/s, the linear dimensions of the torch increase with increasing u_2 up to 61 m/s, they practically do not change, even at $u_2 = 70$ m/s.

Figure 3 shows the change in the concentration of the fuel and the C_2 reaction C_3 product along the axis of the submerged diffusion flame at fuel velocities $u_2 = 18.3$ m/s (- - -) and 61 m/s (———).

The change in the axial concentration indicates that, as one moves away from the nozzle exit, its value decreases at $u_2 = 18,3 \text{ м/с}$ faster than compared to $u_2 = 61 \text{ м/с}$.

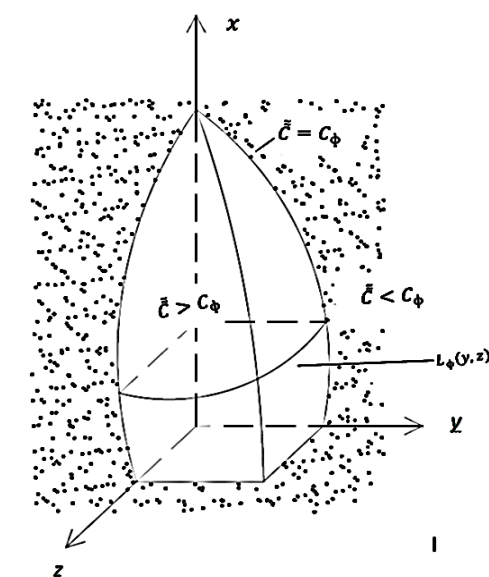


Figure1. Spatial shape of the torch.

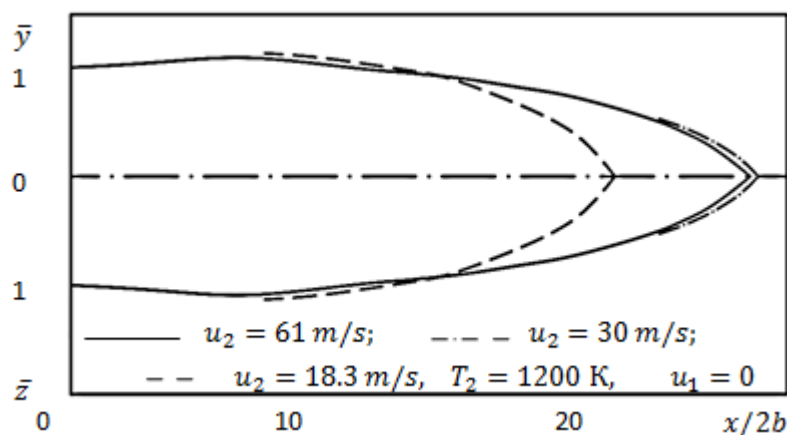


Figure 2. Torch configuration at various initial jet velocities.

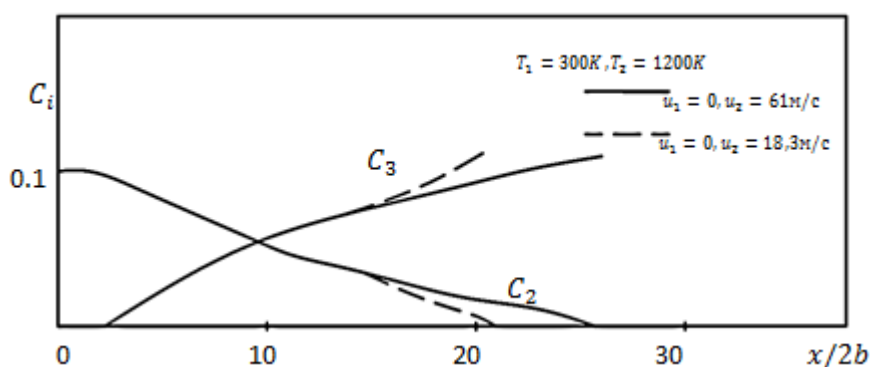


Figure 3. Changes in the concentration of the fuel C_2 and the reaction product C_3 along the axis of the flooded diffusion flame.

CONCLUSIONS

At jet velocities of 18, 30, 38, and 61 m/s, respectively, the maximum temperature reaches 1943, 1845, 1850, and 1909 K.

The results obtained will help in the selection of the initial jet velocity, to obtain the required length and temperature of the flame during diffusion combustion.

REFERENCES

- [1] Zel'dovich Ya.B. On the theory of combustion of undisplaced gases. Journal of Technical Physics. 1949; 19(10): 107-114.

- [2] Shvab A.V. Connection between temperature velocity models of a gas torch. Research on natural fuel combustion processes. State Energy Publishing House; 1948.
- [3] Gauthorn V., Widdel D., Hottell G. Mixing and combustion in turbulent gas jets. Questions of combustion. 1953; 1: 124-145.
- [4] Vulis L.A., Yarin L.P. Torch aerodynamics. L.: Energy; 1978. 216.
- [5] Pletcher M. Calculation of forced turbulent updrafts in stratified and homogeneous environments. Gr. Amer. islands. Eng. mech., ser. Heat transfer. 1977; 1: 105.
- [6] Vasiliev V. I., Golubtsova L. G., Krashennnikov S. Yu., Rudy Yu. A. Study of the propagation of three-dimensional turbulent jets. Materials of the 5th All-Union congress on theory and appl. mechanics. May 27 - June 3. Alma-Ata; 1981: 87-88.
- [7] Markatos N.C.G., Moulton A. The computation of steady and Unsteady, turbulent, chemically reacting flows in axi symmetrical domains. Trans. chem. Eng. 1979; 57(3): 156-162.
- [8] Carpenter M.H. Three – Dimensional Computation of cross-flow injection and Combustion in a Supersonic flow. AIAA Paper. 1989; 1970: 1-16.
- [9] Isataev S.I., Toleuov G., Isataev M.S. Investigation of the average characteristics of three-dimensional turbulent jets. Bulletin of the Cossack National University. Physical series. 2012; 2(41): 54-60.
- [10] Khodjiev S., Yuldashev Sh.S., Makhmudov S.A. Investigation of the initial sections of free turbulent jets flowing from rectangular nozzles. Uzbek magazine. Problems of mechanics. FAN. Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. Tashkent. 1992: 64-68.
- [11] Khojiev S., Yuldoshev Sh.S., Savriev Sh. Sh., Murtazoyev A.S. Numerical simulation of three-dimensional turbulent jets of reacting gases. Eurasian journal of mathematical theory and computer sciences. Innovative Academy Research Support Center. 2022; 2(6): 73-82.
- [12] Khodjiev S., Avezov A.Kh., Murodov Sh. Numerical modeling of three-dimensional turbulent jets of reacting gases flowing out of a rectangular nozzle based on the “ $k-\varepsilon$ ” turbulence model. Scientific journal Bulletin of the Bukhara State University. Bukhoro. 2007; 3: 81-87.
- [13] Khodjiev S., Zhumaev Z.Sh., Primov A., Muminova Z.A. Investigation of three-dimensional turbulent jets of reacting gas flowing from a rectangular nozzle and propagating in a cocurrent (flooded) air flow during diffusion combustion Uzbek journal “Problems of Mechanics”. Tashkent FAN. AN. Republic of Uzbekistan. 1993: 28-33.

- [14] Lapin Yu. V., Sterelec M. Kh. Internal flows of gas mixtures. The science. Physics and Mathematics. 1989. 368.
- [15] Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. Computational fluid mechanics and heat transfer. Moscow: Mir; 1990. 392.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ходжиев Сафар, к.ф.-м.н., доцент,
Бухарский государственный университет,
Бухара, Узбекистан
E-mail: s.hojiev@buxdu.uz

Safar Khojiev, Candidate of Physical and
Mathematical Sciences, Associate Professor,
Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan
E-mail: s.hojiev@buxdu.uz

Йулдошев Шухрат Савриевич, к.ф.-м.н.,
доцент, Бухарский инженерно-
технологический институт, Бухара,
Узбекистан

Shukhrat Yuldoshev, Candidate of Physical
and Mathematical Sciences, Associate
Professor, Bukhara Engineering
Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan

Савриев Шамшод Шухрат угли, стажёр
исследователь, Бухарский инженерно-
технологический институт, Бухара,
Узбекистан

Shamshod Savriev, research assistant,
Bukhara Engineering Technological
Institute, Bukhara, Uzbekistan

Статья поступила в редакцию 05.12.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 20.12.2022.

The article was submitted 05.12.2022; approved after reviewing 19.12.2022; accepted for publication 20.12.2022.

УДК: 687.157.622.323

EDN: [ZHCFVL](https://www.edn.net/ZHCFVL)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0401-0411>



Методика получения композиции для защитного олеофобного покрытия в материалах

Т. Ж. Кадиров¹, М. М. Чориева², Ф. У. Нигматова¹, М. А. Мансурова¹

¹*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент,
Узбекистан*

²*Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан*

Аннотация. В статье приведены основные характеристики композитных материалов, используемых для покрытия текстильных материалов. Предложена новая эффективная композиция для получения олеофобного покрытия, включающая мас.ч.: поливинилхлорид-100, диоктилфталат 36-44, дополнительный пластификатор сложный эфир основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта 12-16, минеральный наполнитель 28-32, стабилизатор Na – соль полимера 6-хлор, 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата 0,1-0,3, олеофобизатор винилэтинилдигидроксихлорсилан 0,1-0,5, и пигмент 0,09-0,13, которая обеспечивает повышение качества спецодежды и ее стойкость к действиям масел, жиров и углеводов.

Ключевые слова: композитный материал, спецодежда, стойкость, масло, жир, углеводород, диоктилфталат, эфир, олеиновая кислота, спирт, стабилизатор, соль, пигмент.

