

УДК 677.11.021.16 /:022:658.562  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_143

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ДЛИННОГО ТРЕПАНОГО ЛЬНОВОЛОКНА И БАНАНОВОГО ВОЛОКНА**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF LONG SCUTCHED FLAX FIBER AND BANANA FIBER**

*A.С. ДЯГИЛЕВ, Д.И. БЫКОВСКИЙ, В. РЕЙМЕР, А. ЯНССЕН, Т. ГРИС, К.Э. РАЗУМЕЕВ*

*A.S. DYAGILEV, D.I. BYKOUSKI, V. REIMER, A. JANSSEN, T. GRIES, K.E. RAZUMEEV*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,  
Текстильный институт Рейнско-Вестфальского технического университета Ахена,  
Федеративная Республика Германия,  
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus,  
Institut fuer Textiltechnik (ITA) of RWTH Aachen University,  
Federal Republic of Germany,  
Russian State University named after A.N. Kosygin  
(Technologies. Design. Art), Russian Federation)

E-mail: dyagilev@vstu.by; viktor.reimer@ita.rwth-aachen.de; alexander.janssen@ita.rwth-aachen.de;  
thomas.gries@ita.rwth-aachen.de; k.razumeev@rambler.ru

*В работе проведен сравнительный анализ физико-механических свойств бананового волокна, произведенного в Индийском штате Тамил-Наду, и белорусского длинного трепаного волокна. При проведении анализа использовались большие объемы данных о физико-механических свойствах длинного трепаного волокна, накапливаемых в информационной системе контроля качества РУПТП "Оршанский льнокомбинат".*

*In this paper, a comparative analysis out of the physical and mechanical properties of banana fiber produced in the Indian state of Tamil Nadu and properties of scutched flax fiber produced in Belarus was carried out. The analysis is based on the Big Data of the current quality control of long scutched flax fiber, accumulated in the information quality control system of "Orsha Linen Mill".*

**Ключевые слова:** льняное волокно, банановое волокно, физико-механические свойства волокон, сравнительный анализ.

**Keywords:** flax fiber, banana fiber, physical and mechanical properties of fibers, comparative analysis.

В последние годы постоянно повышается интерес к применению лубяных волокон для производства не только текстильных материалов бытового назначения, но и текстильных материалов технического назначения и композиционных материалов. Лубяные волокна получают из стеблей и листьев различных растений: лен, джут, конопля, рами, сизаль, юкка и др. Это объясняется повышающимися требованиями к экологичности как производства, так и утилизации промышленных изделий. В связи с этим актуальной является задача проведения сравнительного анализа физико-механических свойств различных видов лубяных волокон, поскольку результаты такого анализа могут быть использованы при выборе сырья для производства материалов различного назначения.

Лен является наиболее распространенным в Европе видом лубяных волокон, а Республика Беларусь является одним из крупнейших мировых производителей льняного волокна, занимая более 20% мирового рынка [1]. При этом более 90% волокна, производимого в республике, перерабатывается на РУПТП "Оршанский льнокомбинат" – крупнейшем льнообрабатывающем предприятии в Республике Беларусь и Восточной Европе. В информационной системе контроля качества льнокомбината [2...4] аккумулируются большие объемы данных о физико-механических свойствах перерабатываемого льняного волокна. В последние годы льняное волокно находит широкое применение для производства товаров не только бытового, но и технического назначения и используется при производстве композиционных материалов [5], [6].

В данной работе с использованием информационной системы контроля качества [2], внедренной в производственный процесс РУПТП "Оршанский льнокомбинат", проводился сравнительный анализ физико-механических свойств белорусского длинного трепаного льноволокна и образцов бананового волокна, произведенного в штате Тамил-Наду (Индия). Данное исследование иллюстрирует возможности по использованию данных, накапливаемых в процессе те-

кущего контроля крупного льноперерабатывающего предприятия.

Банановое волокно получают из ствола (стебля) банана, который подвергается механической обработке, в процессе которой удаляются древесные части стебля и большая часть влаги. Затем волокно подвергается сушке, после чего банановое волокно может использоваться для производства текстильных материалов с применением различных технологий [7...9].

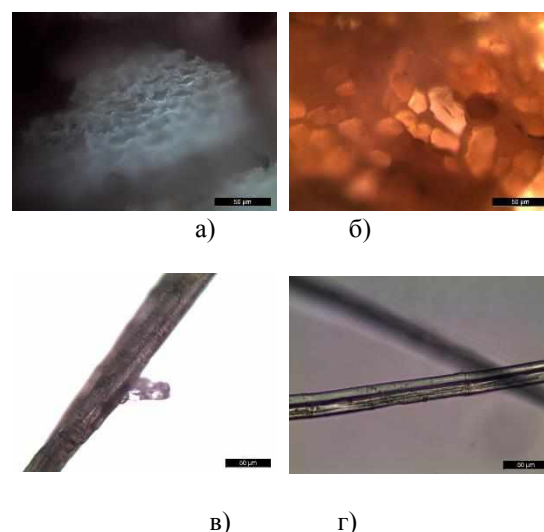


Рис. 1

На рис. 1 приведена микроскопия льняных и банановых волокон: а) поперечное сечение бананового волокна; б) поперечное сечение льняного волокна; в) продольный вид бананового волокна; г) продольный вид льняного волокна.

Испытания физико-механических свойств бананового волокна проводились в условиях лаборатории входного контроля в соответствии с методикой [10], утвержденной действующим стандартом для определения прядильной способности длинного трепаного льноволокна. Основными параметрами для оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна являются: разрывная нагрузка, гибкость, горстевая длина и группа цвета.

Горстевая длина длинного трепаного льноволокна в среднем составляет 60...80 см, в то время как длина добываемых банановых волокон ограничена лишь высотой ствола, который может достигать двух-трех

метров. Существующее технологическое оборудование для переработки льняного волокна сконструировано с учетом усредненных значений длины длинного трепаного льноволокна. Если средняя длина партии волокна значительно превышает технологические ограничения, то волокно укорачивают.

Используя эталонные образцы длинного трепаного льноволокна, определяют исследуемого образца к определенной группе цвета (1...4). Цвет волокна служит косвенным показателем содержания лигнина. Следовательно, сравнительный анализ цвета льняного и бананового волокна не имеет практического смысла.

Таким образом, наибольший интерес для проведения сравнительного анализа физико-механических свойств длинного трепаного волокна и бананового волокна представляют разрывная нагрузка и гибкость.

При определении гибкости согласно действующему стандарту [8] формируют 30 навесок волокон длиной в 27 см и весом 42 г. Определение гибкости проводится с использованием гибкомера ГВ-3. Разрывная нагрузка определяется с использованием образцов, подготовленных для измерения гибкости, на разрывной машине ДКВ-60 с расстоянием между зажимами 100 мм.

Для статистического анализа и обработки данных использовался язык R [11].

На рис. 2 приведены гистограммы распределения значений физико-механических свойств бананового волокна.

Среднее значение разрывной нагрузки бананового волокна составляет 162,2 Н. Коэффициент вариации по разрывной нагрузке 33,86%. Среднее значение гибкости составляет 29,38 мм. Коэффициент вариации по гибкости имеет значение 31,3%. Среднее значение горстевой длины бананового волокна равно 115 мм. Большинство образцов бананового волокна соответствуют группе цвета 2 льняного волокна. Произведение коэффициентов вариации по гибкости и разрывной нагрузке  $CO = 1111,15$ .

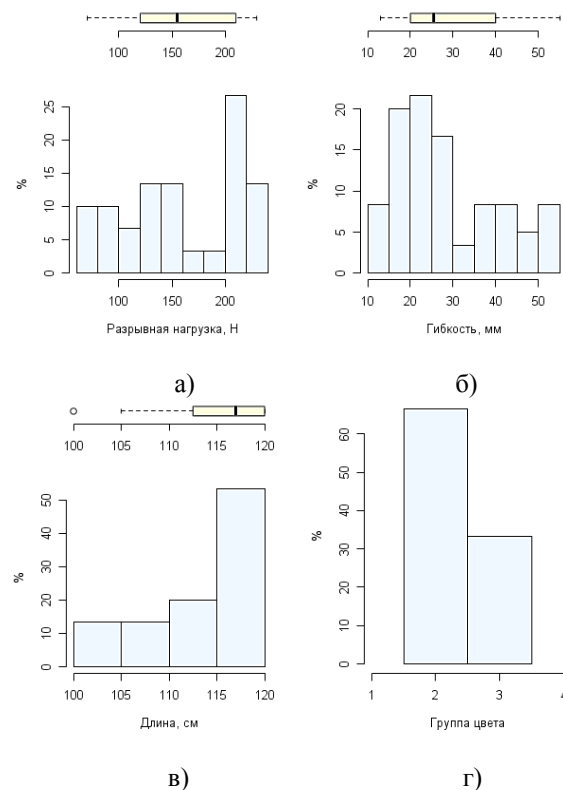


Рис. 2

Для проведения сравнительного анализа партий льняного волокна в информационной системе контроля качества используются частные функции желательности [12]:

$$S(x) = 1 - CDF(x) \approx \sum_{i: x_i \geq x} p_i = \frac{k}{n} \quad x_i \geq x,$$

где  $x$  – значение свойства одного исследованного образца;  $CDF(x)$  — кумулятивная функция распределения;  $p_i$  – вероятность, связанная со значением, удовлетворяющим условию  $x_i \geq x$ ;  $n$  – количество исследованных образцов;  $k$  – количество образцов, удовлетворяющих условию  $x_i \geq x$ .

С целью обеспечения высокого качества выпускаемой продукции РУПТП "Оршанский льнокомбинат" не закупает длинное трепаное льноволокно 9 и более низких номеров. В связи с этим сравнительный анализ физико-механических свойств бананового волокна производился с использованием данных о физико-механических свойствах длинного трепаного волокна 10 номера.

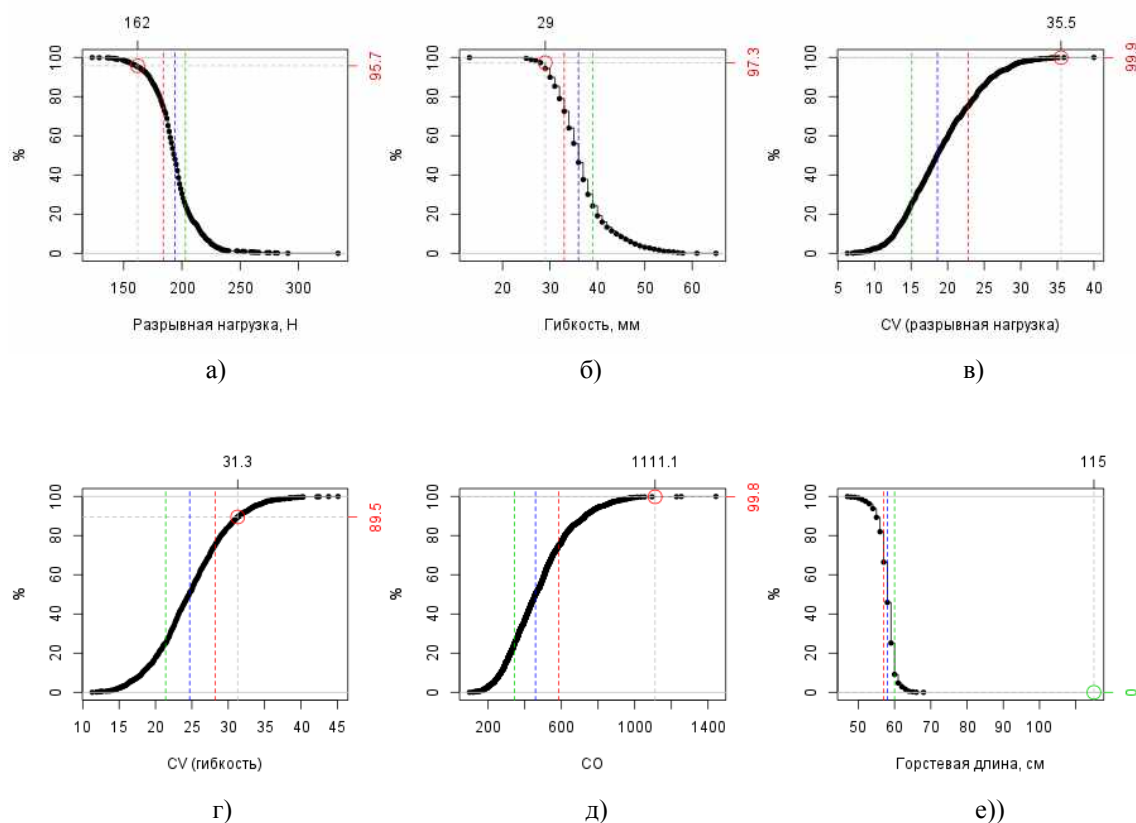


Рис. 3

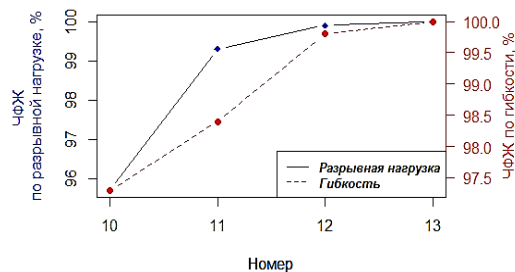
На рис. 3 приведены графики частных функций желательности для разрывной нагрузки и гибкости длинного трепаного волокна 10 номера. На рис. 3-а приведен график частной функции желательности для разрывной нагрузки. Как видно из графика, 4,3% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение разрывной нагрузки хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-б приведена частная функция желательности для гибкости. Как видно из графика, 2,7% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение гибкости хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-в приведена частная функция желательности для коэффициента вариации по разрывной нагрузке. Как видно из графика, 0,1% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение этого параметра хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-г приведена частная функция желательности для коэффициента вариации по гибкости.

Как видно из графика, 10,5% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение этого параметра хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-д приведена частная функция желательности для произведения коэффициентов вариации по гибкости и разрывной нагрузке (CO). Как видно из графика, 0,2% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение этого параметра хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-е приведена частная функция желательности для горстевой длины. Как видно из графика, горстевая длина всех образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера значительно ниже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна.

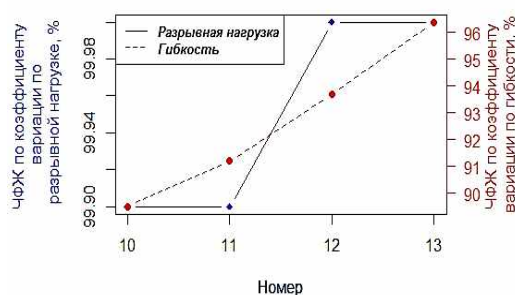
На рис. 4 приведены графики зависимостей значений частных функций желательности (ЧФЖ) свойств длинного трепаного волокна, построенных с использованием средних значений бананового волокна, от номера длинного трепаного волокна.

## ВЫВОДЫ

Как видно на рис. 4, с увеличением номера длинного трепаного льноволокна увеличивается процент образцов длинного трепаного волокна, обладающих лучшими значениями физико-механических свойств, чем средние значения свойств бананового волокна.



а)



б)

Рис. 4

Анализируя рис. 4-а, можно сделать следующие выводы:

- 100% образцов длинного трепаного льноволокна 13 номера имеют значения разрывной нагрузки и гибкости выше средних значений бананового волокна;
- 100% образцов 12 и 13 номеров имеют значения коэффициента вариации разрывной нагрузки выше средних значений бананового волокна;
- по коэффициенту вариации по гибкости банановому волокну уступают менее 4% образцов длинного трепаного волокна 13 номера.

Таким образом, по отдельным значениям разрывной нагрузки, гибкости, коэффициентам вариации по разрывной нагрузке и гибкости банановое волокно может соответствовать худшим образцам длинного трепаного волокна 10 и 11 номеров.

С использованием информационной системы контроля качества РУПТП "Оршанский льнокомбинат" проведен сравнительный анализ физико-механических свойств бананового волокна, произведенного в Индийском штате Тамил-Наду, и белорусского длинного трепаного волокна. Проведенный анализ показал, что банановое волокно обладает значениями разрывной нагрузки и гибкости, а также коэффициентами вариации по этим свойствам, сравнимыми с худшими образцами льняного длинного трепаного волокна 10 и 11 номеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Belarus is in the final phase of entering the WTO [Электронный ресурс]; 2019. – Режим доступа: <http://www.by.undp.org/content/belarus/en/home/presscenter/speeches/2018/1.html>
2. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Построение информационной системы для контроля качества длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С. 51...54.
3. Дягилев А.С., Петюль И.А., Бизюк А.Н., Коган А.Г., Разумеев К.Э. Оценка неопределенности при измерении разрывной нагрузки и гибкости длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 6. С.69...75.
4. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Экспресс-оценка прядильной способности длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С.48...51.
5. Реймер В., Дягилев А.С., Либенштунд Л., Кузнецов А.А., Грис Т. Оценка прочности композиционных материалов, армированных плетеной преформой // Химические волокна. – 2018, № 6. С. 61...65.
6. Ramesh M., Sudharsan P. Experimental Investigation of Mechanical and Morphological Properties of Flax-Glass Fiber Reinforced Hybrid Composite using Finite Element Analysis // Silicon. – №10, 2018. P.747...757. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9526-5>
7. Zaida Ortega. Banana Fiber Processing for the Production of Technical Textiles to Reinforce Polymeric Matrices // Sustainable Design and Manufacturing. – 2017. P. 452...459.
8. Deepa B. Extraction and Characterization of Cellulose Nanofibers from Banana Plant // Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application. – 2014. P. 65...80.
9. Indira K.N., Jyotishkumar P. & Thomas S. Viscoelastic Behaviour of Untreated and Chemically

Treated Banana Fiber/PF composites // *Fibers Polym.* – №15, 2014. P.91...100. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-0091-5>

10. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия : СТБ 1195-2008. – Введ. 30.04.2008. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь : Изд-во стандартов, 2008.

11. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

12. Дягилев А.С., Головенко Т.Н., Чурсина Л.А., Коган А.Г., Шовкомуд А.В. Сравнительный анализ свойств волокон льна масличного и коротких волокон льна-долгунца // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности.* – 2017. Т. 36, № 2. С. 54...58.

#### REFERENCES

1. Belarus is in the final phase of entering the WTO [Electronic resource]; 2019. – Access mode: <http://www.by.undp.org/content/belarus/en/home/presscenter/speeches/2018/1.html>

2. Diaghilev A.S., Bizyuk A.N., Kogan A.G. Development of an information system for quality control of a long scutched flax fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2016, № 1. P. 51...54.

3. Diaghilev A.S., Petyul I.A., Bizyuk A.N., Kogan A.G., Razumeev K.E. Evaluation of uncertainty in measuring of tensity and flexibility of long scutched flax fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2016, № 6. P.69...75.

4. Diaghilev A.S., Bizyuk A.N., Kogan A.G. Express evaluation of the spinning ability of long scutched flax fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2018, № 6. P.48...51.

5. Reimer V., Dyagilev A.S., Liebentshtund L., Kuznetsov A.A., Gris T. Evaluation of the strength of composite materials reinforced with a woven preform // *Chemical fibers.* – 2018, № 6. S. 61...65.

6. Ramesh M., Sudharsan P. Experimental Investigation of Mechanical and Morphological Properties of Flax-Glass Fiber Reinforced Hybrid Composite using Finite Element Analysis // *Silicon.* – № 10, 2018. P.747...757. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9526-5>

7. Zaida Ortega. Banana Fiber Processing for the Production of Technical Textiles to Reinforce Polymeric Matrices // *Sustainable Design and Manufacturing.* – 2017. P. 452...459.

8. Deepa B. Extraction and Characterization of Cellulose Nanofibers from Banana Plant // *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application.* – 2014. P. 65...80.9. Indira K.N., Jyotishkumar P. & Thomas S. Viscoelastic Behavior of Untreated and Chemically Treated Banana Fiber/PF composites // *Fibers Polym.* – №15, 2014. P.91...100. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-0091-5>

10. Linen frayed long fiber. Specifications: STB 1195-2008. - Input. 04/30/2008. - Minsk: Gosstandart of the Republic of Belarus: Publishing house of standards, 2008.

11. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

12. Diaghilev A.S., Golovenko T.N., Chursina L.A., Kogan A.G., Shovkomud A.V. Comparative analysis of the properties of oil flax fibers and short flax fibers // *Izv. universities. Light industry technology.* – 2017. V. 36, № 2. P. 54...58.

Рекомендована кафедрой математики и информационных технологий ВГТУ. Поступила 17.11.21.

## ВЛИЯНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА КОКОНОВ, ВЫРАЩЕННЫХ В ПЕРВОМ И ВТОРОМ СЕЗОНЕ

### INFLUENCE OF PRIMARY PROCESSING ON THE PROPERTIES OF COCOONS GROWN IN THE FIRST AND SECOND SEASON

*Х. АЛИМОВА, А.Э. ГУЛАМОВ, К.Р. АВАЗОВ, Д. ЗАКИРОВА*

*Kh. ALIMOVA, A.E. GULAMOV, K.R. AVAZOV, D. ZAKIROVA*

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: komil.avazov@mail.ru

*Статья посвящена изучению физико-механических свойств коконов тутового шелкопряда, обработанных различными способами. Приведены показатели толщины, водопроницаемости и мощности коконной оболочки, а также выхода куколки коконов.*

*The article is devoted to the study of the physical and mechanical properties of silkworm cocoons processed in various ways. The indicators of the thickness, water permeability and thickness of the cocoon shell, as well as the output of the pupa of cocoons are given.*

**Ключевые слова:** инфракрасные лучи, морка куколки, сухие коконы, сортовые и несортовые коконы, сортировка, шелковая нить, коконный сдир, пленка, разматываемость, толщина коконной оболочки, водопроницаемости коконной оболочки, мощности коконной оболочки.

**Keywords:** infrared rays, killing chrysalis, dry cocoons, varietal and non-sorted cocoons, sorting, silk thread, cocoon shear, film, unwinding, thickness of cocoon shell, water permeability of the cocoon shell, the power of the cocoon shell.

В Республике Узбекистан принимаются последовательные меры по развитию шелковой промышленности, внедрению современных и инновационных технологий в производство и переработку коконов, увеличению объема шелковых изделий и их экспорта, а также привлечению прямых иностранных инвестиций.

Цель поддержки создания новых пород тутовых деревьев и интенсивных тутовых рядов, привлечения прямых иностранных инвестиций в отрасль, широкого внедрения передовых технологий, инновационных идей, научных достижений, глубокой переработки коконного сырья направлена на производство конкурентоспособных готовых изделий с высокой добавленной стои-

мостью и расширение их видов. Для решения вышеуказанных задач по Указу Президента Республики Узбекистан разработана программа УП-4047 от 4 декабря 2018 г. "О дополнительных мерах по поддержке ускоренного развития шелковой промышленности в республике" [15].

На сегодняшний день на 31 предприятии республики проведена модернизация и масштабное обновление оборудования по переработке коконов. В 2019-2020 гг. планируется построить 11 перерабатывающих предприятий. В регионах создаются крупные предприятия, такие как "Bukhara Brilliant Silk", "Andijan Silk Co", "Silk expert processing", "Agro global", "Khiva Silk Fabrik", деятельность которых будет направ-

лена на производство изделий для экспорта с высокой добавленной стоимостью. Ожидается, что эти проекты будут полностью реализованы к 2021 г. В частности, предприятие "Andijan Silk Co" будет обеспечивать постоянной работой около 1000 человек, и к 2021 г. оно сможет экспортировать товары на сумму 12 миллионов долларов.

Поддерживаются крепкие связи с международными организациями с целью ознакомления с новыми идеями, инновациями и тенденциями в мировой шелковой индустрии. В частности, в октябре прошлого года Узбекистан присоединился к Международному шелковому совету (ISC) как 20-й член. Кроме того, Ассоциация "Узбекипаксаноат" начала совместные проекты с Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO) и Организацией промышленного развития, с партнерскими агентствами Германии (GIZ) и Японии (JICA) [2], [15].

Производство качественных коконов, шелка-сырца и шелковых тканей, которые могут конкурировать на мировом рынке, связано с рядом проблем. Известно, что качество готового продукта требует качественного сырья и правильной последовательности технологических процессов. Однако использование физически и морально устаревших агрегатов на базах первичной обработки коконов (БПОК), где первичная переработка коконов производится горячим воздухом, отрицательно влияет на технологические свойства оболочки и приводит к денатурации серицина [3...9].

Живой кокон имеет высокую влажность. После морки коконы с такой влажностью нельзя хранить долгое время так как при длительном хранении коконы быстро плесневеют и становятся непригодными для дальнейшей переработки. Первичная обработка живых коконов представляет со-

бой сложный процесс, при котором происходит интенсивный обмен влаги и тепла между оболочкой и куколкой. Поэтому процесс морки и удаления влаги из оболочки требует эффективного использования расходуемой энергии при сохранении естественных технологических свойств коконов путем правильного выбора режимов, изучения происходящих тепловых процессов.

Принимая во внимание вышесказанное, был проведен ряд экспериментов на кокономотальном предприятии "Кумуш тола", расположенном в Каттакурганском районе Самаркандской области и на кафедре "Технология шелка" с целью проверки зависимости физико-механических свойств коконов и куколки от способов первичной обработки. Для этого проводились эксперименты весной, то есть первый и летом – второй сезон. Выкормка первого, то есть весеннего сезона, проводилась в мае и июне, смотря на погодные условия. Второй сезон выкормки проводился летом, в июле. Коконы породы Узбекистан 5 одного калибра, заготовленные в первом и втором сезонах, подвергались первичной обработке по трем вариантам. Метод, использованный в 1-м варианте, заключался в сушке на сушильном агрегате СК-150К в течение 1,5 ч при температуре 90°C (морка и полусушка) и полной сушке на теневых сушилках; во 2-м варианте: морка живых коконов проводилась путем фумигации химическими веществами (фосфид алюминия 56%), а дальше полная сушка на теневых сушилках; в 3-м варианте: морка коконов проводилась с использованием инфракрасных лучей и полной сушкой на теневых сушилках [10...13]. В табл. 1 (применяемые методы и их параметры для обработки живых коконов) приведены методы и режимы первичной обработки живых коконов.

Т а б л и ц а 1

Метод обработки	Оборудование	Длительность обработки, ч	Температура, °С	Применяемые вещества
Горячим воздухом	СК-150К	1,5	90	Горячий воздух
Фумигация	-	2	постоянная	фосфид алюминия 56%
Инфракрасными лучами	Прибор с инфракрасными лучами	1,5	постоянная	инфракрасные лучи



После первичной обработки определены физико-механические показатели обо-

лочки сухих коконов (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

№	Варианты обработки	Сезон получения коконов	Верхнее полушарие		Перехват	Нижнее полушарие		Средняя
			полос	полушарие		полос	полушарие	
1	1-й вариант (горячий воздух)	Толщина коконной оболочки, мм						
		Первый (весенний) (контроль)	0,81	0,79	1,13	1,04	0,86	0,93
		Второй (летний) (опыт)	0,69	0,89	0,97	0,86	0,71	0,82
		Мощность коконной оболочки, г/см <sup>2</sup>						
		Первый (весенний) (контроль)	18	20	25	16	21	20,0
		Второй (летний) (опыт)	15	17	21	12	19	16,8
		Водопроницаемость оболочки, л/см <sup>2</sup> с						
		Первый (весенний) (контроль)	0,186	0,181	0,178	0,180	0,183	0,1816
Второй (летний) (опыт)	0,173	0,171	0,161	0,168	0,164	0,1674		
2	2-й вариант (фумигация)	Толщина коконной оболочки, мм						
		Первый (весенний) (контроль)	0,81	0,80	1,10	0,91	0,90	0,90
		Второй (летний) (опыт)	0,70	0,71	0,88	0,79	0,74	0,76
		Мощность коконной оболочки, г/см <sup>2</sup>						
		Первый (весенний) (контроль)	18	19	24	17	20	19,6
		Второй (летний) (опыт)	15	16	20	16	17	16,8
		Водопроницаемость оболочки, л/см <sup>2</sup> с						
		Первый (весенний) (контроль)	0,187	0,190	0,183	0,185	0,188	0,1866
Второй (летний) (опыт)	0,176	0,179	0,175	0,180	0,181	0,1782		
3	3-й вариант (ИК-обработка)	Толщина коконной оболочки, мм						
		Первый (весенний) (контроль)	0,80	0,79	1,11	0,90	0,87	0,89
		Второй (летний) (опыт)	0,71	0,86	0,89	0,80	0,75	0,80
		Мощность коконной оболочки, г/см <sup>2</sup>						
		Первый (весенний) (контроль)	17	19	23	18	19	19,2
		Второй (летний) (опыт)	14	16	19	17	15	16,2
		Водопроницаемость оболочки, л/см <sup>2</sup> с						
		Первый (весенний) (контроль)	0,183	0,190	0,189	0,182	0,185	0,1858
Второй (летний) (опыт)	0,175	0,179	0,174	0,180	0,182	0,1780		

Прочность оболочки кокона позволяет определить плотность шелка в оболочке [1]. Этот показатель связан с технологическими характеристиками и определяет массу 5 дисков диаметром 10 мм, вырезанных из оболочки кокона. Значения прочности оболочки также варьировались в обозначенных местах. Согласно данным мощ-

ность оболочки, несмотря на разные показатели в разных участках оболочки, в среднем имеет близкие значения.

Водопроницаемость оболочки кокона является одним из технологических свойств, которое влияет на качество сырья во время процесса первичной обработки и размотки коконов. В ходе эксперимента

изучалась водопроницаемость образцов коконной оболочки. Анализы показали, что у коконов, выращенных весной, степень водопроницаемости выше, чем у коконов, выращенных в повторяющихся сезонах.

По результатам анализа было установлено, что у опытных коконов в разных частях разные показатели толщины, и средняя толщина значительно выше, чем у контрольных коконов. В частности, во всех трех вариантах толщина и мощность оболочки коконов близки друг к другу, но стало известно, что на показатель водопроницаемости оболочки влияют способы переработки коконов и ее режимы. Итак, в 1-м варианте водопроницаемость контрольной оболочки составила 0,1816, во 2- и 3-м варианте соответственно выше на 2,8% (абс.) и 2,7% (абс.). В 1-м варианте водопроницаемость опытной оболочки составила 0,1674, во 2- и 3-м варианте соответственно выше на 6,1% (абс.) и 5,9 (абс.).

Основываясь на полученных результатах, согласно исследованию обработки ко-

конов тремя методами, а именно горячим воздухом, фумигацией и инфракрасными лучами, толщина, прочность и водопроницаемость коконов первого и второго сезона показали хорошие результаты, когда обрабатывались инфракрасными лучами. По этим данным можно рекомендовать метод обработки инфракрасными лучами на переработку в производстве.

Куколки, собранные в течение 3...5 суток сезона, бывают желтого цвета и без запаха. А в процессе сушки куколка приобретает неприятный запах в результате ферментации белковых веществ. В результате изменения содержания жира куколка становится коричневой, а при длительном содержании в горячем воздухе становится темно-коричневой или черной. В результате жир сгорает и превращается в воск и становится трудно растворимым [14]. С учетом вышеизложенного было определено влияние различных режимов переработки на выход и цвет куколки (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

№	Варианты обработки	Сезон получения коконов	Выход куколки, %	В том числе выход по цвету, %			
				желтый	коричневый	черный	гусеница
1	1-й вариант (горячий воздух)	Первый (весенний) (контроль)	48,2	68,5	26,4	3,7	1,4
		Второй (летний) (опыт)	46,1	66,5	27,1	4,5	1,9
2	2-й вариант (фумигация)	Первый (весенний) (контроль)	48,8	73,4	19,7	5,8	1,1
		Второй (летний) (опыт)	46,3	75,1	19,3	4,1	1,5
3	3-й вариант (ИК-обработка)	Первый (весенний) (контроль)	48,6	71,1	21,3	6,6	1,0
		Второй (летний) (опыт)	46,2	74,2	19,8	4,2	1,8

Результаты показывают, что у коконов, выращенных во втором (летнем) сезоне, выход куколки значительно выше, чем у коконов первого (весеннего) сезона. Стало известно влияние способа и режима переработки на выход куколки желтого цвета. В 1-м варианте контрольный выход куколки желтого цвета составил 68,5%, во 2 и 3-м вариантах соответственно выше на 4,9% (абс.) и 2,6% (абс.). В 1-м варианте опытный выход куколки желтого цвета составил 66,5%, во 2- и 3-м вариантах соответственно выше на 8,6% (абс.) и 7,7% (абс.).

Известно, что выбор режима сушки кокона влияет на свойства серицина. Свойства серицина выражаются растворимостью, набуханием и силой адгезии. Серицин в оболочке сухих коконов прочно держит коконную нить, которая формирует оболочку. Для отделения коконной нити от оболочки требуется усилие до 1,52 сН. Для непрерывной размотки коконов с высокой скоростью сила, необходимая для отделения коконной нити, не должна превышать 0,2 сН. Для этого показатели набухаемости

оболочки и растворимость серицина должны быть на требуемом уровне [1].

Особенностью строения молекулы серицина является легкий переход растворителя в серицин. Проникновение воды в серицин вызывает набухание, отделение и частичное растворение серицина. Полудисперсия молекулы серицина вызывает его растворение, даже когда она не достигает критической точки температуры. Его растворимость зависит от породы кокона, условий выкармливания, способов первичной об-

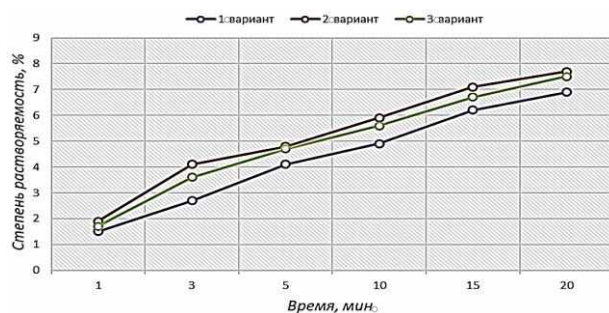


Рис. 1

С целью проверки характеристик растворимости серицина в оболочках коконов, обработанных вышеприведенными способами и выращенными в весеннем и повторяющихся сезонах, определена потеря веса путем кипячения оболочки коконов в дистиллированной воде по существующей методике (по 50 образцов,  $i = 10$  повторов) (рис. 1 – зависимость растворимости коконной оболочки, обработанной разными способами и выращенной в весеннем сезоне от времени (контроль) и рис.2 – зависимость растворимости коконной оболочки, обработанной разными способами и выращенной во втором сезоне от времени (опыт)).

Результаты исследования показали, что сушка коконов горячим воздухом влияет на технологические свойства оболочки кокона. Растворимость серицина оболочки кокона в 1-м варианте в среднем составляет ниже на 0,97% (абс.) по сравнению с контролем, а во 2- и 3-м вариантах соответственно ниже на 0,85% (абс.) и 0,75% (абс.). Анализируя способы первичной обработки коконов, установлено, что результаты двух вариантов, во 2-м варианте (фумигация) и 3-м варианте (ИК), были близки друг к

другу (морки и сушки коконов) и режимов запаривания. Степень растворимости серицина рассчитывается по следующему выражению [15]:

$$P_a = \frac{m_0 - m_k}{m_0} \cdot 100\%,$$

где  $m_k$  – масса оболочки кокона после отварки;  $m_0$  – масса оболочки коконов в сухом состоянии до отварки.