Для цитирования: Кадиров, Т. Ж., Чориева М. М., Нигматова, Ф. У. & Мансурова М. А. (2022). Method of obtaining a composition for a protective oleophobic coating in materials. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0401–0411. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0401-0411>

Method of obtaining a composition for a protective oleophobic coating in materials

T. J. Kadirov¹, M. M. Chorjeva², F. U. Nigmatova¹, M. A. Mansurova¹

¹*Tashkent Textile and Light Industry Institute, Tashkent, Uzbekistan*

²*Bukhara Engineering Technological Institute, Bukhara, Uzbekistan*

Abstract. The article presents the main characteristics of composite materials used for coating textile materials. A new effective composition for obtaining an oleophobic coating is proposed, including parts by weight: polyvinyl chloride-100, dioctyl phthalate 36-44, additional plasticizer ester based on oleic acid and isoamyl alcohol 12-16, mineral filler 28-32, stabilizer Na - polymer salt 6 -chlorine, 2-oxo, 3-benzoxazolylmethyl (meth)acrylate 0.1-0.3, vinyl ethynyl dihydroxy chlorosilane oleophobicizer 0.1-0.5,

and pigment 0.09-0.13, which allows improving the quality of workwear resistant to action oils, fats and hydrocarbons.

Keywords: composite material, overalls, durability, oil, fat, hydrocarbon, dioctyl phthalate, ether, oleic acid, alcohol, stabilizer, salt, pigment.

For citation: Kadirov T. J., Chorjeva M. M., Nigmatova F. U. & Mansurova M. A. (2022). Method of obtaining a composition for a protective oleophobic coating in materials. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0401–0411. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0401-0411>

ВВЕДЕНИЕ

В химической технологии хлопчатобумажных материалов, в частности, при получении защитного олеофобного покрытия текстильного материала используют обработку материала раствором поливинилхлоридом, сложными эфирами жирных кислот, а также включают минеральный наполнитель, стабилизатор, винилэтинилдигидросилорсилан и пигмент [1, 2].

Известна ПВХ композиция, содержащая поливинилхлорид и пластификатор [3]. Однако, данная композиция недостаточно устойчива к действию углеводородов. Также известна композиция для получения защитных покрытий методом макания в раствор композиции или нанесения на тканевую основу. Композиция содержит: ПВХ, диоктилфталат, минеральный наполнитель, стабилизатор, полиэтилсилоксановую жидкость и пигмент [4].

Однако, это композиция имеет низкую вязкость, что свидетельствует о недостаточном реагировании исходных ингредиентов между собой. В другой композиции для получения защитного покрытия используют кислото-, щелочноотталкивающую отделку и термостабилизацию [5].

Состав является технико-экономически невыгодным за счет нестабильности. Жизнеспособность композиции данного состава составляет не более 16 суток. Также недостаток данной композиции в том, что она имеет высокую степень вязкости и не обеспечивает достаточных защитных свойств поверхности при нанесении на ткань методом макания, а также фиксируется неустойчивое качество спецодежды при маслостойкости во время эксплуатации.

Более того, данная композиция не содержит необходимых компонентов, которые придают стабильность текстильным материалам к действию углеводов, масел и жиров.

Содержащийся в известной композиции пластификатор - нафтенат натрия хорошо растворяется во многих органических растворителях, что представляет собой натриевое мыло нафтенных кислот нефтепродуктов (углеводородов). В связи этим присутствие нафтената натрия в композиции для получения олеофобного защитного покрытия не желательно, т.к. нафтенат натрия, находящийся в текстильных материалах, может легко вымываться при загрязнении с собственным углеводородом, из которого был экстрагирован.

Следующим недостатком данной композиции является то, что натриевая соль 2-оксо, 3-бензоксазолил (мет) акрилат обладает менее стабилизирующим действием для олеофобной композиции, в связи с тем, что не имеет активных концевых элементов в бензоксальном кольце.

Еще одним недостатком указанной композиции является присутствие полиэтилсилоксановой композиции. Введение в состав композиции полиэтилсилоксановой жидкости (технический продукт ГКЖ-94) приводит к неравномерности распределения гидрофобизатора из-за высокой молекулярной массы, это приводит увеличению вязкости, что затрудняет диффундирование композиции в структуру ткани.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ОЛЕОФОБНОГО ПОКРЫТИЯ

Для разработки удешевленного способа получения комплексной олеофобной и термостабилизирующей отделки с повышенными физико-механическими и химическими показателями, улучшения качества спецодежды, стойкой к действию масел, жиров и углеводов, направленной и против теплового эффекта рекомендуется следующая композиция, включающая поливинилхлорид, диоктилфталат, дополнительный пластификатор, винилэтинилдигидроксихлорсилан, стабилизатор, пигмент, минеральный наполнитель, в качестве дополнительного пластификатора содержит сложный эфир на основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта, в качестве стабилизатора – натриевую соль 6-хлор, 2-оксо-3-

бензоксазолилметил(мет)акрилата, в качестве минерального наполнителя – бентонитовый мат. Соотношение компонентов (мас, ч.) приведено в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендуемая композиция.

Table 1. Recommended composition.

Поливинилхлорид	100
Диоктилфталат	36-44
Сложный эфир основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта	12-16
Бентонитовый мат	28-32
Na–соль полимера 6-хлор, 2-оксо-3бензоксазолилметил (мет)акрилата	0,1-0,3
Винилэтинилдигидроксихлорсилан	0,1-0,5
Пигмент	0,09-0,13

Предлагаемая композиция, в отличие от известной, обеспечивает защитные свойства поверхности ткани и содержит в качестве основного пленкообразователя поливинилхлорид, в качестве вспомогательного пленкообразователя винилэтинилдигидроксихлорсилан взамен полиэтилсилоксановой жидкости, содержит пластификатор диоктилфталат и дополнительный пластификатор сложный эфир на основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта взамен нафтената натрия, минеральный наполнитель – бентонитовый мат, в качестве стабилизатора натриевой соли полимера 6-хлор, 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата взамен натриевой соли полимера 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата.

В предлагаемой композиции, содержащей сложный эфир на основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта, существенно сокращается расход дорогостоящего диоктилфталата, который хорошо смешивается с диоктилфталатом и способствует лучшей пластикации поливинилхлорида и диффузии минерального наполнителя и других ингредиентов, что также повышает эффект смешивания, который тем самым лучше обеспечивает пластификацию, а это влияет на качество специальной одежды.

Для получения сложного эфира, чтобы увеличить количество образующегося продукта и сместить равновесие реакции этерификации, более доступный продукт можно брать в избытке. При избытке спирта в реакцию может вступить практически вся кислота, но при большом количестве спирта выход сложного эфира уменьшается (см.

таблицу 2). Высокий выход сложного эфира на основе дистиллированных жирных кислот хлопкового соапстока и сивушного масла для композиции защитного олеофобного покрытия во втором варианте составляет 73 %.

Основные показатели сложного эфира на основе дистиллированных жирных кислот хлопкового соапстока и сивушного масла, необходимые для композиции защитного олеофобного покрытия, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные показатели сложного эфира на основе дистиллированных жирных кислот хлопкового соапстока и сивушного масла для композиции защитного олеофобного покрытия.

Table 2. Main indicators of ester based on distilled fatty acids of cottonseed soap and fusel oil for a protective oleophobic coating composition.

№	Наименование показателей	Варианты		
		1	2	3
1	Внешний вид	Мазеобраз- ный, не токсичен	Мазеобраз- ный, не токсичен	Мазеобраз- ный, не токсичен
2	Температура кипения, °С	116	117	117
3	Температура плавления, °С	14	17	16
4	Температура каплепадения, °С	20	21	22
5	Плотность г/см ³	0,876	0,878	0,880
6	Кислотное число	24,53	22,47	20,12
7	Йодное число	31,6	31,9	31,8
8	Число омыления	193	202,5	212

Основная часть этих соединений находится в насыщенном состоянии 66,25%, а также в ненасыщенном состоянии 33,75% [6].

При получении силоксанов при применении винилэтинилдигидроксихлорсилана взамен полиэтилсилоксановой жидкости процесс синтеза может проводиться в этиловом эфире, бензоле, хлороформе или тетрагидрофуране [7].

Технология получения винилэтинилдигидроксихлорсилана включает следующие стадии:

- сушка соответствующих растворителей и приготовление растворов реагирующих веществ;
- проведение реакции Гриньяра при интенсивном перемешивании при температуре 60-70 °С в течении 6,0-8,0 часов и затем охлаждение при эквимолекулярном соотношении реагирующих веществ;
- четырех-пятикратная отмывка реакционной смеси водой (для удаления выделившегося магнийхлорброма;
- отгонка растворителя;
- выделение целевого продукта вакуумной перегонкой;
- гидролиз продукта водой;
- очистка целевого продукта ректификацией.

Для сушки и очистки исходных реагентов и растворителей в реактор загружают необходимое количество этилового эфира (или бензола) и нагревают этиловый эфир до температуры кипения $74 \pm 2,0$ °С (или бензола до $78 \pm 2,0$ °С). Конденсат направляют в теплообменник, откуда перегнанный и очищенный этиловый эфир (или бензол) поступает в сборник-дозатор для дистиллятов.

ПРИМЕР ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИИ

В смеситель, снабженный механической мешалкой, заливают 48 масс.ч. диоктилфталата и 12 масс.ч. сложного эфира на основе дистиллированных жирных кислот хлопкового соапстока и сивушного масла. Смешивают 30 мин, затем заливают 0,1 масс. ч. винилэтинилдигидроксихлорсилана и смешивание продолжают ещё 45-50 мин. В смесь затем перемешиванием загружают 0,1 масс.ч. стабилизатора полимера натриевой соли 6-хлор, 2-оксо, -3-бензоксазолилметил(мет)акрилата, и через 30-35 мин вводят 100 масс.ч. ПВХ эмульсионного марки ПВХЕ-625ОЖ, непрерывное вращение мешалки продолжают ещё 60-70 мин. По истечении этого времени засыпают 0,09 масс.ч. тонкоизмельченного пигмента (по цвету) и 28 масс.ч. минерального наполнителя-бентонитового мата и далее перемешивание проводят еще 35-40 мин. По готовности композиция имеет однородную субстанцию, ее выгружают и затем загружают в краскотерку (или шаровую мельницу), где перетирают в течение 6-8 часов с последующей фильтрацией через сетку с размером отверстий н/б 100 мкм.

Таблица 3. Условия проведения для варианта 1.

Table 3. Conditions for Option 1.

Вариант 1. Условия проведения.	По примеру 1
Поливинилхлорид	100
Диоктилфталат	42
Сложный эфир основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта	14
Бентонитовый мат	30
Na – соль полимера б-хлор, 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата	0,2
Винилэтинилдигидроксихлорсилан	0,3
Пигмент (по цвету)	0,11

Таблица 4. Условия проведения для варианта 2.

Table 4. Conditions for Option 2.

Вариант 2. Условия проведения.	По примеру 2
Поливинилхлорид	100
Диоктилфталат	36
Сложный эфир основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта	16
Бентонитовый мат	32
Na – соль полимера б-хлор, 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата	0,3
Винилэтинилдигидроксихлорсилан	0,5
Пигмент (по цвету)	0,13

Состав полученной композиции и результаты испытаний основных показателей приведены в таблице 5.

Таблица 5. Состав и результаты испытаний основных показателей полученной композиции.

Table 5. Composition and test results of the main indicators of the resulting composition.

№	Состав компонентов и их основные показатели		Примеры			Аналог
			1	2	3	
1	Поливинилхлорид		100	100	100	100
2	Пластификатор:	Диоктилфталат	48	42	36	52
		Нафтенат натрия	-	-	-	20
		Сложный эфир основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта	12	14	16	-
3	Минеральный наполнитель	Бентонитовый мат	28	30	32	30
4	Стабилизатор	Na – соль полимера 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата	-	-	-	0,5
		Na – соль полимера 6-хлор, 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата	0,1	0,2	0,3	-
5	Силоксаны	Полиэтилсилоксановая жидкость	-	-	-	0,3
		Винилэтинилдигидроксихлорсилан	0,1	0,3	0,5	
6	Пигмент (по цвету)		0,09	0,11	0,13	0,11
7	Вязкость композиции, П		56	61	58	56
8	Жизнеспособность, сутки		17	18	18	16
9	Термостабильность, потеря массы в % при 250 °С		53	49	54	55

В предложенной композиции уменьшение количества исходных компонентов приводит к снижению вязкости, а увеличение количества исходных компонентов более рекомендованного значения приводит к жесткости и к сокращению жизнеспособности композиции.

Полученные результаты, приведенные в таблице 5, доказывают, что предложенная композиция имеет более высокие показатели по сравнению с известным составом-аналогом. В предложенной композиции высокая вязкость свидетельствует о наилучшем реагировании исходных компонентов с ПВХ, что подтверждает образование молекулярной массы ПВХ и композиции в целом по сравнению с аналогом.

В предложенной композиции методом макания обрабатывают изделия из ткани хлопчатобумажной арт. 365 и фланели арт.1638Г. После стекания излишек композиции изделия направляют на желирование.

Желирование проводят в термошкафу при температуре 160-180°C в течение 5-7 мин.

Одновременно предложенная композиция наносится на ткань толщиной 0,2 мм и подвергается термообработке при температуре 160-180°C в течение 2 мин. Расход композиции на 1м² поверхности составляет 0,4 кг.

Данную технологию приготовления и нанесения олеофобной композиции для ткани можно осуществить на любых предприятиях текстильной или швейной промышленности, так как технология применения не требует дополнительных затрат и специального оборудования. Процесс нанесения можно производить в обычных условиях методом макания, нанесением как пульверизатором, так и валиком через раклю.

Защитные свойства предлагаемой композиции позволяют ее использовать для покрытия рукавиц, фартуков, специальной одежды, обеспечивая стойкость к действию нефти, масла и других углеводородов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана композиция для получения олеофобного покрытия, включающая поливинилхлорид, диоктилфталат, дополнительный пластификатор, минеральный наполнитель, стабилизатор, олеофобизатор и пигмент, отличающаяся тем, что она содержит в качестве дополнительного пластификатора сложный эфир на основе олеиновой кислоты и изоамилового спирта, в качестве стабилизатора – Na-соль полимера 6-хлор, 2-оксо, 3-бензоксазолилметил (мет)акрилата, в качестве олеофобизатора – винилэтилдигидроксихлорсилан, при следующем соотношении компонентов, мас.ч. (см. таблицу 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кумпан Е. В., Хамматова В. В. Новая технология повышения защитных свойств швейных изделий специального назначения. Вестник Казанского технологического университета. 2013; 16(17): 142-144.
- [2] Николаенко Г.Р., Кулевцов Г.Н. Особенности условий эксплуатации одежды и обуви специального назначения и предъявляемые к ним требования. Вестник Казанского технологического университета. 2014; 17(5): 60-66.
- [3] Овчинников Ю.В. и др. Поливинилхлоридная композиция. Патент SU 487090; 1973.
- [4] Сацук Э.Н., Чигиринова Т.Л. Композиция для получения для защитного покрытия. Патент RU 2101314 С1; 1995.

- [5] Композиция для получения защитного покрытия. Патент Республики Узбекистан UZ IAP 054443; 2017.
- [6] Кодиров Т.Ж., Шамсиева М.Б., Каттатев Н.Т., Жумаева Г.Т., Абдурахмонова П.Э. Способ получения препарата для жирования. Патент изобретение Республики Узбекистан UZ IAP 05888; 2019.
- [7] Одежда специальная для защиты работающих от воздействия нефти и нефтепродуктов. ГОСТ 12.4.310-2016. Москва; 2017.

REFERENCES

- [1] Kumpun E. V., Hammatova V. V. Novaya tekhnologiya povysheniya zashchitnyh svoystv shvejnyh izdelij special'nogo naznacheniya. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013; 16(17): 142-144.
- [2] Nikolaenko G.R., Kulevcov G.N. Osobennosti uslovij ekspluatacii odezhdy i obuvi special'nogo naznacheniya i pred'yavlyayemye k nim trebovaniya. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014; 17(5): 60-66.
- [3] Ovchinnikov Yu.V. i dr. Polivinilhlordnaya kompoziciya. Patent SU 487090; 1973.
- [4] Sacuk E.N., Chigirina T.L. Kompoziciya dlya polucheniya dlya zashchitnogo pokrytiya. Patent RU 2101314 C1; 1995.
- [5] Kompoziciya dlya polucheniya zashchitnogo pokrytiya. Patent Respubliki Uzbekistan UZ IAP 054443; 2017.
- [6] Kodirov T.ZH., SHamsieva M.B., Kattatev N.T., ZHumaeva G.T., Abdurahmonova P.E. Sposob polucheniya preparata dlya zhirovaniya. Patent izobretenie Respubliki Uzbekistan UZ IAP 05888; 2019.
- [7] Odezhda special'naya dlya zashchity rabotayushchih ot vozdeystviya nefi i nefteproduktov. GOST 12.4.310-2016. Moskva; 2017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кадиров Тулкин Жумаевич, д.т.н.,
профессор, Ташкентский институт
текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Узбекистан

Tulkin J. Kadirov, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Tashkent Textile and Light
Industry Institute, Tashkent, Uzbekistan

Чориева Мухаббат Мухамматовна,
докторант, Бухарский инженерно-
технологический институт, Бухара,
Узбекистан
E-mail: chorieva.78@list.ru

Mukhabbat M. Chorieva, doctorant, Bukhara
Engineering Technological Institute, Bukhara,
Uzbekistan
E-mail: chorieva.78@list.ru

Нигматова Фотима Усмановна, д.т.н.,
профессор, Ташкентский институт
текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Узбекистан

Fotima U. Nigmatova, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Tashkent Textile and Light
Industry Institute, Tashkent, Uzbekistan

Мансурова Муниса Анварова, д.т.н.,
профессор, Ташкентский институт
текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Узбекистан

Munisa A. Mansurova, Doctor of Technical
Sciences, Professor, Tashkent Textile and Light
Industry Institute, Tashkent, Uzbekistan

*Статья поступила в редакцию 25.10.2022; одобрена после рецензирования 05.11.2022;
принята к публикации 07.11.2022.*

*The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 05.11.2022; accepted for
publication 07.11.2022*

УДК: 544.723, 544.03, 543.27

EDN: [RFICO](https://www.edn.net/RFICO)

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0501-0519>



Термокаталитический газовый сенсор на основе наночастиц палладия, синтезируемых методом искровой абляции

И. С. Власов, Д. В. Корнюшин, Е. И. Каменева, И. А. Волков

Московский физико-технический институт, Институтский переулок, д.9, 141701, г. Долгопрудный, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Продemonстрирована возможность изготовления термокаталитических газовых сенсоров с каталитическим слоем на основе наночастиц палладия, синтезируемых методом искровой абляции с использованием слитков палладия чистотой 99,96 масс.% в качестве исходного материала. Для реализации сенсора использована коммерчески доступная МЭМС платформа на основе тонкой мембраны из стеклокерамики толщиной 50–60 мкм с интегрированным микронагревателем. Синтезированные наночастицы в составе устойчивых функциональных чернил с концентрацией порядка 25 масс.% наносились на обратную относительно микронагревателя сторону мембраны с помощью специализированного микроплоттера SonoPlot GIX Microplotter II. Полученная структура отжигалась при температуре 400 °С для удаления органического связующего из сухого остатка нанесенных чернил, в результате чего на поверхности мембраны формировался однородный слой каталитически активного материала толщиной около 3 мкм. Сенсор, реализованный на основе двух МЭМС платформ (одна – с каталитическим слоем, вторая – исходная (без слоя)), включенных в мостовую схему, демонстрирует высокую чувствительность к метану (50 мВ на 1% метана) при полной потребляемой мощности порядка 350 мВт, что сопоставимо с характеристиками коммерческих аналогов, производимых Figaro USA Inc., SGX Sensortech, Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co.

Ключевые слова: термокаталитический газовый сенсор, искровой разряд, палладиевые наночастицы, функциональные чернила, микроплоттерная печать.

Благодарности: Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 075-03-2022-107 (идентификатор проекта 0714-2021-0007).