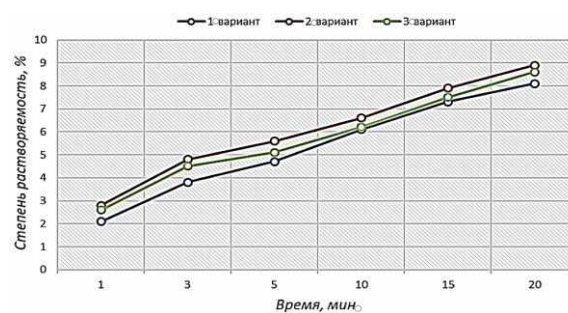


Рис. 2

другу, а обработка горячим воздухом значительно влияла на растворение серицина в оболочке. Из результатов видно, что морка коконов методом фумигации и сушки на теневых сушилках лучше сохраняет свойства оболочки. Однако один из основных недостатков этого метода заключается в том, что при размотке коконов химические вещества, которые сохраняются в коконе, в результате взаимодействия с водой отрицательно влияют на здоровье рабочих. 3-й вариант показывает, что морка живых коконов инфракрасными лучами и сушка на теневых сушилках приводит к сохранению технологических свойств серицина. Этот фактор в процессе размотки приводит к хорошему набуханию, запариванию и разматываемости.

## ВЫВОДЫ

В результате исследования определено, что технология и методы первичной обработки коконов влияют на физико-механические свойства оболочки и куколки. Это указывает на то, что чем меньше коконы подвергаются воздействию горячего воз-

духа, тем выше выход желтых куколок. Это указывает на то, что для получения высококачественного шелка-сырца требуется индивидуальная разработка технологических режимов для коконов, выращенных в разных сезонах. Основываясь на результатах исследования, установлено, что живые коконы, обработанные инфракрасными лучами, позволяют получать качественное сырье. Использование для этого процесса такого источника энергии как солнце позволяет экономить электроэнергию и снизить себестоимость обработанных коконов. В результате кокономотальные предприятия, работающие по кластерной системе, будут обеспечены высококачественными сухими коконами и позволят расширить выработку конкурентоспособной продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рубинов Э.Б. Шелкосырье и кокономотание. – М.: Легпробытгиздат, 1986.
2. Алимova X.A. Безотходная технология переработки шелка. – Т.: Фан, АН РУ, 1994.
3. Авазов К.Р. Состояние агрегатов первичной переработки коконов // Проблемы текстиля. – 2008, №1. С. 97...100.
4. Гуламов А.Э., Авазов К.Р., Абдуллаев Б. Новый способ морки и сушки коконов в области сверхвысокой частоты (СВЧ) // Международный семинар по возрождению и развитию шелководства и развития малого предпринимательства в (BACSA) Черном, Каспийском морях и Центральной Азии. – Ташкент, Узбекистан, 2005. С. 517...519.
5. Авазов К.Р. Расчет температурного режима оболочки шелковичных коконов при их терморadiационной сушке // Гелиотехника. – 2009, №2.
6. Авазов К.Р. Коэффициент теплопередачи между сушильным агентом и поверхностью куколки при конвективной сушке шелковичных коконов // Проблемы текстиля. – 2009, №2. С. 65...68.
7. Авазов К.Р. Моделирование темпа изменения температуры куколки шелковичных коконов при их терморadiационном замаривании // Европейские прикладные науки ISSN 2195-2183 Национальный центр ISSN Германии, №12, 2015.
8. Авазов К.Р., Бастамкулова Х.Д. Пути повышения эффективности первичной обработки коконов при влиянии инфракрасных лучей // Австрийский журнал технических и естественных наук, ISSN 2310-5607, №1, 2016.
9. Авазов К.Р. Исследование усовершенствованной технологии первичной обработки коконов тутового шелкопряда // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №5. С. 80.
10. Алимova X., Авазов К., Закирова Д., Хакимов Н.

Исследование технологии первичной обработки коконов, выращенных в повторяющихся сезонах // Международный журнал передовых исследований в области науки, техники и технологий. (IJARSET), ISSN: 2350-0328, Т. 5, вып. 12, декабрь 2018.

11. Алимova X., Авазов К.Р. Основа процесса сушки шелковичных коконов // Проблемы текстиля. – Ташкент, 2016, №4.
12. Алимova X., Гуламов А.Э., Авазов К.Р., Азаматов У.Н., Бастамкулова Х.Д., Умурзакова Х.Х., Абдуллаев О.С. Устройство морки куколки тутового шелкопряда/№FAP 20190145, 26.07.2019.
13. Алимova X., Авазов К.Р., Файзуллаев Ш.Р., Тураев Ф. Эффективные способы первичной обработки коконов // Проблемы текстиля. – 2016, №2.
14. Бобоев Ш.Р., Авазов К.Р., Қодиров Ш.А. Влияние первичной обработки кокона на внешний вид и выход куколки кокона // Шелк. – Ташкент, 2001, №1. С. 9...12.
15. <https://uzbekipaksanoat.uz>

#### REFERENCES

1. Rubinov E.B. Raw silk and cocoon winding. – M.: Legprobytizdat, 1986.
2. Alimova Kh.A. Waste-free silk processing technology. – T.: Fan, AN RU, 1994.
3. Avazov K.R. State of aggregates of primary processing of cocoons // Problems of textiles. – 2008, № 1. P. 97...100.
4. Gulamov A.E., Avazov K.R., Abdullaev B. A new way of carrots and drying cocoons in the field of ultra-high frequency (MW) // International seminar on the revival and development of sericulture and the development of small business in (BACSA) Cherny, Caspian seas and Central Asia. – Tashkent, Uzbekistan, 2005. P. 517...519.
5. Avazov K.R. Calculation of the temperature regime of the shell of silk cocoons during their thermoradiation drying // Geliotekhnika. – 2009, № 2.
6. Avazov K.R. Heat transfer coefficient between the drying agent and the surface of the chrysalis during convective drying of silk cocoons // Problems of textiles. – 2009, № 2. P. 65...68.
7. Avazov K.R. Modeling the rate of change in the temperature of the pupa of silk cocoons during their thermoradiation pickling // European Applied Sciences ISSN 2195-2183 ISSN National Center of Germany, № 12, 2015.
8. Avazov K.R., Bastamkulova Kh.D. Ways to improve the efficiency of cocoon primary processing under the influence of infrared rays // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, ISSN 2310-5607, № 1, 2016.
9. Avazov K.R. Research of improved technology of primary processing of silkworm cocoons // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 5. P. 80.
10. Alimova Kh., Avazov K., Zakirova D., Khakimov N. Investigation of the technology of primary pro-

cessing of cocoons grown in recurring seasons // International journal of advanced research in science, technology and technology. (IJARSET), ISSN: 2350-0328, Vol. 5, № 12, December 2018.

11. Alimova H., Avazov K.R. The basis of the process of drying silk cocoons // Textile Problems. – Tashkent, 2016, № 4.

12. Alimova Kh., Gulamov A.E., Avazov K.R., Azamatov U.N., Bastamkulova Kh.D., Umurzakova Kh.Kh., Abdullaev O.S. Device for silkworm chrysalis № FAP 20190145, 07/26/2019.

13. Alimova H., Avazov K.R., Fayzullaev Sh.R., Turaev F. Effective methods of primary processing of cocoons // Textile Problems. – 2016, № 2.

14. Boboev Sh.R., Avazov K.R., Kodirov Sh.A. Influence of the primary cocoon processing on the appearance and yield of the cocoon pupa // Shelk. – Tashkent, 2001, № 1. P. 9...12.

15. <https://uzbekipaksanoat.uz>

Рекомендована кафедрой технологии шелка.  
Поступила 04.02.22.

УДК 65.012.122:631.364.7:677.191  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_155

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ФОРМИРОВАНИЕ И ОТГРУЗКУ  
ТЕКСТИЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЯМ  
ОДНОРОДНЫХ ПО ПАРАМЕТРАМ КАЧЕСТВА  
ПАРТИЙ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА**

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED SYSTEM  
ENSURES THE FORMATION AND SHIPMENT  
TO TEXTILE ENTERPRISES  
OF COTTON FIBER LOTS HOMOGENEOUS  
IN TERMS OF QUALITY PARAMETERS**

*P.A. ГУЛЯЕВ, А.А. СУЛТОНОВ, Р.Ф. ЮНУСОВ,  
Д.Р. РАФИКОВ, О.О. ИБОДУЛЛАЕВ*

*R.A. GULYAEV, A.A. SULTONOV, R.F. YUNUSOV,  
D.R. RAFIKOV, O.O. IBODULLAEV*

**(ООО "Paxta Ilmiy-Innovasiya Markazi", Республика Узбекистан,  
Бухарский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан)**

**("Paxta Ilmiy-Innovasiya Markazi" LLC, Republic of Uzbekistan,  
Bukhara Institute of Engineering and Technology, Republic of Uzbekistan)**

E-mail: uzcluster@gmail.com

*В статье приведена информация о разработке и внедрении системы идентификации и автоматизированного учета кип хлопкового волокна в соответствии с мировыми стандартами PVI (Permanent Bale Identification). Внедрение данной системы позволяет на основании показателей качества, определяемых по каждой кипе на инструментальных системах SCITC (HVI), формировать и отгружать по заявкам текстильных предприятий однородные по качеству (сорт, класс, тип и т.д.) партии хлопкового волокна. В отличие от существующей системы формирование однородных по качеству партий хлопкового волокна вагонной или контейнерной нормы осуществляется на хлопковых терминалах. В рамках реализуемого проекта*

*разработано устройство (консоль) сквозной нумерации, а также программное обеспечение по идентификации, учету и рассортировке кип хлопкового волокна.*

*The article provides information on development and implementation of the system of identification and automated accounting of cotton fiber bales in accordance with the world standards PBI (Permanent Bale Identification). Implementation of this system allows to form and dispatch homogeneous lots of cotton fiber in terms of quality (grade, class, type, etc.) on the basis of quality indicators determined for each bale on SCITC (HVI) instrumental systems. In contrast to the existing system, the formation of homogeneous lots of cotton fiber of wagon or container norm is carried out at cotton terminals. As part of the project, a permanent bale identification device (console) and software for identification, accounting and sorting of cotton fiber bales have been developed.*

**Ключевые слова:** хлопковое волокно, кипа, учет, сквозная нумерация, количество, качество, система SCITC (HVI), сорт, класс, конкурентоспособность.

**Keywords:** cotton fiber, bale, accounting, permanent bale identification, quantity, quality, SCITC (HVI) system, grade, class, competitiveness.

#### *Введение*

Хлопковый комплекс занимает центральное место в экономике Республики Узбекистан. Реформы, осуществленные правительством в хлопковой отрасли, явились важнейшим элементом планомерного развития страны и ее перехода к рыночной экономике. Главная продукция комплекса – хлопковое волокно – является конкурентоспособной на мировом рынке технической продукцией [1]. В Республике Узбекистан реализуются комплексные широкомасштабные меры по повышению эффективности производственного процесса первичной переработки хлопка и внедрению высокоэффективных систем управления технологическими процессами, улучшающими свойства хлопковой продукции [2].

Необходимость внедрения системы идентификации и автоматизированного учета продукции в соответствии с мировыми стандартами PBI (Permanent Bale Identification), а также отгрузки по заявкам текстильных предприятий однородных по качеству (сорт, классу, типу и т.д.) партий хлопкового волокна вызвана тем, что текстильным предприятиям необходимо однородное по качеству хлопковое волокно одного селекционного и промышленного сорта, одного

типа, одного класса. Иначе говоря, один уровень качества с одной ценой. Если партии хлопкового волокна неоднородные по качеству, то текстильщикам необходимо рассортировывать кипы на складах, теряя на этом время и деньги. Также, если партии не полные и в вагон надо загружать несколько партий, часто разного качества по классам и ценам, то потребители стараются найти причины не брать такой хлопок или занизить его качество до низшего уровня [2].

#### *Методы*

В мировой практике накоплен достаточный опыт в области автоматизированной идентификации кип хлопковой продукции и формирования однородных партий хлопковой продукции по показателям качества, определенным инструментальными системами CSITS (HVI). Системы учета и сепарации функционируют в США, КНР, Бразилии, Австралии, других хлопкосеющих странах.

В США, Австралии, Бразилии собранный фермерами хлопок-сырец хранится в модулях массой порядка 10 тонн или круглых скирдах массой до 3,5 тонн. С использованием модульных систем хлопок-сырец хранится в течение нескольких недель, без потерь в качестве. Однако при данной сис-

теме разнородность параметров хлопко-сырца отличается по полям, по фермерам, по видам сбора, что приводит к различиям в качестве переработанного хлопкового волокна [3].

В связи с этим формирование отгрузочных партий осуществляется трейдерскими компаниями на специализированных хлопковых терминалах. После поступления кип хлопковой продукции на терминалы проводится рассортировка кип на однородные лоты (обычно по 100 кип) на основании данных по оценке качества, определенных автоматизированными системами оценки качества SCITC (HVI).

Для маркировки каждой кипы хлопкового волокна в США, Бразилии, Австралии применяют специально напечатанные бирки PVI. В Греции, КНР устройства, обеспечивающие измерение влажности волокна в кипах и печать бирок со штрих-кодом со всей информацией о произведенной кипе находятся непосредственно на хлопкозаводах. Кипы при выходе из пресса на хлопкозаводе получают сквозной номер, дублированный штрих-кодом стандарта EAN 128, который легко считывается в компьютерную систему, как на хлопкозаводе, так и на терминалах (рис. 1 – внешний вид бирки штрих-кода Министерства сельского хозяйства США (USDA)) [3].



Рис. 1

В отличие от зарубежной практики хранение хлопко-сырца на заготовительных пунктах и хлопкозаводах в Республике Узбекистан, а также в большинстве хлопкосе-

ющих стран СНГ производится в бунтах массой порядка 350...500 тонн. Ранее, при существовании больших коллективных хозяйств, применении ими единых и унифицированных агротехнических мероприятий однородность комплектуемых партий хлопко-сырца в бунтах была достаточно высока. Однако в настоящее время партии хлопко-сырца (бунты) формируются из объемов хлопко-сырца, поставляемых десятками и сотнями фермеров, применяющих несколько отличные агротехнические мероприятия, практикующие различные методы сбора. Возросшая неоднородность хлопко-сырца при его комплектовании, нарушение процедур заготовки хлопко-сырца, а также отклонения от оптимальной технологии его первичной переработки приводят к увеличению неоднородности хлопкового волокна.

При существующей системе формирования отгрузочных партий исключить образование мелких и неоднородных партий по качеству невозможно. Вагонная норма для отгрузки волокна определяется простым отсчетом 220...230 кип при переработке бунта без учета их качества, когда кипы только выходят из пресса, и данных о их фактическом качестве не имеется. Кипы маркируются номером партии и порядковым номером внутри партии до полной вагонной нормы.

После испытаний проб в лабораториях ГУП "Центр по оказанию услуг в агропромышленном комплексе" (УЦ "Сифат") может выявиться, что в партии содержатся кипы с разным качеством, и соответственно возникает проблема мелких и неоднородных партий. Также в одной партии встречаются отдельные кипы с отклонениями по качеству как вверх, так и вниз. Нужно было бы отделять эти кипы, но тогда возникает проблема с их учетом и реализацией, так как они промаркированы номером основной партии. Если эти кипы останутся в партии, то могут сильно осложнить ее реализацию. При поступлении таких разнородных по качеству партий хлопкового волокна на текстильные предприятия, последние могут столкнуться с ростом неравномерности выработываемой хлопковой пряжи.

В целях идентификации кип хлопкового волокна ГУП "Центр по оказанию услуг в агропромышленном комплексе" (ранее – УЦ "Сифат", далее по тексту – Центр) начал использовать бирки штрих-кода стандарта EAN 128 с 2001 года. По инициативе УЦ "Сифат" в государственный стандарт О'z DSt 841:1997 "Волокно хлопковое, линт хлопковый, отходы хлопкозаводов улюко-содержащие и пухосодержащие. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение" было внесено Изменение №1 (утверждено и введено в действие постановлением Агентства Узстандарт №05-05 от 2003-02-14), предусматривающее возможность маркировки кип с применением штрих-кода [4]. При этом все бирки штрих-кода печатались централизованно в Центральном офисе Центра в г. Ташкенте на принтерах Printronix.

На рис. 2 показан внешний вид бирки штрих-кода ГУП "Центр по оказанию услуг в агропромышленном комплексе" (УЦ "Сифат").

Однако внедрение сквозной нумерации кип хлопкового волокна с использованием бирок штрих-кода было использовано исключительно для обеспечения производительности автоматизированных измерительных систем CSITC (HVI). Хлопкоочистительные предприятия не производили рассортировки кип хлопкового волокна на однородные партии и продолжали механически формировать партии хлопкового волокна простым отсчетом 215-220 кип до достижения вагонной нормы.

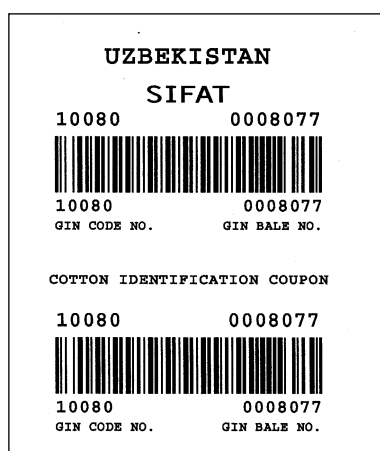


Рис. 2

### Результаты и обсуждения

В 2019 г. в хлопково-текстильном кластере ООО "Бухара Агрокластер" был начат эксперимент по использованию данных по качеству хлопкового волокна в целях формирования однородных по качеству отгрузочных партий хлопкового волокна.



Рис. 3

Научным Центром ООО "Paxta Iltimiy-innovasiya Markazi" было разработано устройство (консоль) сквозной нумерации, обеспечивающее печать бирок штрих-кода непосредственно на территории хлопкоочистительного предприятия (рис. 3). Данная конструкция защищена Патентом на промышленный образец Республики Узбекистан SAP 01825 [5].

Устройство сквозной нумерации интегрировано с электронными весами, осуществляющими взвешивание кип хлопкового волокна. Таким образом, помимо сквозного номера, на бирке печатаются параметры массы кип хлопкового волокна, а также дата производства (рис. 4 – внешний вид бирки штрих-кода ООО "Бухара Агрокластер").

Хлопкоочистительные заводы при использовании новой системы осуществляют переработку партии хлопка-сырца (бунта) и при закрытии производственного задания вносят в него данные об интервале сквозных номеров кип и фактическом качестве



волокна. Необходимая информация по качеству и количеству произведенного хлопкового волокна доступна в автоматизированной информационной системе "Uzraxta-1C". Программное обеспечение автоматизированной информационной системы "Uzraxta-1C" защищено Патентом Республики Узбекистан DGU 09844 [6].

Представление оперативной информации о производстве кип хлопкового волокна в информационной системе "Uzraxta-1C" показано на рис. 5.



Рис. 4

Вид	Кипы	Штрихкод	Штрихкод макс день	Вес брутто	Вес тары	Вес нетто	Месяц			Сезон								
							Кипы	Штрихкод	Штрихкод макс	Кипы	Штрихкод	Штрихкод макс						
Завод	676	021010100409	021110069820	159 328,9	754,6	158 572,3	4 943	021010098530	021110069820	1 165 970,7	5 531	1 160 439,7	23 576	021010094668	021110069820	5 527 169,4	25 935	5 501 234,4
Хлопок	275	021051719996	02105180272	43 645,2	230	43 315,2	1 970	02105178363	02105180272	468 564,4	2 354	458 209,4	8 014	02105172259	02105180272	1 867 480,6	9 584,8	1 857 895,8
АД "СЛОВОН РАЙЛА ТОВАРАБИ"	141	021010100409	021010100549	33 604	141	33 463	1 020	021010099530	021010100549	244 312	1 020	243 292	5 982	021010094668	021010100549	1 398 632	5 982	1 392 750
АД "ХОЖОН РАЙЛА ТОВАРАБИ"	142	021100091056	021100091087	33 967,6	142	33 725,6	983	021100092016	021100091087	239 302	983	239 319	5 738	021100094668	021100091087	1 321 640	5 738	1 320 911
АД "ШОНВОЙОН РАЙЛА ТОВАРАБИ"	119	021110007703	021110009820	28 210,1	141,6	28 068,5	970	021110008861	021110009820	230 702,3	1 164	229 628,3	3 942	021110005079	021110009820	509 407,8	4 730,2	504 677,6
Итого	676	021010100409	021110069820	159 328,9	754,6	158 572,3	4 943	021010098530	021110069820	1 165 970,7	5 531	1 160 439,7	23 576	021010094668	021110069820	5 527 169,4	25 935	5 501 234,4

Рис. 5

Выходящие из производства на хлопкоочистительных заводах кипы хлопкового волокна складываются на площадках готовой продукции в разрезе партий хлопко-сырца по селекционным сортам. Региональные лаборатории ГУП "Центр по оказанию услуг в агропромышленном комплексе" (УЦ "Сифат") ежедневно обеспечивают вывоз и испытания объемов хлопкового волокна, выработанных в течение суток. В течение трех суток после отбора образцов специалисты Центра предоставляют на объемы, находящиеся на площадках готовой продукции и имеющие сквозную нумерацию, данные 100% испытаний каждой кипы на системах СИТС (HVI). Данные по испытаниям кип хлопкового волокна передаются с сервера Центра в систему "Uzraxta-1C" ООО "Бухоро Агрокластер". Хлопкоочистительные заводы по получению данных испытаний на испытанные объемы хлопкового волокна обеспечивают отгрузку кип хлопкового волокна, хранящихся на площадках готовой продукции, на хлопковый терминал.

Хлопковый терминал выделяют на своей территории каждому хлопкоочистительному предприятию как необходимую площадь для одновременного комплектования и складирования продукции раздельно по ассортиментам (тип, промышленный сорт, класс).

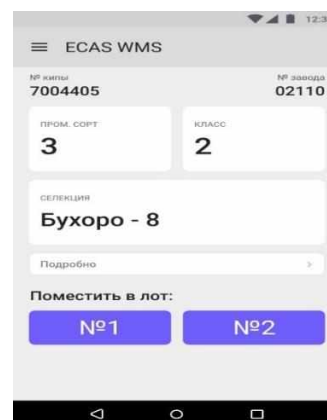


Рис. 6

Товароведы хлопкового терминала при поступлении испытанных объемов хлопкового волокна с использованием терминалов

сбора данных и специальных программных средств (ECAS WMS) обеспечивают рассортировку кип хлопкового волокна на однородные по типу, промышленному и селекционному сорту, классу объемы хлопкового волокна.

При сканировании товароведем готовой продукции бирки штрих-кода на экране терминала сбора данных отображаются данные по качеству хлопкового волокна. Программа ECAS WMS предлагает определить номер отгрузочной партии, в которую будет отнесена кипа (рис. 6).

Товаровед нажатием необходимой кнопки относит кипу к той или иной отгрузочной партии. Программное обеспечение автоматически информирует товароведа об окончании формирования отгрузочной пар-

тии (достижении лимита вагонной нормы 210...220 кип) и начале формирования новой отгрузочной партии.

Хлопковый терминал ежедневно предоставляет в ООО "Бухоро Агрокластер" информацию о принятом, отгруженном, хранящемся на терминале и инспектированном хлопковом волокне. Кроме того, информация о движении хлопкового волокна вводится в базу данных "Uzraxta-1С".

На основании полученной от хлопкового терминала информации ООО "Бухоро Агрокластер" выставляет на биржевые торги хлопковое волокно в разрезе хлопкоочистительных заводов и ассортимента. На основании имеющейся информации осуществляется также контрактация по заключенным договорам.



Рис. 7

Хлопковый терминал по окончании формирования отгрузочной партии передает номера кип в отгрузочной партии представителям Центра на хлопковом терминале. Региональная лаборатория Центра с применением информационной системы "Uzraxta-1С" оформляет на скомплектованную отгрузочную партию Акт покипного отвеса, Протокол 100% испытаний хлопкового волокна. Уполномоченный представитель в региональной лаборатории (специалист по сертификации) Центра на основании протокола испытаний оформляет сертификат соответствия с тремя его копиями-дубликатами на отгрузочную партию хлопкового волокна, регистрирует его в уста-

новленном порядке и скрепляет печатью (знаком обслуживания) региональной лаборатории.

На рис. 7 показано создание приложения к Сертификату соответствия в информационной системе "Uzraxta-1С".

При оформлении грузосопроводительных документов (счет-фактура, сертификат товаропроизводителя, сертификаты Центра с покипным отвесом, транспортная накладная, а при экспорте грузовая таможенная декларация, сертификат происхождения и фитосанитарный сертификат) указывается присвоенный идентификационный номер данной отгрузочной партии.

## ВЫВОДЫ

Внедрение системы штрихового кодирования при маркировке кип хлопкового волокна обеспечивает повышение производительности автоматизированных испытательных систем CSITC (HVI) и в целом способствует интеграции с мировым экономическим сообществом. Переход на системы учета и идентификации, принятые в мировой практике, способствует снятию барьеров для развития внешнеэкономической деятельности Республики Узбекистан. Новая система обеспечивает оперативный электронный обмен информационными данными между переработчиками, покупателями и потребителями, позволяет автоматизировать учет всей производимой продукции и упростить операции, связанные со складированием, сортированием и отгрузкой партий хлопкового волокна.

Внедрение системы формирования партий хлопкового волокна однородных по показателям качества позволяет оперативно формировать и отгружать текстильным предприятиям однородные объемы хлопкового волокна в соответствии с требуемыми характеристиками качества.

Немаловажен и тот факт, что переход на новую систему создает условия для обеспечения прослеживаемости каждой кипы хлопкового волокна, по индивидуальному сквозному номеру, начиная от хлопкового поля, вплоть до текстильного предприятия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Р.А., Усманов Х.С., Лугачев А.Е. Мировой хлопок: вчера, сегодня, завтра, December 2017, Publisher: Lap Lambert Academic Publishing ISBN: 978-620-2-06667-9, pp.5
2. Gulyaev R.A., Mardonov B.M., Lugachev A.E. Cotton fiber humidification at cotton ginneries // Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR). – Vol. 44, June 2019. P. 244...247.
3. Гуляев Р.А., Лугачев А.Е., Усманов Х.С. Современное состояние производства, переработки, потребления и качества хлопковой продукции в ведущих хлопкосеющих странах мира. – Ташкент. "Paxtasanoat Ilmiy markazi" AJ, 2017. С. 49...50.
4. Гуляев Р.А., Султонов А.А., Юнусов Р.Ф., Ракипов В.Г., Рафиков Д.Р. Разработка системы учета, сквозной нумерации и сепарирования кип хлопкового волокна на основании результатов испытаний

на инструментальных системах оценки качества // 53-я Междунар. научн.-техн. конф. преподавателей и студентов – Витебск, 22 апреля 2020 г.

5. Гуляев Р.А., Султонов А.А., Юнусов Р.Ф., Ракипов В.Г., Рафиков Д.Р. О системе учета, сквозной нумерации и сепарирования кип хлопкового волокна // 53-я Междунар. научн.-техн. конф. преподавателей и студентов. – Витебск, 22 апреля 2020 г.

6. Султонов А.А., Гуляев Р.А., Юнусов Р.Ф., Сабиров Н.М. Устройство учета и сквозной нумерации Патент на промышленный образец Республики Узбекистан SAP 01825 // Расмий ахборотнома. 29.03.2019, №3 Приоритет 20.04.2018

7. Султонов А.А., Гуляев Р.А., Юнусов Р.Ф. Автоматизированная информационная система "Uzpxhta-1C" Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан DGU 09844 // Расмий ахборотнома. - 19.12.2020, №3. Приоритет 10.11.2020.

## REFERENCES

1. Gulyaev R.A., Usmanov Kh.S., Lugachev A.E. World Cotton: Yesterday, Today, Tomorrow, December 2017, Publisher: Lap Lambert Academic Publishing ISBN: 978-620-2-06667-9, P.5
2. Gulyaev R.A., Mardonov B.M., Lugachev A.E. Cotton fiber humidification at cotton ginneries // Indian Journal of Fiber & Textile Research (IJFTR). – Vol. 44, June 2019. P. 244...247.
3. Gulyaev R.A., Lugachev A.E., Usmanov Kh.S. Current state of production, processing, consumption and quality of cotton products in the leading cotton-growing countries of the world. – Tashkent. "Paxtasanoat Ilmiy markazi" AJ, 2017. P. 49...50.
4. Gulyaev R.A., Sulstonov A.A., Yunusov R.F., Rakipov V.G., Rafikov D.R. Development of a system for accounting, end-to-end numbering and separation of cotton fiber bales based on the results of tests on instrumental quality assessment systems // 53rd Intern. scientific-technical conf. teachers and students – Vitebsk, April 22, 2020
5. Gulyaev R.A., Sulstonov A.A., Yunusov R.F., Rakipov V.G., Rafikov D.R. On the system of accounting, end-to-end numbering and separation of bales of cotton fiber // 53rd Intern. scientific-technical conf. teachers and students. – Vitebsk, April 22, 2020
6. Sulstonov A.A., Gulyaev R.A., Yunusov R.F., Sabirov N.M. Accounting device and end-to-end numbering Patent for an industrial design of the Republic of Uzbekistan SAP 01825 // Rasmiy akhborotnoma. 03/29/2019, № 3 Priority 04/20/2018
7. Sulstonov A.A., Gulyaev R.A., Yunusov R.F. Automated information system "Uzpxhta-1C" Certificate of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan DGU 09844 // Rasmiy akhborotnoma. - 12/19/2020, № 3. Priority 11/10/2020.

Рекомендована научным советом. Поступила 01.12.21.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА СВОЙСТВ  
ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ**  
**RESEARCH AND EVALUATION OF COTTON FIBER PROPERTIES  
IN TECHNOLOGICAL PROCESSES**

*К. ЖУМАНИЯЗОВ, С.Т. ТОЖИМИРЗАЕВ, М.Р. МУМИНОВ*

*K. JUMANIYAZOV, S.T. TOJIMIRZAEV, M.R. MUMINOV*

**(АО "Paxtasanoat ilmiy markazi", Республика Узбекистан,  
Наманганский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан)**

**("Paxtasanoat Ilmiy Markazi" JSCO, Republic of Uzbekistan,  
Namangan Institute of Engineering and Technology, Republic of Uzbekistan)**

E-mail: Sanjar.tojimirzaev@gmail.com

*В статье обсуждаются свойства волокна, являющиеся факторами, определяющими качество и свойства пряжи. Хлопковое волокно, физические свойства которого варьируются в зависимости от региона выращивания, по-прежнему является очень распространенным волокном, используемым в текстильной промышленности. Такие свойства, как длина, тонина, равномерность и ворсистость, прочность и зрелость волокна, влияют на прочность пряжи. В данном исследовании в качестве сырья использовались четыре различных смеси хлопка селекционных сортов "Андажан-35", "Порлок-2", "С-6524", "Бухоро-6", из которых выпрядалась компактная пряжа линейной плотности 20 текс. Свойства волокна по параметрам AFIS являются определяющими факторами для каждого типа смеси, начиная от разрыхления, очистки до 2-го перехода ленточной машины, для этапов переработки пряжи и оборудования прядения.*

*Кроме того, проведенные испытания по USTER подтвердили, что неравномерность, прочность, пороки, ворсистость пряжи, произведенной из различных смесей хлопка, статистически различаются.*

*The article discusses the properties of the fiber, which are the factors that determine the quality and properties of the yarn. Cotton fiber - whose physical properties vary by region, is still a very prevalent fiber used in the textile industry. Properties such as length, fineness, uniformity and hairiness, fiber strength and maturity affect the strength of the yarn. In this scientific study, four different blends were used as raw materials - cotton (Selection varieties: "Andijan-35", "Porlok-2", "S-6524", "Bukhoro-6"), which were spun into compact Ne 30 separately. The AFIS fiber properties are decisive factors for each type of blend, from opening, cleaning and up to the 2nd pass of the draw frame, for the yarn processing and spinning equipment steps.*

*In addition, the tests carried out by USTER have confirmed the opinion that the parameters; unevenness, tenacity, yarn flaws, and hairiness of yarns made from different cotton blends are statistically different.*

**Ключевые слова:** селекционные сорта хлопка, свойства хлопкового волокна, свойства компактной пряжи, короткие волокна, индекс показателя прядения (SCI), прядильный процесс, непс, пороки.

**Keywords: selection cotton, cotton fiber properties, compact yarn properties, short fiber, spinning index (SCI), spinning process, neps, defects.**

### *Введение*

Несмотря на сокращение доли на мировом рынке волокна, хлопок по-прежнему остается одним из самых важных натуральных видов сырья, с его высокой потребностью и расходом. Исследователи и производители хлопка должны решать следующие основные проблемы, определяющие качество хлопкового волокна: зрелость, тонины (микронейр), засоренность, клейкость – ("медовая роса"), содержание коротких волокон (SFC), фрагменты семенной оболочки (SCNep) и содержание узелков Neps [1].

Бюллетень Uster Statistics за 2018 год подразумевает, что значение Neps является наиболее важным параметром качества хлопкового волокна, который дополнительно используется для определения эффективности качества джинирования, чесания и гребнечесания и даже для оценки качества ткани [2].

Измерительные инструменты HVI и AFIS обычно используются для оценки качества хлопкового волокна. Система HVI (High Volume Instrument) была разработана для измерения свойства волокна из пробы волокна в размере 10 г, в то время как прибор AFIS был создан для измерения одиночного волокна в количестве 1 г. Базовые измерения HVI включают длину волокна, однородность длины, прочность пучка, удлинение, микронейр, цвет и содержание сорных примесей, в то время как инструмент AFIS измеряет длину волокна, тонины, зрелость, содержание короткого волокна, содержание незрелого волокна, непс на грамм, процент пыли и сорных примесей [3...5].

Есть большая взаимосвязь между качеством сырья и конечным продуктом. Высокое качество хлопка обеспечивает высокое качество пряжи без соблюдения условий процесса. Хлопок подвергается многочисленным воздействиям (механическим, аэродинамическим и т.д.) в процессах переработки, начиная от сбора урожая до конечного продукта. Все эти процессы влияют на свойства волокон хлопка, а также на свойства пряжи [6].

В литературе зарубежных, российских и также узбекских ученых можно встретить много исследований, связанных с анализом свойств волокна по оценке относительного вклада каждого свойства волокна в общую характеристику пряжи [2], [5...7].

Отчет Международного комитета производителей текстиля и Международной федерации методов по тестированию хлопка (ITMF, ICSTM) предполагает, что узелки волокон (Neps), содержание коротких волокон (SFC), пыль и сорные примеси, зрелость и липкость являются важными параметрами волокна. Влияние Neps (узелки волокон) на качество волокна особо отмечено, как наиболее влиятельное (отрицательное) свойство волокна [7].

Целью данного исследования является изучение влияния оборудования для переработки смеси волокон на свойства компактной пряжи, на ее равномерность (U%), прочность (Rkm), дефекты (IPI) и ворсистость (H).

Первая часть исследования включает анализ изменений значения AFIS на этапах переработки пряжи, а вторая часть состоит из статистической оценки волокна и свойств пряжи.

### *Материалы и методы*

Были изготовлены четыре различных смеси 100%-ного хлопка селекционных сортов в качестве сырья (№1 "Андижан-35", №2 "Порлок-2", №3 "С-6524", №4 "Бухоро-6"). Все образцы были испытаны в лабораторных условиях, относительная влажность  $65 \pm 4\%$  и температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  [8].