Для цитирования: Власов, И., Корнюшин, Д., Каменева, Е., & Волков, И. (2022). Thermocatalytic gas sensor based on palladium nanoparticles synthesized by spark ablation. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0501–0519. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0501-0519>

Thermocatalytic gas sensor based on palladium nanoparticles synthesized by spark ablation

I. S. Vlasov, D. V. Korniyushin, E. I. Kameneva, I. A. Volkov

Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russian Federation

Abstract. We have demonstrated the possibility of fabricating thermocatalytic gas sensors with a catalytic layer based on palladium nanoparticles synthesized by spark ablation using palladium ingots with a purity of 99.96 wt. % as a feed material. The sensor was implemented using a commercially available MEMS platform based on thin glass ceramic membrane 50–60 μm thick with an integrated microheater. The formulated functional ink comprising synthesized nanoparticles with a concentration of about 25 wt. % was deposited on the opposite to the microheater side of a membrane with the use of SonoPlot GIX Microplotter II printing equipment. The obtained structure was annealed at a temperature of 400 °C to remove the organic binder from the dry residue of the deposited ink. As a result, the uniform layer of catalytically active material with a thickness of about 3 μm was obtained on the membrane surface. The sensor implemented based on two MEMS platforms (one with a catalytic layer, the second one without a layer) placed in the Wheatstone bridge circuit demonstrates high sensitivity to methane (50 mV per 1% of methane) at a total power consumption of about 350 mW. The achieved characteristics are comparable with that of commercial sensors manufactured by Figaro USA Inc., SGX Sensortech, Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co.

Keywords: thermocatalytic gas sensor, spark discharge, palladium based nanoparticles, functional inks, microplotter printing.

Acknowledgements: This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state contract No. 075-03-2022-107, project identifier 0714-2021-0007).

For citation: Vlasov I. S., Korniyushin D. V., Kameneva E. I. & Volkov I. A. (2022). Thermocatalytic gas sensor based on palladium nanoparticles synthesized by spark ablation. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2(4), 0501–0519. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-4-0501-0519>

ВВЕДЕНИЕ

Горючие газы (например, водород или метан) активно используются в качестве источников энергии для промышленных и бытовых целей, а метан также часто встречается в угольных шахтах и в местах разложения органических веществ. При этом горючие газы являются серьёзным источником техногенных катастроф, так как создают опасность возгораний и взрывов. Поэтому в настоящее время особое внимание уделяется созданию недорогих, чувствительных, стабильных и эффективных химических датчиков с низким энергопотреблением для своевременного контроля утечек и скоплений горючих газов [1-2]. Одним из наиболее эффективных средств для контроля и предотвращения возгораний и взрывов является использование полупроводниковых и

термокаталитических датчиков [3-4]. Принцип действия полупроводниковых сенсоров основан на изменении проводимости полупроводникового слоя при адсорбции газа [5-7], тогда как принцип термокаталитического сенсора основан на изменении температуры микронагревателя при окислении горючего газа на его поверхности [8, 9]. Характерные черты устройств, работающих на вышеуказанных и иных (оптический, электрохимический) принципах, перечислены и сравнены в [10]. Контроль утечек горючих газов с использованием термокаталитических сенсоров является одним из самых надежных методов контроля благодаря таким особенностям данных сенсоров как высокая линейность отклика в широком диапазоне концентраций горючего газа (как минимум, до нижнего предела взрываемости) и долговечность [11, 12]. Кроме того, они имеют небольшие размеры и невысокую стоимость [13, 14].

Современные исследования термокаталитических сенсоров сосредоточены на уменьшении размеров датчиков [15, 16], снижении их энергопотребления [17] и повышении стабильности используемых катализаторов для обеспечения стабильной чувствительности в долгосрочной перспективе [18]. В частности, использование МЭМС и различных технологий осаждения каталитического материала помогло значительно уменьшить энергопотребление датчиков [14, 19, 20]. Однако стоит отметить, что стандартные методы осаждения каталитических слоев для термокаталитических датчиков, включающие, например, центрифугирование и трафаретную печать, ограничивают возможности по миниатюризации датчиков и уменьшению энергопотребления, а также воспроизводимость характеристик устройств [21-26]. Потому для осаждения чувствительных слоёв предлагается использовать различные методы, включающие печатные технологии, будь то технологии струйной печати, или микроплоттерной печати [27-29]. Использование аддитивных технологий позволяет значительно уменьшить размеры слоёв, увеличить воспроизводимость характеристик датчиков и снизить затраты на производство и, как следствие, стоимость готовых сенсоров.

Наночастицы палладия подобно наночастицам платины представляют собой хорошо известный и эффективный каталитический материал, используемый в различных сенсорах для анализа горючих газов [30, 31]. Широко используются различные химические методы синтеза палладиевых наночастиц. Например, одним из наиболее развитых методов химического синтеза является полиольный процесс, позволяющий получать частицы (палладия, платины, золота, серебра и пр.) заданного размера и формы

в диапазоне размеров менее 10 нм [32-34]. Также известен способ синтеза монодисперсных частиц палладия в результате термического разложения комплекса Pd-ПАВ, в котором размер частиц регулируется при помощи вариации стабилизирующего поверхностно-активного вещества [35]. Кроме того, есть способ синтеза монодисперсных наночастиц палладия посредством восстановления ацетилацетоната палладия при помощи олеиламина и комплекса боран-трибутиламина, что позволяет получить каталитически активные устойчивые наночастицы [36]. Также помимо описанных выше химических методов синтеза, используются и иные технологии синтеза наночастиц, например, технология искровой абляции, применяемая в данной работе. Технология искровой абляции предлагает экономичный и масштабируемый способ получения наночастиц. Она позволяет получать порошки из любых исходных материалов с удовлетворительным удельным электрическим сопротивлением (менее 0,2 Ом·см) [37] и характеризуется рядом преимуществ, а именно: химическая чистота получаемых порошков, отсутствие химических отходов, возможность использования любых проводников (чистые металлы, сплавы или легированные полупроводники) в качестве исходных материалов, а также простота управления размерными характеристиками частиц. С момента появления технологии искровой абляции, предложенной Шмидт-Оттом [38], было разработано множество конструкций газоразрядных генераторов. Шесть дизайнов, разработанных к 2012 г., были рассмотрены в работе Мюллера и др. [39]. Технология искровой абляции успешно применялась для получения различных наноматериалов [40], в том числе наночастиц палладия [41, 42]. Данная технология была использована нами для синтеза наночастиц оксида олова, использованных в качестве газочувствительного материала [43], который продемонстрировал пониженную чувствительность к парам воды из-за низкого содержания поверхностных гидроксильных групп.

Цель данной работы состояла в исследовании возможности изготовления термокаталитических газовых сенсоров с использованием МЭМС платформы на основе тонкой мембраны из стеклокерамики с интегрированным микронагревателем в качестве базовой конструкции и палладиевых наночастиц, синтезируемых методом искровой абляции, в качестве катализатора реакции окисления горючих газов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Синтез палладиевых наночастиц

Палладиевые наночастицы были получены с использованием газоразрядного генератора собственной разработки, состоящего из источника высокого напряжения, накопителя энергии (конденсатора) и камеры (подробно данный генератор описан в работе [44]). Используемая камера спроектирована таким образом, что выведение синтезируемых аэрозольных частиц из разрядного промежутка между двумя электродами осуществляется посредством подачи газа-носителя через один из полых электродов. В данной работе оба электрода были изготовлены из слитков палладия чистотой 99,96 масс.% в виде полых цилиндров с внутренним диаметром около 4 мм. Изготовленные электроды коаксиально фиксировались в медных держателях. В процессе синтеза зазор между электродами поддерживался постоянным за счет постепенного изменения положения одного из них по мере абляции материала обоих электродов в результате искрового разряда. Это достигалось посредством поддержания максимального падения напряжения на разрядном промежутке порядка 1,5 кВ. Запасенная в конденсаторе электрическая энергия, которая затем передается в электрическую цепь, включающую разрядный промежуток, за время одиночного импульса искрового разряда, может быть оценена на уровне 40 мДж. Синтез проводился с использованием в качестве газа-носителя воздуха, прошедшего через НЕРА фильтр. Воздух был выбран в качестве газа-носителя из-за необходимости получения наночастиц, содержащих фазу оксида палладия, которая, как было установлено, имеет гораздо более высокое сродство к полярным растворителям, используемым для приготовления чернил, по сравнению с металлическим палладием.

В процессе синтеза через один из электродов подавался очищенный воздух, расход которого составлял 3,5 л/мин. Для обеспечения максимальной производительности синтеза на уровне 100 мг/ч частота следования импульсов составляла 630 Гц. Использование более высоких частот приводило к тому, что содержание затвердевших капель палладия диаметром 10–50 мкм превышало 20 масс.% от общей массы собранного порошка. В процессе искрового разряда образование капель металла происходит вследствие распыления газом-носителем краевых участков электродов, находящихся в расплавленном состоянии, как это предложено в [45, 46]. Можно сделать оценку массы материала, образующегося за импульс, путем деления

производительности синтеза на частоту следования импульсов, что дает около 44 нГ за импульс. Таким образом, электрическая энергия, расходуемая на единицу массы синтезируемого материала, может быть оценена как отношение электрической энергии, запасаемой в конденсаторе, к массе материала, получаемого за один импульс: $9 \cdot 10^5$ Дж/г или 0,25 (кВт·ч)/г.

Приготовление чернил

Коллоидные чернила (дисперсии) состоят из частиц определенной функциональности, распределенных в дисперсионной среде, представляющей собой растворитель с растворенными добавками. Палладиевые чернила разрабатывались в соответствии со следующими принципами. Наиболее важный принцип состоит в необходимости обеспечения высокой смачиваемости твердой фазы дисперсионной средой. Если поверхностное натяжение между дисперсионной средой и твердой фазой ниже критического значения, возникает процесс самопроизвольного диспергирования (пептизации) с образованием термодинамически устойчивой (лиофильной) коллоидной системы, характеризующейся равновесным распределением частиц по размерам [47]. Второй принцип заключается в необходимости использования растворителей, обладающих умеренной температурой кипения (от 100 до 200 °С) и низкой токсичностью, что важно с точки зрения применения чернил [48]. Также желательно, чтобы вязкость чернил находилась в диапазоне от 1 до 25 мПа·с, а их поверхностное натяжение в диапазоне от 30 до 50 мН/м, что обеспечивает возможность их применения в технологиях струйной и аэрозольной печати [48-50]. При разработке функциональных чернил необходимо учитывать и тот факт, что они должны обладать достаточно высокой коллоидной стабильностью для обеспечения приемлемой воспроизводимости параметров формируемых структур (каталитических слоев в случае данной работы).