Производство пряжи осуществлялось с использованием производственной линии переработки кардной компактной пряжи на ООО "URG TEX". Хлопковые волокна сначала проходили этапы разрыхления и очистки на POA (разрыхлительно-очистительные агрегаты) с парком оборудования фирмы TRÜTZSCHLER (Германия): BOA, SP-MF, CL-P, MX-U, CL-U. После рыхления и очистки чесальная машина марки TC 15 использовалась для производства чесальной ленты. Известно, что после про-

цесса чесания остаются неравномерные волокна и волокна с “крючками” на концах. Для улучшения выравнивания волокон и равномерности чесальной ленты лента после сложения вытягивалась на ленточной машине (Trutzschler TD 9, Германия). Лента с первого перехода подавалась на 2-й переход ленточной машины TD 10, а затем ленту перерабатывали в ровницу на ровничной машине Zinser 5A (Германия) и наконец получали компактную пряжу на прядильной машине Zinser 72 Impact XL.

Т а б л и ц а 1

Название параметров	Параметры
Подача настила, г/м	500
Частота вращения приемного барабана, мин <sup>-1</sup>	1250
Частота вращения главного барабана, мин <sup>-1</sup>	520
Скорость шляпок, мм/мин	320
Скорость выпуска, м/мин	200
Количество шляпок в движении	99
Разводки между главным барабаном и шляпками (в пяти положениях от задней к передней части)	положение 1: 0,250 положение 2: 0,250 положение 3: 0,220 положение 4: 0,220 положение 5: 0,200

Все образцы хлопкового волокна были выпрядены в компактную пряжу линейной плотности 20 текс с одинаковым коэффициентом крутки при идентичных условиях прядения, как указано в табл. 1 (технологический процесс на чесальной машине) и табл. 2 (основные технологические параметры прядильного процесса).

$$SCI = -414,67 + 2,9Str - 9,32Mic + 49,17UHML + 4,74UI + 0,65Rd + 0,36(+b), \quad (1)$$

где SCI – коэффициент прядомости волокна; Str – прочность волокна; Mic – микро-нейр волокна; UHML – верхняя средняя длина в дюймах; UI – индекс однородности; Rd – уровень отражения света; (+b) – желтизна волокон хлопка.

Индекс коротких волокон (SFI) – еще один полезный показатель для прогнозиро-

$$Z = 384,3966 - 120,379X - 6,7003Y + 12,4901X \cdot 2 + 0,02957Y \cdot 2 + 1,0306XY, \quad (2)$$

Т а б л и ц а 2

Наименование	Параметры
	T=20 текс
Линейная плотность ленты, ктех	5,15
Сложение 1 переход TD 9	8
Сложение 2 переход TD 10	6
Линейная плотность ровницы, тех	740
Крутка ровницы, кр/м	44
Частота вращения веретен, мин <sup>-1</sup>	18000
Крутка пряжи, кр/м	780
Система вытяжного прибора Zinser 72 Impact XL	3*3 Compact
Вытяжка(прядение)	37,5

#### Измерение свойств волокна и пряжи

Каждая группа смеси образцов хлопка-волокна подверглась испытаниям на лабораторном оборудовании AFIS PRO [9] и HVI 1000 [10]. Изучались изменения свойств волокон по переходам на стадии переработки волокна (например, микро-нейр, индекс пригодности для прядения, значения SCI, прочность и т.д.). Свойства пряжи на разрыв оценивали на испытательной машине Uster Tenso-Jet 5 (Швейцария). Тесты на неравномерность и ворсистость проводились на Uster Tester 5 (Швейцария).

Индекс пригодности для прядения (SCI) – это очень важный параметр, получаемый на приборах HVI, который дает информацию о качестве и прядильной способности волокна [11]:

SCI определяется как уравнение регрессии:

вания качества пряжи. SFI оценивается с использованием значений измерения HVI для длины и индекса однородности, как показано в уравнении (2). Ранее SFI рассчитывали с помощью данных фиброграммы волокна с использованием механизмов первого порядка перекрытий 2,5% SL и 50% SL:

где  $Z$  – значение индекса коротких волокон (SFI);  $X$  – длина волокна по HVI;  $Y$  – индекс однородности.

Neps – одно из нежелательных свойств хлопкового волокна, возникающее в результате инородной материи и запутанных коротких и мертвых волокон в смеси хлопка. Присутствие непсов в смеси вызывает причины к возникновению коротких толстых мест в пряже, что в итоге приводит к неровному внешнему виду ткани [9].

Слабые места пряжи обычно наблюдаются в промежутке границ плохо параллелизованных, с низкой ориентацией волокон, возникающей из-за высокого количества непсов. Uster Technologies дает краткую классификацию содержания пороков

для средневолокнистого хлопкового волокна, определенного с помощью прибора AFIS, как показано в табл. 3 (классификация количества непсов согласно Uster Technologies).

Для изучения изменений в свойствах волокна по переходам образцы были отобраны после каждой линии машин preparatory процесса прядения: Blendomat BOA, SP-MF, CL-P, MIX-U, SF-C, Direct Feed, конденсор 1, чесальная машина, 1-й переход ленточных машин, 2-й переход ленточных машин, ровничная машина. Затем образцы смеси хлопка и волокнистой ленты протестировали на приборе AFIS для оценки влияния машин на свойства волокон.

Таблица 3

Общее количество узелков (непсов), шт./г	Кожица семян с волокном, шт./г	Классификация содержания непсов в волокне
<100	<10	очень низкая
101...200	11...20	низкая
201...300	21...30	средняя
301...450	31...45	высокая
>451	>46	очень высокая

Образцы волокна были случайным образом отобраны из 15 различных кип каждой смеси, а средние результаты AFIS при-

ведены в табл. 4 (параметры качества смеси хлопкового волокна (данные AFIS)).

Таблица 4

Параметры	SCI индекс пригодности к прядению	Total Nep Cnt [Cnt/g] общее кол-во узелков	Fiber Nep Cnt [Cnt/g] волоконные узелки	SCNep Count [Cnt/g] узелки с кожицы семян	SFC (w) % 0.5in короткие волокна	5% L(n) [in] длина волокна	Fine ness [mtex] тонина	Maturit y Ratio зрелость	
	Uster Statistics-2018	5%	180	103	97	4,7	2,8	33/34	177
	25%	163	160	151	8,7	4,3	33/34	170	0,92
	50%	130	237	224	13	5,7	33/34	162	0,89
№1 (Андижан-35)		119	302	277	25	10,4	33,5	192	0,82
№2 (Порлок-2)		136	198	185	13	5,3	35,3	177	0,91
№3 (С-6524)		129	239	220	19	7,2	33,8	169	0,87
№4 (Бухоро-6)		131	232	212	20	6,8	34,6	165	0,89
Параметры	MIC	UQL (mm)	UI	ML (mm)	Str cN/tex	Rd	IFC [%]	UR (%)	
№1 (Андижан-35)	4.96	28.2	79,65	23,6	27,5	76,52	5,7	46,5	
№2 (Порлок-2)	4.48	31.2	83,11	25,2	30,26	80,1	4,8	50,0	
№3(С-6524)	4.75	28.8	80,21	24,3	28,54	78,85	4,9	47,6	
№4 (Бухоро-6)	4.66	29.1	81,42	24,8	29,95	79,46	6,0	48,8	

Из табл. 4 можно определить значения SFC, которые показывают соотношение волокна длиной 0,5 дюймов (12,7 мм). Максимальное значение у смеси №1, тогда как минимальное значение SFC получено для смеси №2. Также было отмечено, что базовые значения SFC(n) различаются от 4...12% для дженированного волокна. Короткие волокна нежелательны в процессе прядения и трудно удаляются в процессе чесания. Для их удаления потребуется умеренное чесание, что в итоге может привести к увеличению отходов и снижению выхода продукта, а также отрицательно отразится на качестве пряжи по неровноте и относительной прочности (Rkm).

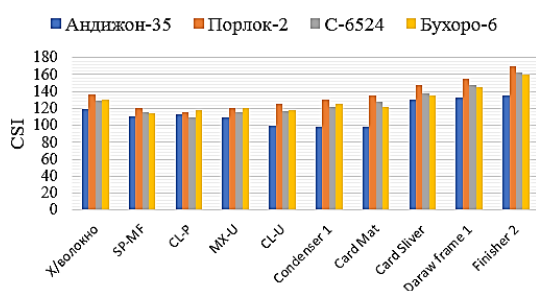


Рис. 1

На рис. 1 показаны значения SCI для хлопка по переходам для всех видов смеси. Значения показателя SCI колеблются в определенном интервале для каждой смеси хлопка и не отмечается резких изменений, вплоть до процесса кардочесания. Процесс кардочесания приводит к явному улучшению хлопковой смеси №2, уровень SCI смеси увеличивается со 133 до 150, а уровень смеси №4 со 128 до 143, тогда как две другие смеси не показывают такого увеличения. Улучшение показателя SCI стало возможным в результате интенсивного удаления коротких волокон из смеси хлопка. После процесса кардочесания остальное технологическое оборудование помогает улучшить общее значение SCI для каждой из четырех смесей. В конце технологической линии для ленты с ленточной машины 2-го прохода самое высокое значение SCI наблюдается в смеси №2, в следующих смесях №3, №4 и №1 значение SCI наблюдается в последовательном порядке.



Рис. 2

Обычно, когда линейная плотность волокна низкая, жесткость пряжи высокая, а неровнота низкая. Таким образом, небольшая величина микронейра приводит к улучшению качества пряжи (рис. 2 – влияние характеристики микронейра на прочность пряжи (P<sub>сН</sub>) и удельную разрывную нагрузку (R<sub>км</sub>), сН/текс).

Связь между значением микронейра и линейной плотностью волокна выражается следующей формулой:

$$T = \frac{\text{Mic}}{25,4} \cdot 1000, \quad (3)$$

где T – линейная плотность волокна, мтекс; Mic – микронейр волокна.

При разработке свойств пряжи и выборе типов хлопкового волокна важно учитывать значение микронейра. Хлопковое волокно с высоким индексом микронейра приводит к уменьшению количества волокон в поперечном сечении пряжи, что, в свою очередь, влияет на ухудшение показателей качества пряжи на последующих переходах. Количество волокон в поперечном сечении пряжи можно определить по следующей формуле, предложенной SITRA (Индия):

$$n = \frac{5315}{\text{Mic} \cdot 0,354 \cdot \text{Ne}} \text{ или } n = \frac{15000}{\text{Mic} \cdot \text{Ne}}, \quad (4)$$

где Mic – микронейр волокна; Ne – английский номер пряжи; 5315 – поправочный коэффициент между системой номеров.

Степень зрелости хлопкового волокна является важным показателем свойств, и его определение является очень трудоемким процессом. Эта работа может быть выполнена в основном в исследовательских



центрах или учреждениях. Поэтому применение индекса микронейра хлопкового волокна на основе альтернативных решений важно при планировании свойств пряжи. Чтобы определить микронейр, опыт займет всего лишь несколько секунд.

Величина микронейра волокон влияет на изменение количества волокон в поперечном сечении пряжи. Базовая величина микронейр варьируется в диапазоне от 3,2 до 5,9. Проведенные анализы показывают, что содержание числа волокон от 119 до 140, (в диапазоне Mic 3,6...4,2) в поперечном сечении пряжи с линейной плотностью от 18,5 до 20,0 текс дает улучшение физико-механических свойств пряжи, и обрывность в процессе прядения уменьшается, что повышает производительность технологического оборудования.

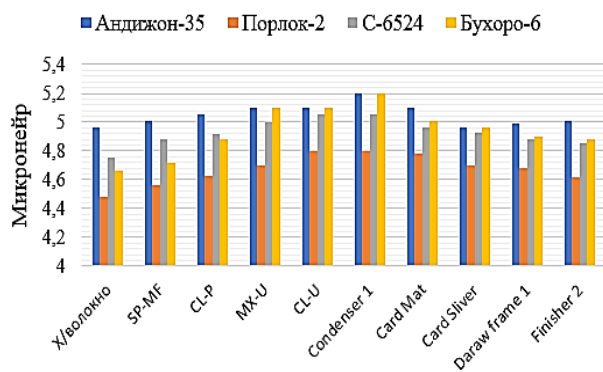


Рис. 3

На рис. 3 показаны значения микронейров всех хлопковых смесей, начиная с кипы. Микронейр – один из самых важных характеристик волокна, так как этот параметр напрямую влияет на прядильную способность и прочность пряжи, а также на свойства ткани, произведенной из этой пряжи [6], [10].

Процесс чесания приводит к явному улучшению хлопковой смеси № 2, которая имеет наименьшее значение микронейра среди всех четырех смесей хлопка. Уровень микронейров в смеси №1, №3 и №4 колеблется в относительно узком диапазоне по сравнению со смесью №2. Значение микронейра смеси №1 показывает наибольшее увеличение, как результат интенсивного удаления коротких волокон чесальной ма-

шиной. Самое высокое значение по микронейрам было получено в смесях №1 и №4.

Индекс однородности (UI) – это соотношение между средней длиной (ML) и верхней средней длиной волокон (UHML), выраженная в процентах. UI влияет на неровноту по Устер и прочность пряжи, а также на эффективность процесса прядения. Это также связано с содержанием коротких волокон (содержание коротких волокон меньше 1/2 дюйма – SFC). Хлопок с низким индексом однородности, вероятно, будет иметь высокий процент коротких волокон. Такой хлопок будет трудно переработать и есть вероятность производства некачественной пряжи [3...5].

На рис. 4 показаны значения UI для всех видов смесей хлопка, начиная от кипы хлопка до ленты 2-го перехода включительно.

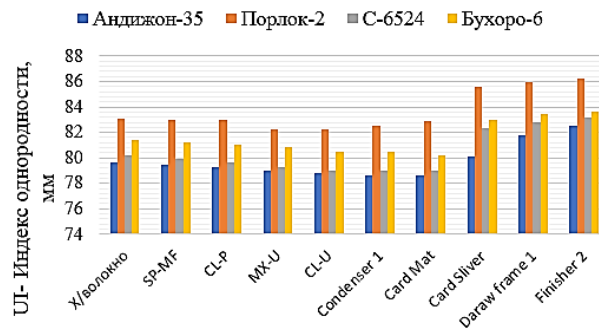


Рис. 4

Значения UI демонстрируют некоторые колебания до 1-го прохода ленточной машины, после чего наблюдается общая тенденция к увеличению значений UI. Процесс расчесывания приводит к явному улучшению хлопковой смеси №1, которая имеет самое низкое значение UI (мм) среди всех четырех смесей хлопка.

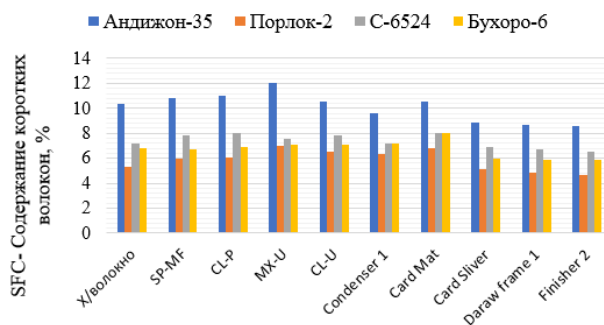


Рис. 5

Значения UI смесей №2, №3 и №4 колеблются в относительно узком интервале по сравнению со смесью №1. Но у смеси №2 видны очень большие преимущества.

На рис. 5 показаны значения содержания коротких волокон (SFC) для всех смесей хлопка волокна по переходам, начиная от кипы. Эти короткие волокна напрямую влияют на неровноту чесальной ленты [U%], а также на конечный продукт. При оптимальной скорости приемного барабана короткие волокна удаляются в шляпочные очесы, из-за этого U% чесальной ленты может улучшиться.

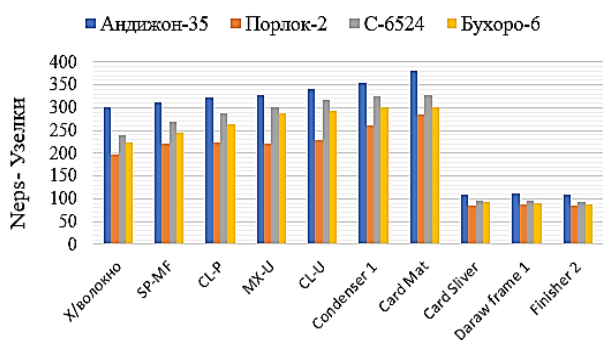


Рис. 6

Смесь хлопка-волокна №1 имеет самые высокие значения SFC по всем технологическим переходам. Процесс чесания вызывает явное улучшение значений SFC для смеси хлопка-волокна №2. В конце 2-го перехода ленточной машины наивысшее значение SFC было получено для смеси №1.

Предварительная переработка хлопка-волокна на линии разрыхления и очистки приводит к увеличению количества неспов, что может быть связано с внешними механическими факторами, связанными с рабочими органами машин, влияющих на волокно, а также с пневмотранспортом волокон между технологическими переходами [9]. В процессе разрыхления и очистки волокон увеличивается количество узелков, а волокна укорачиваются. Это можно объяснить тем, что в процессе разрыхления и очистки волокна подвергаются воздействию ударов колковых и игольчатых барабанов, что приводит к измельчению больших сорных примесей, а также зажгучиванию волокон в узелки и таким образом про-

являются пороки. Эти узелки могут создать основную проблему в готовой пряже, что повлияет на увеличение значения IPI [10]. Критерий IPI представляет собой общее количество дефектов пряжи, показатель общей суммы; толстых, тонких мест и узелков (непс) пряжи на длине 1000 метров. Показатели IPI для пряжи: толстые места (+50%) – толстые участки, тонкие места (-50%) – тонкие участки, узелки – Непс (+200%).

Согласно рис. 6 минимальное содержание неспов принадлежит смеси №2, тогда как максимальное количество неспов показано у смеси №1. Тем не менее, на 2-м переходе ленточных машин наибольшее количество неспов было получено в смеси №2 и далее в смесях №3, №4 и №1, в последовательном порядке.

Можно сказать, что механическое воздействие каждой машины влияет на количество неспов в смеси.

## ВЫВОДЫ

Хлопковое волокно для Республики Узбекистан считается стратегическим ценным товаром и не экспортируется. Выращенное хлопковое волокно за последние 10 лет имеет завышенный индекс микронейр – от 4.6 до 5.0, что затрудняет переход к росту качества в прядильном производстве. Этот феномен наблюдается во всем мире и требует выведения новых селекционных сортов хлопчатника. Новые сорта хлопкового волокна "Порлок-1", "Порлок-2" в эти дни могут соответствовать требуемым критериям для хлопкопрядения. На сегодняшний день "Порлок" является единственным сортом сельскохозяйственных растений, созданным с применением геной инженерии обладающим уникальными качественными свойствами, дающим более тонкие показатели волокон (низкий микронейр, Mic) и более длинные волокна с повышенной прочностью.

Для планирования качественных характеристик пряжи необходимо учитывать два фактора, непосредственно влияющие на качество пряжи: свойства волокна и их изменение по переходам, а также заправочные параметры технологического оборудова-

ния. Взаимосвязь между этими факторами играет большую роль в процессе производства при выпуске качественной продукции.

Использование новой технологии в процессе прядильного производства еще не означает, что в итоге мы получим качественный продукт. В переходный период, когда используется морально устаревшее технологическое оборудование и вводится новое, более совершенное оборудование, необходимо учитывать оптимизацию параметров рабочих органов машин для новых сортов хлопка-волокна селекции "Порлок-1" и "Порлок-2".

Результаты проведенных нами исследований показывают влияние свойств различных смесей хлопка на свойства пряжи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tojimirzayev S.T., Khudayberdiyeva D.B., Parpiyev H. and Erkinov Z. Influence of short fibers on the quality characteristics of the product, yield of yarn and waste of cotton fiber // International Journal of Innovation and Scientific Research. – Vol. 6, №1, Aug. 2014. P. 44...49. ISSN 2351-8014. <http://www.ijisr.issr-journals.org/>

2. Faulkner W.B., Hequet E.F., Wanjura J., Boman R. Relationships of cotton fiber properties to ring-spun yarn quality on selected High Plains cottons // Textile Research Journal. – 82(4), 2012. P.400...414.

3. Jumaniyazov K., Egamberdiev F.O., Abbazov I.Z. Temirova G.U. The Effect of Crop Type on Cotton Quality Indicators// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – Vol. 7, Is. 5, May 2020 13510-13518 <http://www.ijarset.com/upload/2020/may/03-Fazliddin-04-modified.pdf>

4. USTER® News BULLETIN magazine, 2014, No. 50, 41

5. Gizem Karakan Günaydin, Ali Serkan Soydan, Sema Palamutçu. Evaluation of Cotton Fibre Properties in Compact Yarn Spinning Processes and Investigation of Fibre and Yarn Properties, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2018; 26, 3(129): 23-34. DOI: 10.5604/01.3001.0011.7299

6. Kumar A., Ishtiaque S.M., Mukhopadhaya A. Impact of carding parameters and draw frame speed on migration characteristics of ring spun yarns // *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. – 6(2010) 1-8.

7. Gordon S. Cotton fibre quality. In Gordon S, Hsieh YL, editors. *Cotton // Science and technology*. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited. – 2007. P.68...100

8. ASTM D1776:2004. Standard practice for conditioning textiles for testing

9. Парпиев Х. и др. Влияние микронейра хлопкового волокна на качество пряжи // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. – 2017, №1. С. 358...362. <https://smartex2.ivgpu.com/wp-content/uploads/2019/08/358-362.pdf>

10. Tojimirzaev Sanjar Turdialiyevich; Parpiyev Khabibulla. The Influence Of Top Flat Speed Of Carding Mashine On The Sliver And Yarn Quality // *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. – 7, 7, 2020, 789-797. [https://ejmcm.com/article\\_3287.html](https://ejmcm.com/article_3287.html)

11. Тожимирзаев С.Т., Парпиев Д.Х., Омонов М. Исследование изменений свойств волокон по переходам в процессе прядения // *Универсум: технические науки*. – 2020, № 6(75\_2) 25 июня, 2020. С50...55. / ISSN: 2311-5122

12. Instruments: Uster Technologies. [Online]; 2011 [cited 2017 6 7. Available from: <https://www.uster.com/en/instruments/fiber-testing/uster-afis-pro/>

13. Худайбердиева Д.Б. и др. Комплексная оценка физико-механических свойств хлопкошелековых смесевых пряж из новых сортов хлопкового волокна // *Изв. вузов, Технология текстильной промышленности*. – 2021, №3. С 85...90.

#### REFERENCES

1. Tojimirzayev S.T., Khudayberdiyeva D.B., Parpiyev H. and Erkinov Z. Influence of short fibers on the quality characteristics of the product, yield of yarn and waste of cotton fiber // International Journal of Innovation and Scientific Research. – Vol. 6, №1, Aug. 2014. P. 44...49. ISSN 2351-8014. <http://www.ijisr.issr-journals.org/>

2. Faulkner W.B., Hequet E.F., Wanjura J., Boman R. Relationships of cotton fiber properties to ring-spun yarn quality on selected High Plains cottons // *Textile Research Journal*. – 82(4), 2012. P.400...414.

3. Jumaniyazov K., Egamberdiev F.O., Abbazov I.Z. Temirova G.U. The Effect of Crop Type on Cotton Quality Indicators// *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. – Vol. 7, Is. 5, May 2020 13510-13518 <http://www.ijarset.com/upload/2020/may/03-Fazliddin-04-modified.pdf>

4. USTER® News BULLETIN magazine, 2014, No. 50, 41

5. Gizem Karakan Günaydin, Ali Serkan Soydan, Sema Palamutçu. Evaluation of Cotton Fibre Properties in Compact Yarn Spinning Processes and Investigation of Fibre and Yarn Properties, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2018; 26, 3(129): 23-34. DOI: 10.5604/01.3001.0011.7299

6. Kumar A., Ishtiaque S.M., Mukhopadhaya A. Impact of carding parameters and draw frame speed on migration characteristics of ring spun yarns // *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. – 6(2010) 1-8.

7. Gordon S. Cotton fibre quality. In Gordon S, Hsieh YL, editors. *Cotton // Science and technology*. –

Cambridge: Woodhead Publishing Limited. – 2007. P.68...100

8. ASTM D1776:2004. Standard practice for conditioning textiles for testing

9. Parpiev H. et al. Influence of cotton fiber micronaire on the quality of yarn //Fizika voloknistykh materialov: struktur, svoistva, hi-tech technologies and materials (SMARTEX). - 2017, № 1. P. 358...362. <https://smartex2.ivgpu.com/wp-content/uploads/2019/08/358-362.pdf>

Tojimirzaev Sanjar Turdialiyevich; Parpiev Khabibulla. The Influence Of Top Flat Speed Of Carding Mashine On The Sliver And Yarn Quality // European Journal of Molecular & Clinical Medicine. – 7, 7, 2020, 789-797. [https://ejmcm.com/article\\_3287.html](https://ejmcm.com/article_3287.html)

10. Tozhimirzaev S.T., Parpiev D.Kh., Omonov M. Study of changes in the properties of fibers by transitions during spinning // Universum: technical sciences.

- 2020, № 6(75\_2) June 25, 2020. P.50...55. / ISSN: 2311-5122

11. Tozhimirzaev S.T., Parpiev D.Kh., Omonov M. Investigation of changes in the properties of fibers along transitions in the spinning process // Universum: technical sciences. – 2020, No. 6(75\_2) June 25, 2020. P/50...55.

12. Khudaiberdieva D.B. Comprehensive assessment of the physical and mechanical properties of cotton-silk blended yarns from new varieties of cotton fiber // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 3. P/85...90.

Рекомендована кафедрой технологии изделий текстильной промышленности НИТИ. Поступила 14.12.21.

УДК 677.21.051

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_170

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ, ПЛОТНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ДВИЖЕНИИ ХЛОПКА-СЫРЦА В ЗОНЕ ОЧИСТКИ ОЧИСТИТЕЛЯ ХЛОПКА

## STUDYING THE LAW OF DISTRIBUTION OF SPEED, DENSITY AND PRESSURE DURING STATIONARY MOTION OF RAW COTTON IN THE PURIFICATION AREA OF COTTON CLEANER

*P. ROSULOV*

*R. ROSULOV*

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Kazakhstan)

E-mail: rasulov.ruzimurad@mail.ru

*В статье теоретически исследуются изменения давления, плотности и скорости хлопка-сырца после его прохождения через каждый колосник, когда поток хлопка-сырца подвергается воздействию системы колосников. Определено распределение расхода хлопка в зоне очистки при различных значениях производительности, распределения плотности потока хлопка при различных значениях производительности в зоне очистки, а также распределение давления в хлопковом потоке в зоне очистки при различных значениях. Определены параметры давления между первым и вторым колосниками, а также скорость потока между колосниками. Найденны максимальные значения давления при использовании при различных значениях коэффициента и относительной погрешности.*

*The article theoretically investigates the changes in pressure, density and speed of raw cotton after it passes through each grate, when the flow of raw cotton is exposed to the system of grates. The distribution of cotton consumption in the cleaning zone at different values of productivity, distribution of cotton flow density at different values of productivity in the cleaning zone, as well as the distribution of pressure in the cotton flow in the cleaning zone at different values has been determined. The parameters of the pressure between the first and second grades, as well as the flow rate between the grates are determined. The maximum values of pressure are found when used at various values of the coefficient and relative error.*

**Ключевые слова:** летучка, колосниковая решетка, давление, плотность, скорость, распределение плотности потока хлопка, производительность.

**Keywords:** fly, grate, pressure, density, speed, cotton flow density distribution, productivity.

#### *Введение*

К настоящему времени имеются различные способы и устройства для удаления сорных примесей из хлопка-сырца.

Анализ конструкций отечественных и зарубежных очистителей хлопка-сырца [1] показал, что основными рабочими органами очистителей являются барабаны с установленной на них пильчатой гарнитурой. Очистка осуществляется путем захвата летучек хлопка-сырца зубьями пил рабочих органов и протаскиванием их по поверхности колосниковой решетки.

В работе [2] на основе теоретических и экспериментальных исследований были обоснованы основные рабочие параметры очистителей, в дальнейшем эти параметры были использованы при конструировании новых очистительных машин.

В работе [3] приведено описание основных типов машин первичной обработки хлопка-сырца, в частности, очистителей от крупного сора, подробно дана методика инженерных расчетов рабочих элементов.

В работе [4] доказано, что для отбора крупного сора под пильчатыми барабанами применялись различные устройства (лопастные барабаны, притирочные щетки и т.д.), которые являлись неэффективными.

В работе [5] обосновываются параметры основных рабочих органов очистителя, а именно: диаметр и окружная скорость пильчатого барабана; угол наклона колосников и их количество; зазор между колосниками и барабаном; профиль зуба. В этой

же работе с использованием уравнений Кеннига и Лагранжа второго рода была выведена формула для определения возникающих ударных импульсов при ударе летучек о колосники с учетом отклонения летучки, захваченной зубом пилы между двумя соседними колосниками. Диаметр пильчатого барабана выбирается исходя из того, что сила удара летучек о колосники при различных диаметрах пильчатого барабана получается различной. С учетом сил сцепления летучек на зубьях пил и значением сил удара, окружную скорость барабана рекомендуется брать равной 7 м/с, а колосники устанавливать рабочей гранью 12 мм под углом 145...150° к радиусу пильчатого барабана.

Авторами [6] изучены вопросы параметров удара при взаимодействии летучки с поверхностью колосника.

В работах [7], [8] изучено взаимодействие летучек и долек хлопка - сырца с пильчатой гарнитурой барабана и притирочной щеткой в модуле очистки, а также предложены разработки для повышения их эффективности в эксплуатации.

Ударный процесс взаимодействия летучки хлопка-сырца с колосниками в рабочей зоне модуля очистки рассмотрен в работе [9], где экспериментальным путем исследованы и получены параметры удара при взаимодействии летучки с поверхностью колосника. Эта работа позволила подойти к разработке новых, эффективных, профилей колосниковых решеток.

Из анализа исследований, проведенных в США [10], видно, что зарубежные исследователи изучали вопросы совершенствования конструкций очистителей, их рабочих органов, скорости вращения рабочих органов и так далее.

Автором в своих исследованиях определено влияние жесткости крепления колков очистителя хлопка-сырца на очистительный эффект [11].

Значительные теоретические и экспериментальные исследования процессов взаимодействия частицы хлопка с различными профилями колосников проведены в работе Муродова О. [12].

Автором установлено [13...15], что применение колковых барабанов на упругом основании в очистителях хлопка-сырца увеличивает очистительный эффект очистителя.

#### Методы

В статье теоретически исследуются изменения давления, плотности и скорости хлопка-сырца после его прохождения через каждый колосник, когда поток хлопка-сырца подвергается воздействию системы колосников. Для моделирования этого процесса принимались следующие допущения.

1. Движение среды и потока массы хлопка-сырца стационарны, и в этом случае производительность потока постоянна в зоне, где расположены колосники, и примеси, выделяемые из потока, не влияют на производительность.

2. Движение потока между колосниками предполагается одномерным.

3. Радиус колосников увеличивается по дуге, в которой они расположены, при сохранении расстояния между ними.

4. Произвольный колосник находится в контакте с хлопковым потоком (окружающей средой), и погружение столбца хлопка в окружающую среду определяется согласно закону Герца или экспериментально. Обозначим скорость, давление и плотность (параметры) потока между каждым колосником через  $v_i$ ,  $p_i$  и  $S_i$  поверхность колосника соответственно. ( $i = 1..n$ )  $n$  – количество колосников.

Определяем параметры давления между первым и вторым колосниками.

Пусть исходные параметры текущие (кроме зоны колосника), и пусть  $\rho_0, V_0, h_0$  и  $S$ , а также толщина потока  $h$  будут параметрами до взаимодействия с первыми колосниками, тогда производительность потока равна  $Q_0 = \rho_0 v_0 h_0 L$ , где  $L$  – длина барабана.

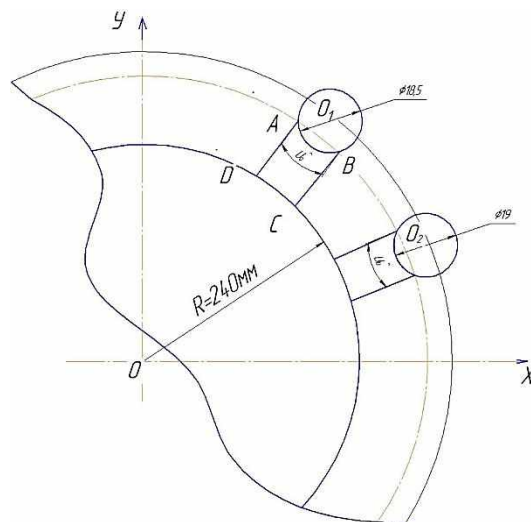


Рис. 1

Зона взаимодействия с первыми колосниками, в которой мы определяем параметры потока, равна ABCD. Начало координат поместим в точку О (рис. 1 – схема взаимодействия хлопка-сырца с первым колосником).

Произвольная поверхность АВ определяется по следующей формуле:

$$S = (h_0 - u_0 + \frac{x^2}{2R_0})L \quad -x_0 < x < x_0, \quad (1)$$

где  $h_0$  – начальная толщина хлопка-сырца;  $x_0 = \sqrt{2u_0R_0}$ ,  $u_0$  – максимальное погружение колосника в поток, величина определяется экспериментально по закону Герца [16];  $R_0$  – радиус колосника. Построим уравнение при условии стационарного движения отделенного элемента АВ:

$$-[Sp + d(Sp)] + Sp - qLdx = \rho v Sdv, \quad (2)$$

где  $q = fp$  – боковое давление;  $\rho$  – плотность хлопка;  $p$  – давление хлопка;  $v$  – скорость.

Учитывая уравнение  $S = b(x)L$  и  $qdx$  в уравнение (2), получаем следующее уравнение:

$$\rho v b \frac{dv}{dx} = -\frac{d(pb)}{dx} - kfp, \quad (3)$$

где  $b = (h_0 - u_0 + \frac{x^2}{2R_0})$ ,  $f = f_1 + f_2$ ,  $f_1, f_2$  – коэффициенты трения соответственно между хлопком и барабаном и колосниками.

Уравнение (3) содержит неизвестные  $\rho, v, p$ , мы воспользуемся двумя условиями.

Первое – это стационарное состояние потока хлопка.

$$\rho v b = \rho_0 v_0 b_0 = Q_0 / L, \quad (4)$$

где  $Q$  – производительность машин;  $V_0$  – начальная скорость летучки.

Второе условие – уравнение состояния среды должно быть подходящим.

Для этого берем соотношение между давлением и плотностью. Согласно работам [1], [2] при малых значениях давления ( $p \leq 10^5$  Па) уместна линейная связь между ними:

$$\rho = \rho_0 [1 + B(p - p_0)], \quad (5)$$

где  $p_0$  – начальное давление хлопка-сырца;  $B$  – опытный коэффициент.

Используя связи (4) и (5), определяем выражение для давления по скорости:

$$p = p_0 + \frac{1}{B} \left( \frac{v_0 h_0}{vb} - 1 \right), \quad (6)$$

$$\left(1 - \frac{c^2}{v^2}\right) \frac{dv}{dx} = -\frac{c^2}{v_0 b_0} \left[ b' + fk(p_0 B - 1) \right] - \frac{c^2 fk}{vb}.$$

Если мы подставим выражение  $b' = x/R_0$  в это уравнение, получим:

$$\frac{dv}{dx} = -\frac{c^2}{v_0 b_0 a} \left[ \frac{x}{R_0} + fk(p_0 B - 1) \right] - \frac{c^2 fk}{vba}, \quad (7)$$

где  $a = 1 - c^2/v^2$ ,  $c = \sqrt{K/\rho_0}$ ,  $K = 1/B$  – модуль сжатия окружающего объема;  $k$  –

коэффициент давления;  $s$  – коэффициент жесткости;  $a$  – высота слоя хлопка.