Функциональные чернила для формирования каталитических слоев методом микроплоттерной печати были приготовлены на основе наночастиц, синтезируемых методом искрового разряда из слитков палладия, с использованием бинарного растворителя, состоящего из воды и этиленгликоля. В ходе экспериментов концентрация полимера и пластификатора, входящих в состав дисперсионной среды, оптимизировались таким образом, чтобы обеспечить хорошее качество исходной композитной пленки (сухого остатка чернил), формируемой после испарения растворителя, с одной стороны, и достичь высокой плотности упаковки наночастиц в

термообработанном покрытии (без связующего), с другой стороны. Процедура приготовления чернил включает в себя ультразвуковую обработку, которая ускоряет процесс отделения наночастиц от порошкового материала, состоящего из них. Удельная ультразвуковая мощность, передаваемая чернилам в процессе обработки, оценивается в 3 Вт/см^3 . Время обработки составляет 1 ч. Использование системы водяного охлаждения позволяет поддерживать температуру чернил в процессе ультразвуковой обработки не выше 30°C . После ультразвуковой обработки крупные частицы микронных и субмикронных размеров (не более 20 масс.% от общей массы порошка), представляющие собой затвердевшие капли расплава материала электродов, отделяются от наночастиц посредством седиментации в гравитационном поле.

Микроплоттерная печать

В данной работе в качестве основы для газового сенсора использовалась коммерчески доступная МЭМС платформа на основе мембраны из стеклокерамики толщиной 50–60 мкм с интегрированным микронагревателем. Формирование каталитического слоя на мембране осуществляется методом микроплоттерной печати, который обеспечивает высокую воспроизводимость дозирования катализатора (коэффициент вариации массы нанесенного катализатора, приходящейся на единицу площади мембраны, в серии образцов не превышает 10%), что, в свою очередь, обеспечивает низкий разброс рабочих характеристик изготавливаемых устройств. Нанесение чернил осуществляется с использованием специализированного микроплоттера SonoPlot GIX Microplotter II, позволяющего производить контролируемое нанесение дисперсий и растворов на подложку в контактном режиме. Дозирование чернил осуществляется посредством их истечения из заостренного стеклянного капилляра (диспенсера), находящегося на малом расстоянии от поверхности подложки. При этом зазор между кончиком диспенсера и подложкой заполнен наносимыми чернилами.

Полученные палладиевые чернила загружались в капиллярный диспенсер микроплоттера SonoPlot GIX Microplotter II с внутренним диаметром выходного отверстия 100 мкм. Для образования контакта чернил с поверхностью мембраны кончик диспенсера подводился к образцу на расстояние 5 мкм, после чего на пьезоэлектрический элемент, связанный с диспенсером, подавался управляющий сигнал амплитудой 10 В. Сразу после образования контакта амплитуда управляющего сигнала

снижалась до нулевого значения и производилось нанесение чернил на поверхность мембраны МЭМС платформы с противоположной относительно микронагревателя стороны посредством перемещения диспенсера по заданной траектории, представляющей собой меандр, в котором расстояние между двумя длинными отрезками (длиной 1400 мкм) составляет 300 мкм. Скорость перемещения диспенсера при печати меандра составляла 200 мкм/с, при этом наносилось 10 слоёв чернил с перерывом в 20 секунд между слоями для снижения содержания остаточного растворителя в формируемом покрытии. Далее с целью удаления органического связующего из сформированного покрытия осуществлялась термообработка образца при температуре 400 °С в течение 2 часов.

Тестирование сенсоров

Работоспособность изготовленных сенсоров исследовалась посредством измерений их откликов на метан в смеси с сухим воздухом с использованием мостовой схемы Уитстона (аналогичная схема использована в [11]), содержащей две МЭМС платформы с микронагревателями: одна – со слоем каталитически активного материала, вторая – исходная (без слоя). При этом для минимизации измеряемого напряжения в отсутствие метана при заданном напряжении питания (5,8 В) использовались микронагреватели с близкими сопротивлениями (различие сопротивлений не более 15%).

Обе включенных в мостовую схему МЭМС платформы помещались в газовую ячейку, в которую поступал либо чистый сухой воздух, либо смесь метана с чистым сухим воздухом, состав которой регулировался при помощи коммерческой установки МИКРОГАЗ-Ф-14 (АО «Интера», Россия). В процессе измерений поток воздуха и получаемых метановоздушных смесей составлял около 200 мл/мин. Газовый сенсор исследовался при следующих концентрациях метана: 200 ppm, 1 000 ppm, 2 000 ppm, 5 000 ppm, 10 000 ppm. При этом мощность, потребляемая двумя микронагревателями, составляла порядка 350 мВт, что соответствовало температуре микронагревателей на уровне 480-500 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Структура синтезируемого материала

Структура синтезируемого материала исследовались с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) JEOL JEM-2100 (Япония) и растрового электронного микроскопа (РЭМ) JEOL JSM-7001F (Япония). На рисунке 1 представлены характерные ПЭМ-изображения наночастиц и соответствующая картина электронной дифракции, а на рисунке 2 представлено РЭМ-изображение материала и соответствующий спектр характеристического рентгеновского излучения (EDX спектр). Из полученных данных можно сделать вывод о том, что материал состоит из первичных наночастиц округлой формой со средним размером 10–15 нм, часть из которых образует агрегаты. Следует отметить, что в EDX-спектре линии, относящиеся к меди и цинку, обусловлены тем, что предметный столик, на котором располагался исследуемый материал, изготовлен из латуни.

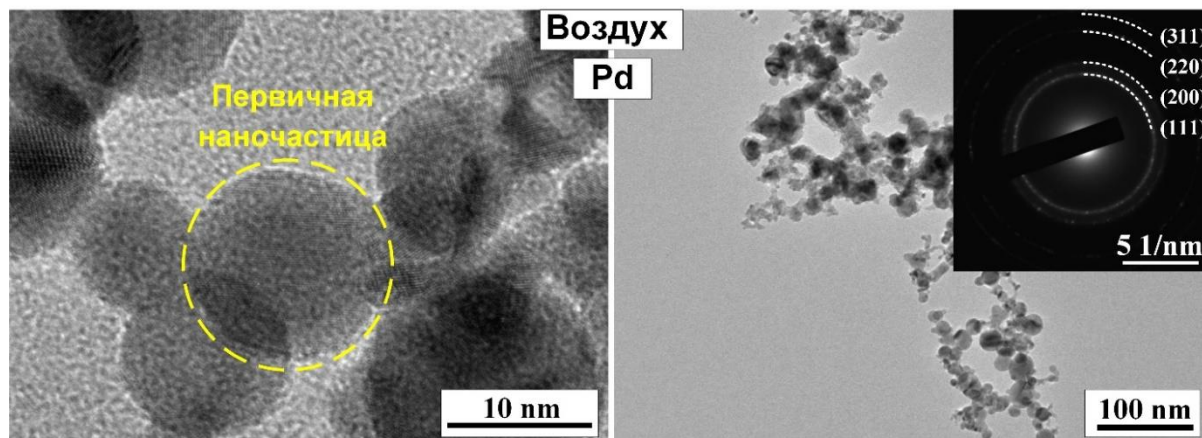


Рисунок 1. ПЭМ-изображения палладиевых наночастиц. На вставке приведена соответствующая картина электронной дифракции.

Figure 1. TEM images of palladium based nanoparticles. The inset shows the corresponding electron diffraction pattern.

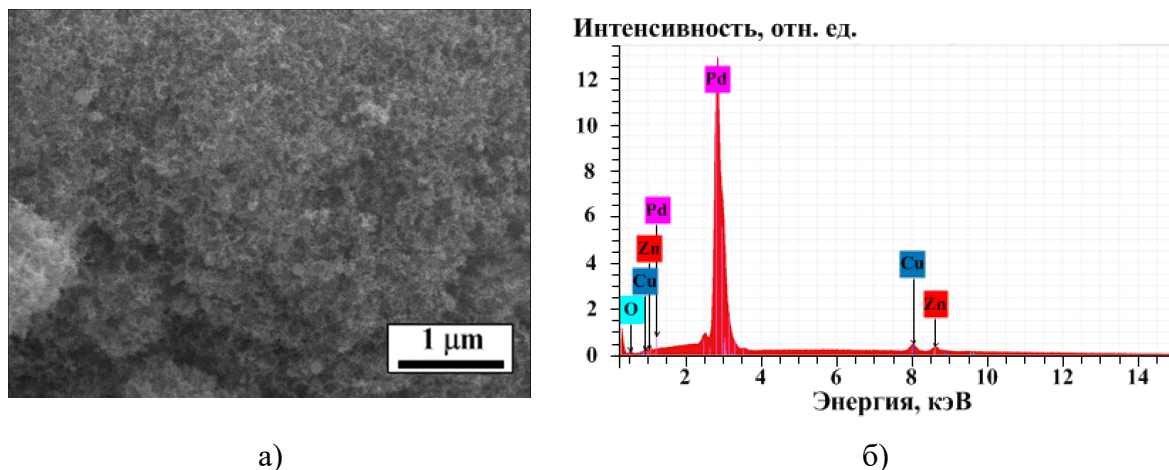


Рисунок 2. а) РЭМ-изображение и б) EDX спектр палладиевых наночастиц.
Figure 2. a) SEM image and b) EDX spectrum of palladium based nanoparticles.

Характеристики чернил на основе палладиевых наночастиц

На рисунке 3 представлены распределения коллоидных частиц по размерам, содержащихся в двух образцах палладиевых чернил: первое распределение (зеленая кривая) характеризует исходные чернила, а второе (красная кривая) - верхний слой чернил через пять дней хранения в стандартной пробирке Эппендорфа объемом 2 мл, зафиксированной в вертикальном положении. Разница в средних размерах частиц, характеризующих данные образцы, которая является мерой седиментационной устойчивости чернил, составляет около 20%. Дальнейшие наблюдения в течение 15 дней не выявили изменений в среднем размере коллоидных частиц в верхнем слое чернил в пределах погрешности измерений. Установлено, что лёгкого встряхивания "выдержанных" чернил (т.е. хранившихся в течение нескольких дней без движения) в течение десятков секунд достаточно для приведения их в исходное состояние. Поверхностное натяжение гомогенизированных палладиевых чернил, измеренное при температуре 25 °C составляет 41,7 мН/м, вязкость чернил 12,5 мПа·с (25 °C), а содержание палладия порядка 25 масс.%.