Уравнение (7) определяет скорость потока между колосниками.

Уравнение интегрируется в следующем начальном условии:  $x = -x_0$  при  $v = v_0 = Q_0 / \rho_0 h_0 L$ . Поскольку уравнение является нелинейным, его можно решить численным способом, а в некоторых случаях уравнение можно привести к линейному виду. Решаем уравнение (6) относительно скорости:

$$v = \delta_1 = \frac{v_0}{1 + B(p - p_0)}. \quad (8)$$

Если в зоне очистки будет  $\rho / \rho_0 < 1$ , тогда должно быть подходящим  $\Delta p < 0$ . Предполагая, что разница, в малых значениях принимая  $B \ll 1$  и значение  $\Delta p = p_0 - p$ , тогда  $B \Delta p \ll 1$  расширяем выражение (8):

$$v = \delta_2 = v_0 [1 - B(p - p_0)]. \quad (9)$$

Когда мы меняем выражение (8) на (9), мы оцениваем относительную ошибку  $\Delta p = p - p_0$  в процентах при различных значениях коэффициента  $B$ . Определяем соотношение их разности:

$$\delta = \frac{100(\delta_1 - \delta_2)}{\delta_1} = 100B^2 \Delta p^2, \quad (10)$$

где  $\delta$  – относительная погрешность.

В табл. 1 приведены максимальные значения  $\Delta p = p_0 - p$  для каждой ошибки при различных значениях  $\Delta p_m$  данного коэффициента давления  $B$ . При решении задачи (9), если выдается ошибка  $\delta(\%)$ , то в процессе расчета должно выполняться условие для давления  $\Delta p \leq \Delta p_m$ . Например, если известно сырье, погрешность использования формулы (9) не должна превышать 3%, расчетное давление  $\Delta p = p_0 - p$  не должно превышать 115,5 Па, давление не должно превышать 210,8 Па, чтобы не было превышения ошибки.

	B = 0,0005Па <sup>-1</sup>					B = 0,001Па <sup>-1</sup>				
δ(%)	1	3	5	8	10	1	3	5	8	10
Δp <sub>m</sub> (Па)	200	346,2	447,2	565,7	632,4	100	173,2	223,6	282,8	316,2
	B = 0,0005Па <sup>-1</sup>					B = 0,002Па <sup>-1</sup>				
δ(%)	1	3	5	8	10	1	3	5	8	10
Δp <sub>m</sub> (Па)	67,7	115,5	149,1	188,6	210,8	50	86,6	111,8	141,4	158,1

Используя (9), приведем выражение к линейному уравнению:

$$(M^2 h_0 - b) \frac{dv}{dx} = -(b' + fk)[(p_0 B + 1)v_0 - v]. \quad (11)$$

Если подставить в уравнение (11), то переменные уравнения разделяются:

$$\frac{dv}{[(p_0 B + 1)v_0 - v]} = \frac{2(x + R_0 fk)}{a^2 + x^2} dx,$$

если

$$-x_0 < x < x_0. \quad (12)$$

Здесь  $a = \sqrt{2R_0[h_0(1 - M^2) - u_0]}$ ,  $M = v_0 / c$ ,  $c = \sqrt{1 / B\rho_0}$  – скорость распространения волны в среде. Поскольку хлопок является деформируемой связующей средой, одним из индикаторов такой среды являются распространяющиеся в ней колебания, имеющие одинаковую частоту (длину волны)  $\omega = c / \ell$ . Если  $B = 0,001\text{Па}^{-1}$ ,  $\rho_0 = 40\text{кг} / \text{м}^3$ , тогда  $c = 5\text{м} / \text{с}$ . При производительности машины  $Q = 5000\text{кг} / \text{ч}$ ,  $Q = 7000\text{кг} / \text{ч}$ ,  $Q = 9000\text{кг} / \text{ч}$  и при значениях  $h_0 = 0,014\text{м}$ ,  $L = 1,9\text{м}$ ,

$\rho_0 = 40$ , при падении хлопка-сырца в зоне очистки скорость  $v_0 = Q / \rho_0 h_0 L$  соответственно равен  $131\text{м} / \text{с}$ ,  $1,83\text{м} / \text{с}$ ,  $2,35\text{м} / \text{с}$ ,  $2,87\text{м} / \text{с}$ , тогда равенство  $M < 1$  является разумным. В этом случае уравнение (10) подходит для случаев, когда сырье контактирует с поверхностью колонн в зоне очистки.

Чтобы проанализировать процесс в целом, предположим, что условие увеличения радиусов и расстояния между колосниками одинаково, если центр колосников находится на одинаковом расстоянии от центра барабана. Заменяем в уравнении переменную  $x$  на дугу, начинающуюся из точки А. По мере изменения радиуса колосников по дуге изменяется и расстояние между ними и барабаном, поэтому значения погружения колосников в хлопок-сырец также увеличиваются. Используя эти условия (10), запишем уравнение (12) для каждой зоны, определив скорость, давление и плотность  $v_{2i-1}$ ,  $p_{2i-1}$ ,  $\rho_{2i-1}$  хлопка-сырца в зонах с колосниками  $v_{2i}$ ,  $p_{2i}$ ,  $\rho_{2i}$  в зонах за ее пределами ( $i = 1 \dots n$ .  $n$  – количество колосников).

$$\begin{aligned} \frac{dv_1}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_1]} &= \frac{2[s - x_0 + R_0 fk]}{a_1^2 + (s - x_0)^2} ds, \text{ если } 0 < s < 2x_0, \\ \frac{dv_2}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_2]} &= \frac{R_0 fk}{1 - M^2} ds, \text{ если } 2x_0 < s < s_1, \\ \frac{dv_3}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_3]} &= \frac{2[s - s_1 - x_1 + R_0 fk]}{a_3^2 + (s - s_1 - x_1)^2} ds, \text{ если } s_1 < s < s_1 + 2x_1, \\ \frac{dv_4}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_4]} &= \frac{R_0 fk}{1 - M^2} ds, \text{ если } s_1 + 2x_1 < s < s_2, \\ \frac{dv_5}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_5]} &= \frac{2[s - s_2 - x_2 + R_0 fk]}{a_5^2 + (s - s_2 - x_2)^2} ds, \text{ если } s_2 < s < s_2 + 2x_2, \end{aligned}$$



$$\frac{dv_6}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_6]} = \frac{R_0 f k}{1 - M^2} ds, \text{ если } s_2 + 2x_2 < s < s_3,$$

$$\frac{dv_{2i-1}}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_{2i-1}]} = \frac{2[s - s_{i-1} - x_{i-1} + R_0 f k]}{a_{2i-1}^2 + (s - s_{i-1} - x_{i-1})^2} ds, \text{ если } s_{i-1} < s < s_{i-1} + 2x_{i-1},$$

$$\frac{dv_{2i}}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_{2i}]} = \frac{R_0 f k}{1 - M^2} ds, \text{ если } s_{i-1} + 2x_{i-1} < s < s_i,$$

$$\frac{dv_{2n-1}}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_{2n-1}]} = \frac{2[s - s_{n-1} - x_{n-1} + R_0 f k]}{a_{2n-1}^2 + (s - s_{n-1} - x_{n-1})^2} ds, \text{ если } s_{n-1} < s < s_{n-1} + 2x_{n-1},$$

$$\frac{dv_{2n}}{[(p_0 B + 1)v_0 - v_{2n}]} = \frac{R_0 f k}{1 - M^2} ds, \text{ если } s_{n-1} + 2x_{n-1} < s < s_n,$$

где  $s_i = s_{i-1} + 2x_{i-1}$  ( $s_0 = 0$ ),  $x_i = \sqrt{2R_i u_i}$ ,  
 $a_{2j-1} = \sqrt{2R_{j-1}[h_0(1 - M^2) - u_{j-1}]}$ .  $s$  – относительное удлинение.

Приведенные выше уравнения интегрируются на основе начального условия и условий непрерывности скоростей. Расчетный процесс требует выполнения неравенства  $M < 1$ . Расчеты проводились для случая, когда в зоне очистки находилось четыре колонны при четырех значениях производительности труда, и при следующих значениях:  $B = 0,001 \text{ Па}^{-1}$ ,  $p_0 = 80 \text{ Па}$ ,  $h_0 = 0,014 \text{ м}$ ,  $L = 1,9 \text{ м}$ ,  $\rho_0 = 40$ ,  $2R_0 = 0,0185 \text{ м}$ ,

$2R_1 = 0,019 \text{ м}$ ,  $2R_2 = 0,0195 \text{ м}$ ,  $2R_3 = 0,02 \text{ м}$ . Погрешность использования уравнения (9) находится в диапазоне  $5\% < \delta < 8\%$ . На рис. 2...4 показаны графики распределения расхода хлопка в зоне очистки при различных значениях скорости (рис. 2), плотности (рис. 3) и давления  $\Delta p$  (рис. 4): 1 –  $Q = 5000 \text{ кг/ч}$ , 2 –  $Q = 7000 \text{ кг/ч}$ , 3 –  $Q = 5000 \text{ кг/ч}$ ; а) –  $u_0 = 0,002 \text{ м}$ ,  $u_1 = 0,0022 \text{ м}$ ,  $u_2 = 0,0024 \text{ м}$ ,  $u_3 = 0,0026 \text{ м}$ ; б) –  $u_0 = 0,001 \text{ м}$ ,  $u_1 = 0,0012 \text{ м}$ ,  $u_2 = 0,0014 \text{ м}$ ,  $u_3 = 0,0016 \text{ м}$ ; на рис. 4: 1 –  $Q = 5000 \text{ кг/ч}$ , 2 –  $Q = 7000 \text{ кг/ч}$ , 3 –  $Q = 9000 \text{ кг/ч}$ , 4 –  $Q = 11000 \text{ кг/ч}$ .

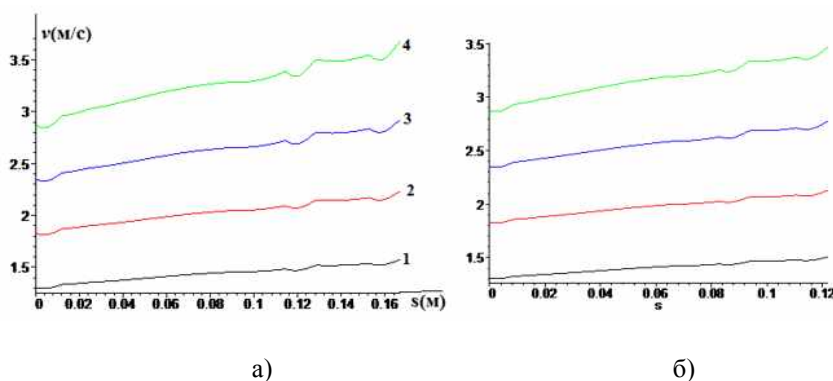


Рис. 2

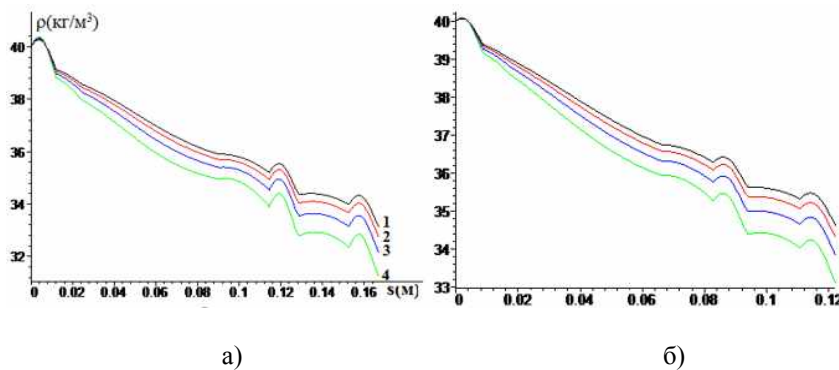


Рис. 3

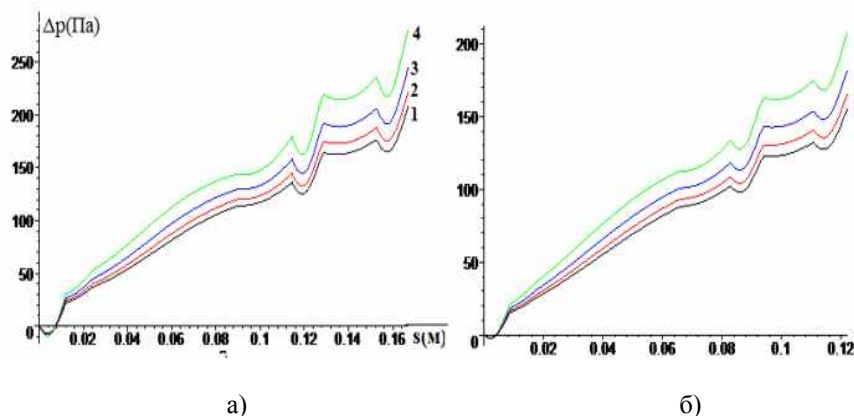


Рис. 4

## ВЫВОДЫ

1. Определены изменения давления, плотности и скорости хлопка-сырца после его прохождения через каждый колосник, когда поток хлопка-сырца подвергается воздействию системы колосников, распределения расхода хлопка в зоне очистки при различных значениях производительности, распределения плотности потока хлопка при различных значениях производительности  $Q$  в зоне очистки, а также распределения давления  $\Delta p$  в хлопковом потоке в зоне очистки при различных значениях  $Q$ .

2. Определены параметры давления между первым и вторым колосниками, а также скорость потока между колосниками.

3. Найденны максимальные значения давления  $\Delta p_m$  (Па) при использовании при различных значениях коэффициента  $B$  и относительной погрешности  $\delta(\%)$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Газиева С.А., Курбонов Б.Д., Нуров М.Э., Иброгимов Х.И., Рудовский П.Н. Изменение структурного показателя хлопка-сырца по технологическим переходам его переработки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 5. С.131...135.

2. Корабельников А.Р., Лебедев Д.А., Шутова А.Г. Выделение сорных примесей с поверхности слоя волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4. С.143...147.

3. Korabel'nikov R.V., Korabel'nikov A.R. One problem of removing coarse trash from fibrous material / R. V. Korabel'nikov, A. R. Korabel'nikov // Izvestiya

Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2000, №3. P. 29...33.

4. Djuraev A., Narmatov E.A., Murodov O.J., Yormamatov T. and Olimjonov B.Kh. Analysis of the vibrations of a console column made on a base with non-line protection in gin // PAPER • OPEN ACCESS Analysis of the vibrations of a console column made on a base with nonline protection in gin. To cite this article: A Djuraev et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1889 042017.

5. Murodov O. Development of an effective design and justification of the parameters of the separation and cleaning section of raw cotton. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1889(4), 042012

6. Rosulov R.Rh., Saphoyev A.A. To the Problem of Clearing of Hard-grades Raw Cotton. Journal Textile Science & Engineering.– V. 5, Is. 2, 2015. ISSN: 2165-8064.

7. Таштулатов Д.С., Мурадов О.Ж., Джураев А.Ж., Гафуров Ю.К., Василиадис С. Разработка конструкции и методы расчета параметров пластиковых ромбовидных стержней на упругих опорах в очистных машинах // Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия Открытый доступ Том 459, Выпуск 12018 Номер статьи 012068 Эгейская Международная конференция по текстилю и передовой инженерии, АПАЕ 2018, Лесбос, 5 сентября 2018 г. - 7 сентября 2018 г., 143522

8. Djuraev A., Kuliev, T.M. Improvement of the construction and justification of parameters of the fibrous material regenerator // International Journal of Advanced Science and Technology. – 29(8 Special Issue). P. 453...460

9. Djuraev A., Kuliev T.M. Designing and methods of calculating parameters of a fibrous material cleaner from large litter // International Journal of Advanced Science and Technology. – 29(8 Special Issue). P.444...452.

10. Code of Federal Regulations (CFR). 2010. Method 201A—Determination of PM10 and PM2.5 emissions from stationary sources (Constant sampling rate procedure). 40 CFR 51, Appendix M. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-201a.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

11. Росулов Р.Х. Влияние жесткости крепления колков очистителя хлопка-сырца на очистительный эффект // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности/ – 2017, №1. С.55...57.

12. Murodov O. Perfection of designs and rationale of parameters of plastic Koloski cleaning cleaners // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 8 (12), 2019. P. 2640...2646.

13. Росулов Р.Х. Рыхлительный барабан волокнистого материала. №FAP 01318, 30.08.2018г., Бюлл., №8.

14. Djuraev A., Rosulov R., Kholmiraev J., Diyorov H., Berdimurodov U. Development of effective construction and justification of parameters of the cleaner of fibrous material. E3S Web of Conferences 304, 03031 (2021).

15. Rosulov R., Djuraev A., Diyorov H., Berdimurodov U. Theoretical study of the influence of the length of the spike on the cleaning effect of the fine litter cleaner. E3S Web of Conferences 304, 03038 (2021).

16. Севастьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М., 2007.

#### REFERENCES

1. Gazieva S.A., Kurbonov B.D., Nurov M.E., Ibrogimov Kh.I., Rudovsky P.N. Changes in the structural index of raw cotton according to the technological transitions of its processing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2013, № 5. P.131...135.

2. Korabelnikov A.R., Lebedev D.A., Shutova A.G. Isolation of weed impurities from the surface of a layer of fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, № 4. P.143...147.