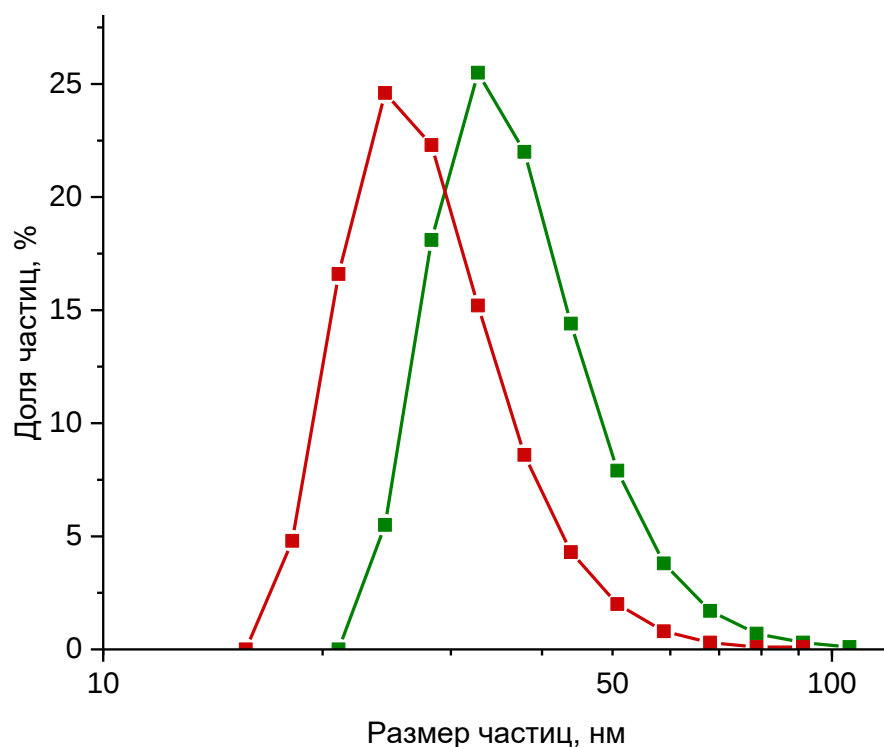
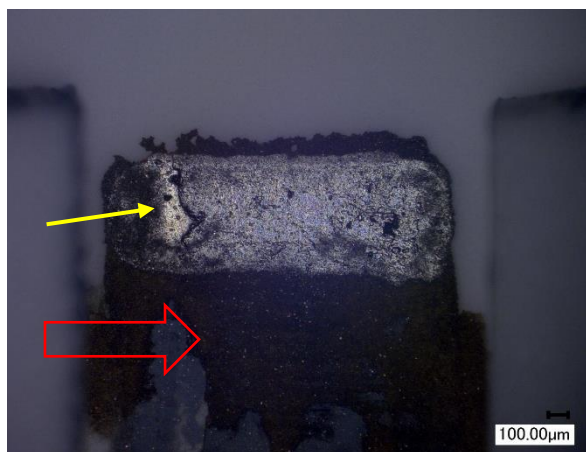


Рисунок 3. Распределения коллоидных частиц по размерам, полученные методом динамического рассеяния света: зеленая кривая - исходные палладиевые чернила; красная кривая - верхний слой чернил через пять дней хранения.

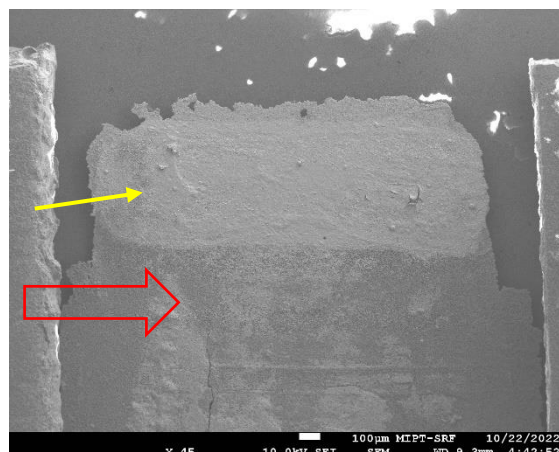
Figure 3. Size distributions of colloidal particles obtained by dynamic light scattering: green curve - initial palladium ink; red curve - top layer of the ink after five days of storage.

Структура каталитического слоя

На рисунке 4 представлено характерное изображение каталитического слоя, сформированного на мембране МЭМС платформы, после отжига при 400 °С. Узкими желтыми стрелками обозначен каталитический слой, а широкими красными стрелками – участок мембраны без каталитического слоя. На рисунке 5 представлены РЭМ-изображения торцевой и лицевой поверхности мембраны с каталитическим слоем. На изображении торцевой поверхности каталитический слой также обозначен узкой желтой стрелкой, а расположенная под ним мембрана – широкой красной стрелкой. Толщина полученного каталитического слоя составляет 3–3,5 мкм.



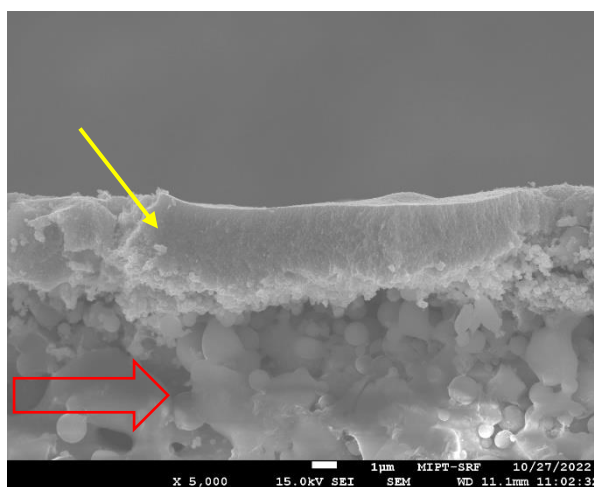
а)



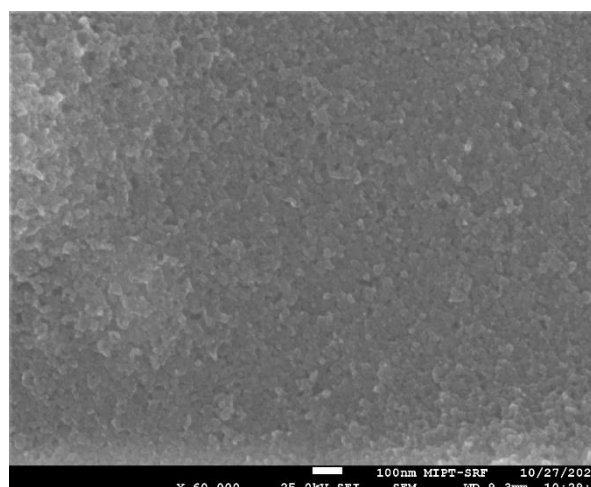
б)

Рисунок 4. Изображения каталитического слоя, сформированного на мембране. Изображения получены при помощи а) оптического микроскопа, б) растрового электронного микроскопа.

Figure 4. Images of the catalytic layer fabricated on the membrane. The images were obtained by using a) optical microscope, b) scanning electron microscope.



а)



б)

Рисунок 5. РЭМ-изображения мембраны с каталитическим слоем: а) торцевая поверхность, б) лицевая поверхность.

Figure 5. SEM images of a membrane with a catalytic layer: a) end surface, b) front surface.

Результаты тестирования сенсоров

На рисунке 6 представлена характерная зависимость отклика термокаталитического сенсора на метан в смеси с сухим воздухом при мощности, потребляемой двумя микронагревателями, составляющей 351 мВт (при напряжении питания 5,8 В). Отклик сенсора определяется как разность двух значений напряжения, измеряемого между соответствующими точками мостовой схемы при заданном напряжении питания на ней: в присутствии исследуемого анализита заданной концентрации и без него (т.е. в чистом воздухе). Экспериментальные данные хорошо аппроксимируются линейной зависимостью, характерной для газовых сенсоров термокаталитического типа [11, 12]; при этом чувствительность составляет 50 мВ на 10 000 ppm (1%) метана.

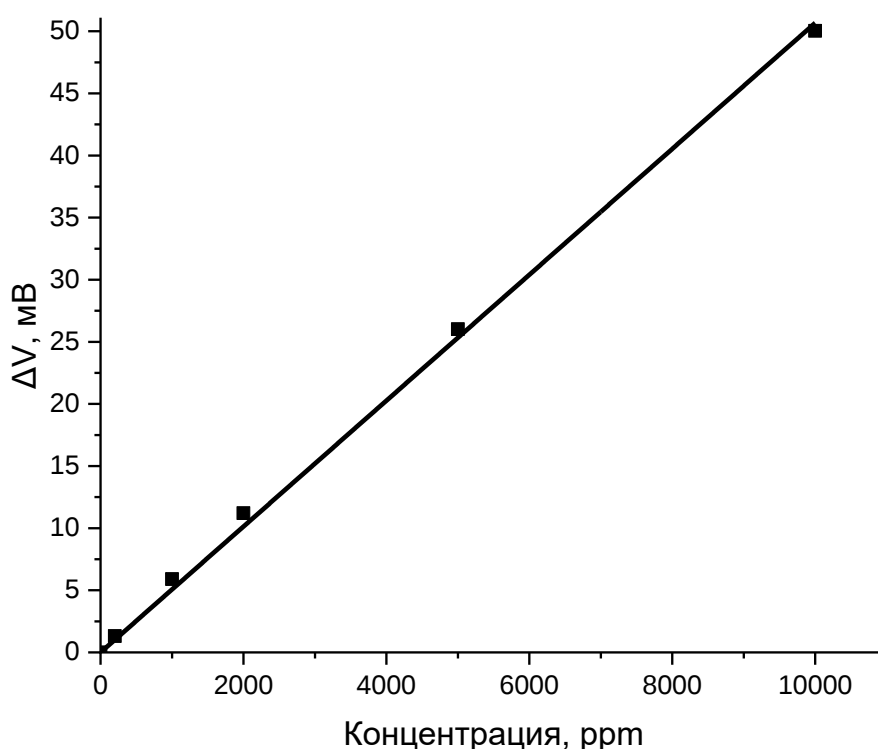


Рисунок 6. Зависимость отклика сенсора от концентрации метана при мощности 351 мВт.

Figure 6. Dependence of the sensor response on the methane concentration at a power of 351 mW.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продemonстрирована возможность изготовления термокаталитических газовых сенсоров с каталитическим слоем на основе наночастиц палладия, синтезируемых методом искровой абляции с использованием слитков палладия чистотой 99,96 масс. % в качестве исходного материала. Сенсор реализован на основе коммерчески доступной МЭМС платформы, включающей тонкую мембрану из стеклокерамики толщиной 50–60 мкм с интегрированным микронагревателем, на которой методом микроплоттерной печати формируется слой каталитически активного материала с использованием функциональных чернил на основе синтезированных наночастиц. Изготовленные термокаталитические сенсоры демонстрируют высокую чувствительность к метану (50 мВ на 1% метана) при полной потребляемой мощности порядка 350 мВт, что сопоставимо с характеристиками коммерческих аналогов, производимых Figaro USA Inc., SGX Sensortech, Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. Высокая чувствительность к метану достигается за счет малого размера и высокой каталитической активности палладиевых наночастиц, а также благодаря использованию в конструкции сенсоров МЭМС платформы на основе тонкой мембраны из стеклокерамики. Преимуществом предложенного способа формирования каталитического слоя является экономия дорогостоящего катализатора, которая обеспечивается адресным нанесением функциональных чернил на мембрану, и минимизация риска ее повреждения, что повышает конкурентоспособность данных сенсоров. Таким образом, предложенное техническое решение является перспективным для изготовления газовых сенсоров термокаталитического типа, которые могут быть использованы для мониторинга утечек взрывоопасных газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Harley-Trochimczyk, A., Pham, T., Chang, J., Chen, E., Worsley, M. A., Zettl, A., & Maboudian, R. Platinum Nanoparticle Loading of Boron Nitride Aerogel and Its Use as a Novel Material for Low-Power Catalytic Gas Sensing. *Advanced Functional Materials*. 2016; 26(3): 433-439. doi:10.1002/adfm.201503605
- [2] Spirjakin, D., Baranov, A. M., Somov, A., & Sleptsov, V. Investigation of heating profiles and optimization of power consumption of gas sensors for wireless sensor networks. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2016; 247: 247-253. doi:10.1016/j.sna.2016.05.049

- [3] Shlenkevitch, D., Stolyarova, S., Blank, T., Brouk, I., & Nemirovsky, Y. Novel Miniature and Selective Combustion-Type CMOS Gas Sensor for Gas-Mixture Analysis—Part 1: Emphasis on Chemical Aspects. *Micromachines*. 2020; 11(4): 345. doi:10.3390/mi11040345
- [4] Sidikova, K. G., Abdurakhmanov, I. E., Mumunova, N. I., Kholboev, O. N., & Abdurakhmanov, E. (2020, May). Development and research of metrological characteristics of selective thermocatalytic methane (natural gas) sensor. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020*, May. IOP Publishing. 2020: Vol. 862, No. 6: 062102doi:10.1088/1757-899X/862/6/062102
- [5] Samotaev, N. N., Podlepetsky, B. I., Vasiliev, A. A., Pisliakov, A. V., & Sokolov, A. V. Metal-oxide gas sensor high-selective to ammonia. *Automation and remote control*. 2013; 74(2): 308-312. doi:10.1134/S0005117913020148
- [6] Barsan, N.; Koziej, D.; Weimar, U. Metal oxide-based gas sensor research: How to? *Sens. Actuators B Chem*. 2007; 121: 18–35. doi:10.1016/j.snb.2006.09.047
- [7] Degler, D.; Müller, S.A.; Doronkin, D.E.; Wang, D.; Grunwaldt, J.-D.; Weimar, U.; Barsan, N. Platinum loaded tin dioxide: A model system for unravelling the interplay between heterogeneous catalysis and gas sensing. *J. Mater. Chem. A*. 2018; 6: 2034–2046. doi:10.1039/c7ta08781k
- [8] Bíró, F.; Dücső, C.; Radnóczy, G.Z.; Baji, Z.; Takács, M.; Bársony, I. ALD nano-catalyst for micro-calorimetric detection of hydrocarbons. *Sens. Actuators B Chem*. 2017; 247: 617–625. doi:10.1016/j.snb.2017.03.075
- [9] Somov, A.; Karelin, A.; Baranov, A.; Mironov, S. Estimation of a Gas Mixture Explosion Risk by Measuring the Oxidation Heat within a Catalytic Sensor. *IEEE Trans. Ind. Electron*. 2017; 64: 9691–9698. doi:10.1109/TIE.2017.2716882
- [10] Dey, A. Semiconductor metal oxide gas sensors: A review. *Materials Science and Engineering: B*. 2018; 229: 206-217. doi:10.1016/j.mseb.2017.12.036
- [11] <https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2014/08/Pulsed-Power-Operation-of-the-MPEL-MEMS-Pellistor.pdf>
- [12] https://www.figarosensor.com/product/docs/tgs6812-d00_product_information%28fusa%29_rev05.pdf
- [13] Karpova, E., Mironov, S., Suchkov, A., Karelin, A., Karpov, E. E., & Karpov, E. F. Increase of catalytic sensors stability. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2014; 197: 358-363. doi:10.1016/j.snb.2014.03.016
- [14] Samotaev, N., Dzhumaev, P., Oblov, K., Pisliakov, A., Obraztsov, I., Ducso, C., & Biro,

- F. Silicon MEMS Thermocatalytic Gas Sensor in Miniature Surface Mounted Device Form. *Chemosensors*. 2021; 9(12): 340. doi:10.3390/chemosensors9120340
- [15] Samotaev, N.; Pislakov, A.; Filipchuk, D.; Etrekova, M.; Biro, F.; Ducso, C.; Bársony, I. SOI Based Micro-Bead Catalytic Gas Sensor. In *International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies*; Springer: Cham, Switzerland, 2013; 255: 105–111. doi: 10.1007/978-3-030-58868-7_12
- [16] Kulinyi, S.; Brandszajsz, D.; Amine, H.; Adam, M.; Furjes, P.; Barsony, I.; Ducso, C. Olfactory detection of methane, propane, butane and hexane using conventional transmitter norms. *Sens. Actuators B Chem.* 2005; 111: 286–292. doi:10.1016/j.snb.2005.06.068
- [17] Kalinin, I.; Roslyakov, I.; Tsymbarenko, D.; Bograchev, D.; Krivetskiy, V.; Napolskii, K. Microhotplates based on Pt and Pt-Rh films: The impact of composition, structure, and thermal treatment on functional properties. *Sens. Actuators A Phys.* 2021; 317: 112457. doi:10.1016/j.sna.2020.112457
- [18] Ivanov, I.I.; Baranov, A.M.; Talipov, V.A.; Mironov, S.M.; Akbari, S.; Kolesnik, I.V.; Orlova, E.D.; Napolskii, K.S. Investigation of catalytic hydrogen sensors with platinum group catalysts. *Sens. Actuators B Chem.* 2021; 346: 130515. doi:10.1016/j.snb.2021.130515
- [19] Del Orbe, D. V., Yang, H., Cho, I., Park, J., Choi, J., Han, S. W., & Park, I. Low-power thermocatalytic hydrogen sensor based on electrodeposited cauliflower-like nanostructured Pt black. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2021; 329: 129129. doi: 10.1016/j.snb.2020.129129
- [20] Vasiliev, A. A., Pislakov, A. V., Sokolov, A. V., Samotaev, N. N., Soloviev, S. A., Oblov, K., Guarnieri, V., Lorenzelli, L., Brunelli, J., Maglione, A., Lipilin, A.S., Mozalev, A., Legin, A. V. Non-silicon MEMS platforms for gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2016; 224: 700-713. doi: 10.1016/j.snb.2015.10.066
- [21] Samotaev, N., Pislakov, A., Gorshkova, A., Dzhumaev, P., Barsony, I., Ducso, C., & Biro, F. Al₂O₃ nanostructured gas sensitive material for silicon based low power thermocatalytic sensor. *Materials Today: Proceedings*. 2020; 30: 443-447. doi:10.1016/j.matpr.2019.12.393
- [22] Cavicchi, R. E., Poirier, G. E., Tea, N. H., Afridi, M., Berning, D., Hefner, A., ... & Montgomery, C. Micro-differential scanning calorimeter for combustible gas sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2004; 97(1): 22-30. doi:10.1016/S0925-4005(03)00515-X
- [23] Bársony, I., Ádám, M., Fürjes, P., Lucklum, R., Hirschfelder, M., Kulinyi, S., & Dücső, C. Efficient catalytic combustion in integrated micropellistors. *Measurement Science and Technology*. 2009; 20(12): 124009. doi:10.1088/0957-0233/20/12/124009

- [24] Lee, E. B., Hwang, I. S., Cha, J. H., Lee, H. J., Lee, W. B., Pak, J. J., ... & Ju, B. K. Micromachined catalytic combustible hydrogen gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2011; 153(2): 392-397. doi:10.1016/j.snb.2010.11.004
- [25] Kirchner, P., Li, B., Spelthahn, H., Henkel, H., Schneider, A., Friedrich, P., ... & Schöning, M. J. Thin-film calorimetric H₂O₂ gas sensor for the validation of germicidal effectivity in aseptic filling processes. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2011; 154(2): 257-263. doi:10.1016/j.snb.2010.01.058
- [26] Han, C. H., Hong, D. W., Kim, I. J., Gwak, J., Han, S. D., & Singh, K. C. Synthesis of Pd or Pt/titanate nanotube and its application to catalytic type hydrogen gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2007; 128(1): 320-325. doi:10.1016/j.snb.2007.06.025
- [27] Wu, L., Zhang, T., Wang, H., Tang, C., & Zhang, L. A novel fabricating process of catalytic gas sensor based on droplet generating technology. *Micromachines*. 2019; 10(1): 71. doi:10.3390/mi10010071
- [28] Fedorov, F. S., Simonenko, N. P., Trouillet, V., Volkov, I. A., Plugin, I. A., Rupasov, D. P., ... & Sysoev, V. V. Microplotter-printed on-chip combinatorial library of ink-derived multiple metal oxides as an “electronic olfaction” unit. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2020; 12(50): 56135-56150. doi:10.1021/acsami.0c14055
- [29] Volkov, I. A., Simonenko, N. P., Efimov, A. A., Simonenko, T. L., Vlasov, I. S., Borisov, V. I., ... & Ivanov, V. V. Platinum based nanoparticles produced by a pulsed spark discharge as a promising material for gas sensors. *Applied Sciences*. 2021; 11(2): 526. doi:10.3390/app11020526
- [30] Cai, Z., & Park, S. Synthesis of Pd nanoparticle-decorated SnO₂ nanowires and determination of the optimum quantity of Pd nanoparticles for highly sensitive and selective hydrogen gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2020; 322: 128651. doi.org/10.1016/j.snb.2020.128651
- [31] Cao, P., Yang, Z., Navale, S. T., Han, S., Liu, X., Liu, W., ... & Zhu, D. Ethanol sensing behavior of Pd-nanoparticles decorated ZnO-nanorod based chemiresistive gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2019; 298: 126850. doi.org/10.1016/j.snb.2019.126850
- [32] Fiévet, F., Ammar-Merah, S., Brayner, R., Chau, F., Giraud, M., Mammeri, F., ... & Viau, G. The polyol process: a unique method for easy access to metal nanoparticles with tailored sizes, shapes and compositions. *Chemical Society Reviews*. 2018; 47(14): 5187-5233 doi:10.1039/c7cs00777a
- [33] Favier, I., Pla, D., & Gómez, M. Palladium nanoparticles in polyols: Synthesis, catalytic

- couplings, and hydrogenations. Chemical reviews. 2019; 120(2): 1146-1183. doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00204
- [34] Nguyen, V. L., Nguyen, D. C., Hirata, H., Ohtaki, M., Hayakawa, T., & Nogami, M. Chemical synthesis and characterization of palladium nanoparticles. Advances in natural sciences: nanoscience and nanotechnology. 2010; 1(3): 035012. doi:10.1088/2043-6262/1/3/035012
- [35] Kim, S. W., Park, J., Jang, Y., Chung, Y., Hwang, S., Hyeon, T., & Kim, Y. W. (2003). Synthesis of monodisperse palladium nanoparticles. Nano Letters. 2003; 3(9): 1289-1291. doi.org/10.1021/nl0343405
- [36] Mazumder, V., & Sun, S. Oleylamine-mediated synthesis of Pd nanoparticles for catalytic formic acid oxidation. Journal of the American Chemical Society. 2009; 131(13): 4588-4589. doi.org/10.1021/ja9004915
- [37] Schmidt-Ott, A. (Ed.) Spark Ablation: Building Blocks for Nanotechnology. CRC Press: Boca Raton, Florida, USA, 2019. 472.
- [38] Schwyn, S., Garwin, E., & Schmidt-Ott, A. Aerosol generation by spark discharge. Journal of Aerosol Science. 1988; 19(5): 639-642. doi:10.1016/0021-8502(88)90215-7
- [39] Meuller, B. O., Messing, M. E., Engberg, D. L., Jansson, A. M., Johansson, L. I., Norlén, S. M., ... & Deppert, K. Review of spark discharge generators for production of nanoparticle aerosols. Aerosol Science and Technology. 2012; 46(11): 1256-1270. doi:10.1080/02786826.2012.705448
- [40] Pfeiffer, T. V., Feng, J., & Schmidt-Ott, A. New developments in spark production of nanoparticles. Advanced Powder Technology. 2014; 25(1): 56-70. doi:10.1016/j.appt.2013.12.005
- [41] Vons, V. A.; Leegwater, H.; Legerstee, W. J.; Eijt, S. W. H.; Schmidt-Ott, A. Hydrogen Storage Properties of Spark Generated Palladium Nanoparticles Int. J. Hydrogen Energy. 2010; 35: 5479–5489. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.02.118
- [42] Isaac, N. A.; Ngene, P.; Westerwaal, R. J.; Gaury, J.; Dam, B.; Schmidt-Ott, A.; Biskos, G. Optical hydrogen sensing with nanoparticulate Pd–Au films produced by spark ablation. Sensors and Actuators B: Chemical. 2015; 221: 290–296. doi:10.1016/j.snb.2015.05.095
- [43] Vasiliev, A. A., Varfolomeev, A. E., Volkov, I. A., Simonenko, N. P., Arsenov, P. V., Vlasov, I. S., ... & Maeder, T. Reducing humidity response of gas sensors for medical applications: use of spark discharge synthesis of metal oxide nanoparticles. Sensors. 2018; 18(8): 2600. doi:10.3390/s18082600

- [44] Khabarov, K., Nouraldeem, M., Tikhonov, S., Lizunova, A., Efimov, A., & Ivanov, V. Modification of Aerosol Gold Nanoparticles by Nanosecond Pulsed-Periodic Laser Radiation. *Nanomaterials*. 2021; 11(10): 2701. doi:10.3390/nano11102701
- [45] Němec, T., Šonský, J., Gruber, J., de Prado, E., Kupčík, J., & Klementová, M. Platinum and platinum oxide nanoparticles generated by unipolar spark discharge. *Journal of Aerosol Science*. 2020; 141: 105502. doi:10.1016/j.jaerosci.2019.105502
- [46] Tabrizi, N. S., Ullmann, M., Vons, V. A., Lafont, U., & Schmidt-Ott, A. Generation of nanoparticles by spark discharge. *Journal of Nanoparticle Research*. 2009; 11(2): 315. doi:10.1007/s11051-008-9407-y
- [47] Shchukin, E. D., Pertsov, A. V., Amelina, E. A., & Zelenev, A. S. *Colloid and surface chemistry*. Elsevier: Amsterdam, Netherlands; 2001. 779.
- [48] Hutchings, I. M., & Martin, G. D. (Eds.). *Inkjet technology for digital fabrication*. John Wiley & Sons: Hoboken, New Jersey, USA; 2012. 392.
- [49] Smith, P. J., & Shin, D. H. *Inkjet-based micromanufacturing*. John Wiley & Sons: Hoboken, New Jersey, USA; 2012. 388.
- [50] Suganuma, K. *Introduction to printed electronics*, (Vol. 74). Springer Science & Business Media: Berlin, Germany; 2014. 130.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Власов Иван Сергеевич, младший научный сотрудник, МФТИ, Москва, Россия
e-mail: isvlasov5@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4910-1315

Ivan Vlasov, junior researcher, MIPT, Moscow, Russia
e-mail: isvlasov5@yandex.ru

Корнюшин Денис Владимирович, младший научный сотрудник, МФТИ, Москва, Россия
e-mail: kornyushin.d@phystech.edu
ORCID: 0000-0003-4164-178X

Denis Kornyushin, junior researcher, MIPT, Moscow, Russia
e-mail: kornyushin.d@phystech.edu

Каменева Екатерина Игоревна, младший научный сотрудник, МФТИ, Москва, Россия
e-mail: katerinakamenev@yandex.ru

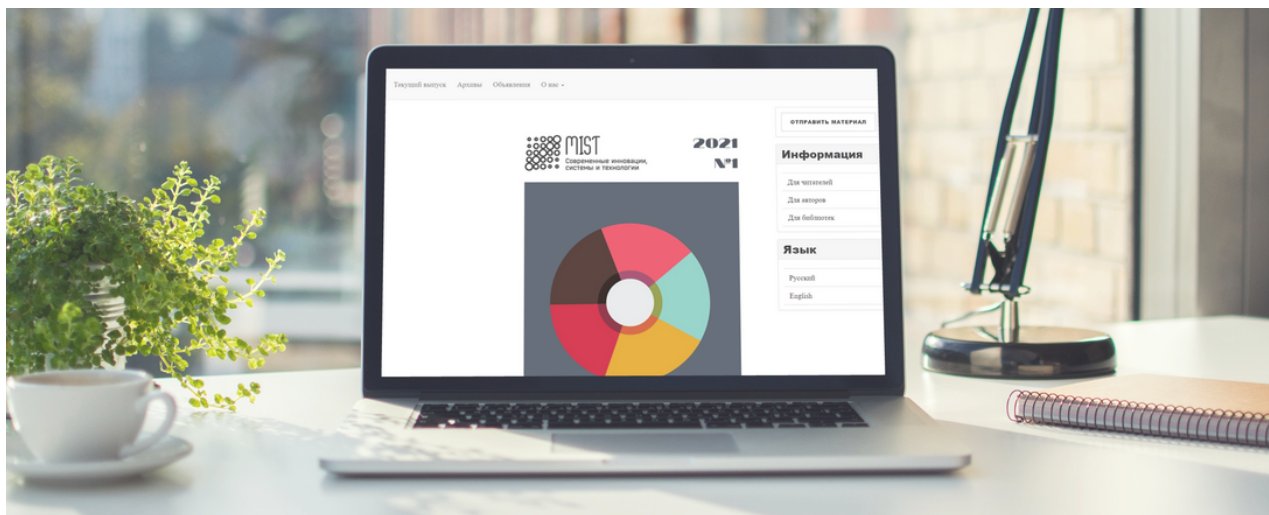
Ekaterina Kameneva, junior researcher, MIPT, Moscow, Russia
e-mail: katerinakamenev@yandex.ru

Волков Иван Александрович, руководитель лаборатории, МФТИ, Москва, Россия
e-mail: volkov.ia@mipt.ru
ORCID: 0000-0003-1130-4969

Ivan Volkov, head of laboratory, MIPT, Moscow, Russia
e-mail: volkov.ia@mipt.ru

Статья поступила в редакцию 01.12.2022; одобрена после рецензирования 09.12.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 01.12.2022; approved after reviewing 09.12.2022; accepted for publication 12.12.2022.



Тематика журнала

Управление, вычислительная техника и информатика

Науки о Земле, химия и химическая технология

Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь

Машиностроение, металлургия и материаловедение

Транспорт, авиационная и ракетно-космическая техника

Проблемы флота и кораблестроения

Физика, математика и механика

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых, проблемы нефти и газа.

Энергетика, электрификация и энергетическое машиностроение

Строительство и архитектура

Инженерные агропромышленные науки и лесное хозяйство

Прикладные вопросы и задачи применения систем и технологий