3. Korabel'nikov R.V., Korabel'nikov A.R. One problem of removing coarse trash from fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2000, № 3. P. 29...33.

4. Djuraev A., Narmatov E.A., Murodov O.J., Yormamatov T. and Olimjonov B.Kh. Analysis of the vibrations of a console column made on a base with non-line protection in gin // PAPER • OPEN ACCESS Analysis of the vibrations of a console column made on a base with non-line protection in gin. To cite this article: A Djuraev et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1889 042017.

5. Murodov O. Development of an effective design and justification of the parameters of the separation and cleaning section of raw cotton // Journal of Physics: Conference Series. – 2021, 1889(4), 042012

6. Rosulov R.Rh., Saphoyev A.A. To the Problem of Clearing of Hard-grades Raw Cotton // Journal Textile Science & Engineering.– V. 5, Is. 2, 2015. ISSN: 2165-8064.

7. Tashpulatov D.S., Muradov O.Zh., Juraev A.Zh., Gafurov Yu.K., Vasiliadis S.Design Development and Calculation Methods for Resiliently Supported Plastic Rhomboid Bars in Cleaning Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Open Access Volume 459, Issue 12018 Article Number 012068 Aegean International Conference on Textiles and Advanced Engineering, AITAE 2018, Lesvos, September 5 2018 - September 7, 2018, 143522

8. Djuraev A., Kuliev, T.M. Improvement of the construction and justification of parameters of the fibrous material regenerator // International Journal of Advanced Science and Technology. – 29(8 Special Issue). P. 453...460

9. Djuraev A., Kuliev T.M. Designing and methods of calculating parameters of a fibrous material cleaner from large litter // International Journal of Advanced Science and Technology. - 29(8 Special Issue). P.444...452.

10. Code of Federal Regulations (CFR). 2010. Method 201A—Determination of PM10 and PM2.5 emissions from stationary sources (Constant sampling rate procedure). 40 CFR 51, Appendix M. Available at <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-201a.pdf> (verified 19 Aug. 2013).

11. Rosulov R.Kh. Influence of rigidity of fixing pins of raw cotton cleaner on the cleaning effect // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. P.55...57.

12. Murodov O. Perfection of designs and rationale of parameters of plastic Koloski cleaning cleaners // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 8 (12), 2019. P. 2640...2646.

13. Rosulov R.Kh. Loosening drum of fibrous material. № FAP 01318, 30.08.2018, Bull., № 8.

14. Djuraev A., Rosulov R., Kholmiraev J., Diyorov H., Berdimurodov U. Development of effective construction and justification of parameters of the cleaner of fibrous material. E3S Web of Conferences 304, 03031 (2021).

15. Rosulov R., Djuraev A., Diyorov H., Berdimurodov U. Theoretical study of the influence of the length of the spike on the cleaning effect of the fine litter cleaner. E3S Web of Conferences 304, 03038 (2021).

16. Sevastyanov A.G. Methods and means of studying the mechanical and technological processes of the textile industry. – М., 2007.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования. Поступила 20.12.21.

УДК 677.021

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_178

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ  
ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В ФОРМИРУЮЩЕМ БУНКЕРЕ**

**RESEARCH OF THE STABLE FIBER MATERIAL MOTION MODE  
IN THE FORMING HOPPER**

*С.А. КЮРЕГЯН, А.Д. АСАТРЯН*

*S.A. KYUREGHYAN, A.J. ASATRYAN*

(Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал)

(National Polytechnic University of Armenia, Gyumri branch)

E-mail: asatryan.armine01@gmail.com

*В работе исследован установившийся режим движения волокнистого материала относительно вибрирующей поверхности формирующего бункера двухкамерного питателя. На основе анализа режима движения волокнистого материала относительно вибрирующей поверхности в формирующем бункере разработаны условия существования и устойчивости движения волокнистого материала по вибрирующим транспортерам. Доказано, что все возможные установившиеся режимы движения волокнистого материала, при отсутствии подбрасывания, устойчивы по всей области их существования за исключением границ.*

*In the research work, the steady-state mode of fibrous material movement relative to the vibrating surface of the forming hopper of a two-chamber feeder is investigated. From the analysis of the steady-state mode of the fibrous material movement relative to the vibrating surface in the forming hopper, conditions for the existence and stability of the movement of the fibrous material along the vibrating conveyors are developed. It is proved that all possible steady-state modes of fibrous material movement, in the absence of a toss, are stable throughout their area of existence, with the exception of boundaries.*

**Ключевые слова:** установившийся режим, относительный покой, скольжение вперед, фазовый угол, соударение, угол трения.

**Keywords:** steady state, relative peace, forward sliding, phase angle, collision, angle of the friction.

## Введение

Применения аэродинамических устройств в текстильном оборудовании требует разработки теории движения волокнистых материалов. Уже в настоящее время есть немало практических задач, рациональное решение которых невозможно без теории [1]. Общая теория движения волокнистых материалов подразумевает вывод уравнения движения комплексов, состоящих из множества отдельных волокон, называемых в дальнейшем также клочками, с учетом действия на них всех сил, а также взаимодействия их в волокнистовоздушном потоке при постоянной и переменной скорости движения [2]. В природе практически нет идеально упругих материалов. Поведение всех материалов в большей или меньшей степени зависит от времени, от скорости нагружения.

Закономерности движения волокнистого материала по вибрирующей поверхности представляют самостоятельный интерес для виброуплотнения (и вибросепарации) отдельных клочков малых размеров [3]. Эти закономерности интересны также и для теории многих сложных процессов, например, виброуплотнения и сепарации упругих тел конечных размеров.

### Постановка задачи

Целью настоящего исследования является построение математической модели установившегося режима движения волокнистого материала в двухкамерном питателе, который оснащен вибрирующими транспортерами.

### Объекты и методы исследования

На основе аналитических и экспериментальных исследований получены графики для определения фазового угла остановки волокнистого материала по фазовому углу начала скольжения и графики для определения безразмерного перемещения волокнистого материала по этапу скольжения.

### Результаты и обсуждения

В общем случае волокнистый материал может находиться относительно вибрирующей поверхности в одном из следующих трех состояний относительно покоя ( $dx \equiv 0$ ,  $dy \equiv 0$ ), скольжения вперед ( $dx \equiv 0$ ,  $dx > 0$ ) и отрыва ( $y > 0$ ), называемого также поле-

том. Обозначим указанные состояния соответственно символами 0, + и  $\cap$ . Наибольший практический интерес представляют режимы движения волокнистого материала, характеризующиеся циклическим чередованием указанных состояний (этапов движения), причем время одного цикла, называемое периодом переключений режима  $T_{\Pi} = 2pT$ , равно, или целое число раз превышает период колебаний поверхности  $T = 2\pi/\omega$ . Режимы, как правило, устанавливаются по истечении некоторого времени после падения волокнистого материала на поверхность или после возникновения колебаний поверхности.

Каждый установившийся режим охарактеризован определенным набором циклически повторяющихся символов 0, + и  $\cap$ , кратностью  $P$  и моментами перехода  $t_j$  от одного этапа движения к другому. При этом достаточно указать лишь чередование символов значения моментов  $t_j$  в пределах одного периода переключений. Запись вида

$$0,25(\cap)8,3(\cap)11,0(+ )12,7(+ )4\pi + 0,25 \quad (1)$$

назовем формулой установившегося режима. Эта запись указывает, что, начиная с момента, соответствующего значению фазового угла, от  $\omega t_1 = 0,25$  до  $\omega t_2 = 8,3$ , волокнистый клочок находится в полете над поверхностью, при  $\omega t_2 = 8,3$  происходит мгновенное соударение с поверхностью, снова полет до момента  $\omega t_3 = 11,0$ , скольжение вперед поверхности до момента  $\omega t_4 = 12,5$ , затем имеет место относительный покой до  $\omega t_5 = 12,7$  и, наконец, скольжение вперед до  $\omega t_6 = 4\pi + 0,25$ . После этого цикл повторяется. Период переключений данного режима  $T_{\Pi} = 34\pi/\omega = 2T$ .

С математической точки зрения рассматриваемая задача сводится к изучению решений нелинейных дифференциальных уравнений, которые в каждом из определенных частей фазового пространства являются линейными, однако имеют в каждой части различную амплитудную запись и даже различный порядок [1]:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = m A \omega^2 \cos \beta \sin \omega t + mg - F, \quad (2)$$

$$m \frac{d^2y}{dt} = m A\omega^2 \sin\beta \sin\omega t + N, \quad (3)$$

где  $m$  – масса волокнистого материала;  $A$  и  $\omega$  – соответственно амплитуда и частота колебания относительно транспортера;  $\beta$  – угол вибрации;  $g$  – ускорение свободного падения.

При  $F=N=0$ :

$$\frac{d^2x}{dt} = m A\omega^2 \cos\beta \sin\omega t + g. \quad (4)$$

Аналитическое решение подобной задачи может быть выполнено точечным методом – так называемым обратным методом, а также методом поэтапного интегрирования, припасовывания точечных отображений. Помимо аналитических методов используют графические построения.

Движение волокнистого материала без отрыва от вибрирующей поверхности мо-

жет иметь место лишь при выполнении условия:

$$\omega = \frac{A\omega^2}{g} \operatorname{tg}\beta \leq 1. \quad (5)$$

Параметр  $\omega$ , равный отношению амплитуды поперечной составляющей переносной силы инерции  $m A\omega^2 \sin\beta$  к поперечной составляющей силы тяжести  $mg \cos\beta$ , назовем параметром перегрузки при условии, что параметр перегрузки  $\omega \leq 1$  [1].

Условия существования и устойчивости всех возможных установившихся режимов движения волокнистого материала при отсутствии подбрасывания представлены в табл. 1 (табл. 1 – установившиеся режимы движения волокнистого материала при отсутствии подбрасывания [ $z_0 \geq 1$  ( $\omega \leq 1$ )]).

Таблица 1

Характер и формула установившегося режима движения	Необходимые и достаточные условия существования и устойчивости установившихся режимов	Период переключений	Фазовые углы, соответствующие моментам перехода	$\nu$ и $\pi$
Регулярный режим	$z'_{1+} < 1, \Psi(\delta_+, \delta_{1+}, \pi + \delta_+) < 0$		$\varphi_{0+} = \delta_{1+}$	
1. $\varphi_{0+}(+) \varphi_{+0}(0)$	$z'_{1-} < 1$			
$\varphi_{0+} + 2\pi$				$\nu = \frac{A\omega}{\pi \cos \beta} \cos(\beta - \rho) F(\delta_+, \delta_{1+})$
(+0)	$z'_{1+} < 1, \Psi(\gamma_-, \gamma_{1-}, \pi - \gamma_-) < 0$		$\varphi_{0+} = f(\delta_+, \delta_{1+})$	
	$z'_{1+} > -1, \Psi(\delta_+, \delta_{1+}, \pi + \delta_+) < 0$	$\frac{2\pi}{\omega}$		
2. $\varphi_{0-}(-) \varphi_{-0}(0)$	$z'_{1+} \geq 1, \Psi(\delta_+, \delta_{1+}, \pi - \gamma_{1-}) \geq 0$		$\varphi_{0-} = \delta_{1-} = \pi + \gamma_{1-}$	
$\varphi_{0+} + 2\pi$	$z'_{1-} > -1$			$\nu = \frac{A\omega}{\pi \cos \beta} \cos(\beta + \rho) F(\gamma_-, \gamma_{1-})$
(-0)	$z'_{1+} < 1, \Psi(\gamma_-, \gamma_{1-}, \pi - \delta_{1+}) \geq 0$		$\varphi_{-0} = \pi + f(\gamma_-, \gamma_{1-})$	
	$z'_{1-} > -1, \Psi(\gamma_-, \gamma_{1-}, \pi + \gamma_-) < 0$			

Эти условия выражены четырьмя без-

размерными параметрами:

$$z'_{1\pm} = \frac{g}{A\omega^2} = \frac{\sin(\gamma \pm \rho_1)}{|\cos(\beta \pm \rho_1)|}, \quad z'_{\pm} = \frac{g}{A\omega^2} = \frac{\sin(\alpha \pm \rho)}{|\cos(\beta \mp \rho)|} \quad (6)$$

$\rho_1 = \arctg f_1$  и  $\rho = \arctg f$  – соответственно углы трения покоя и скольжения, наряду с которыми используют такие параметры, как  $\delta_{1+}$ ,  $\delta_+$ ,  $\gamma_{1-}$  и  $\gamma_-$ , связанные с  $z'_{1\pm}$  и  $z'_{\pm}$  соотношениями:

$$\delta_{1+} = \arcsin z'_{1\pm}, \quad \delta_+ = \arcsin z'_{\pm}, \quad (7)$$

$$\gamma_{1-} = \arcsin z'_{1-}, \quad \gamma_- = \arcsin z'_-.$$

Кроме того, используются функции этих параметров:

$$\begin{cases} \psi(a, b, c) = \cos b + \cos c - (\pi + c - b) \sin a, \\ v_+ = \pi - v_- = \pi \frac{\sin \gamma_-}{\sin \delta_+ + \sin \delta_-}, \\ \lambda = \frac{v_+}{\sin v_+} \sin \delta_+ = \frac{v_-}{\sin v_-} \sin \gamma. \end{cases} \quad (8)$$

А также функция  $f(a, b)$ , предусматривающая решение трансцендентного уравнения:

$$\cos f(a, b) = \cos b - [f(a, b) - b] \sin a. \quad (9)$$

Определение средней скорости и ускорения волокнистого материала в установившихся режимах движения не вызывают существенных затруднений, если найдены моменты перехода от одного этапа к другому, после этого дело сводится к легко выполняемому интегрированию (2). В результате получится перемещение скорости за тот же период ( $\Delta \frac{dx}{dt}$ ) для режимов ускоренных, а затем средняя скорость и ускорение:

$$V = \frac{S}{T_n} = S\omega / (2\pi\rho), \quad a = (\Delta dx_T) / T_{\Pi}. \quad (10)$$

В общем случае, когда коэффициенты трения покоя и скольжения  $\lambda$  и  $f$  различны, процесс вычисления средней скорости в регулярных режимах можно свести к следующему:

1. Вычисляем  $z'_{1\pm}$ ,  $z'_{\pm}$ ,  $\delta_{1+}$ ,  $\delta_+$ ,  $\gamma_{1-}$  и  $\gamma_-$ .

С помощью соотношений табл. 1, при учете (8) и графика рис. 1 (график определения фазового угла остановки волокнистого материала по фазовому углу скольжения), вычисляют вид установившегося режима движения волокнистого материала.

2. По формулам четвертой графы табл. 1 и с помощью графиков рис. 1 находят фазо-

вые углы, соответствующие моментам перехода от одного этапа движения к другому.

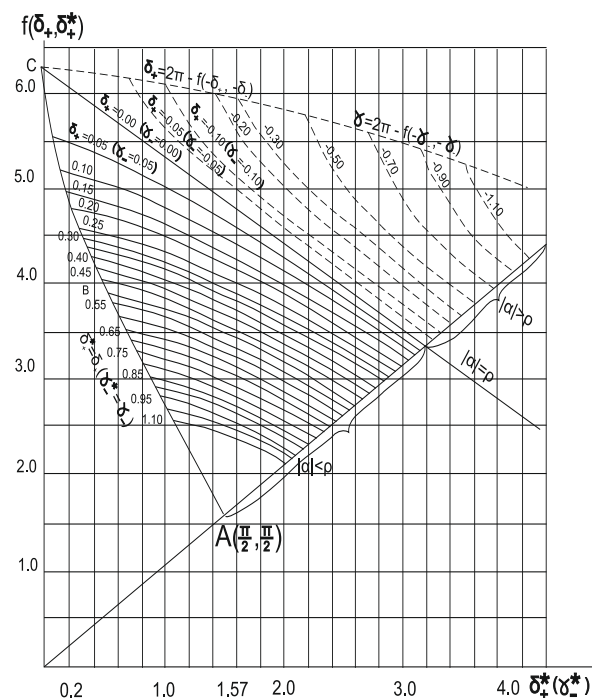


Рис. 1

3. По формулам последней графы табл. 1 и с помощью графика рис. 2 (графики определения безразмерного перемещения волокнистого материала за этап скольжения) подсчитывают среднюю скорость  $V$  или среднее ускорение  $a$ .

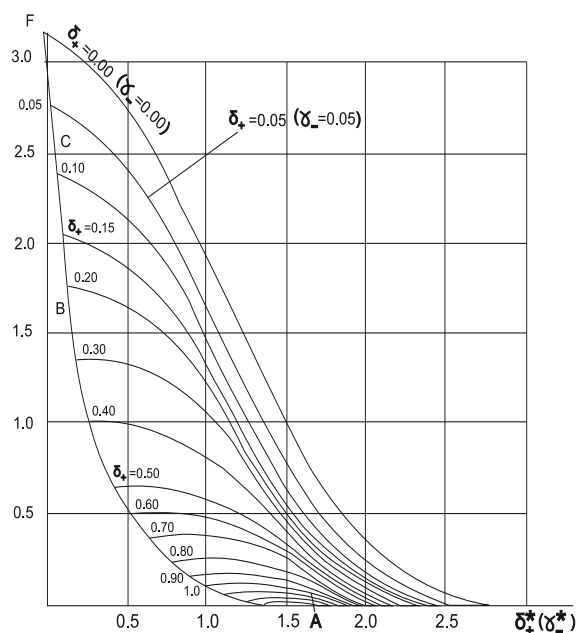


Рис. 2

## ВЫВОДЫ

1. Получено уравнение, которое характеризует установившийся режим движения волокнистого материала относительно вибрирующей поверхности формирующего бункера двухкамерного питателя.

2. Получены соотношения и графики, которые дают возможность вычислять вид установившегося режима и подсчитывать среднюю скорость  $V$  или среднее ускорение  $a$  движения волокнистого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Акобджанян А.С.* Пневматические распределители волокна в прядильном производстве. – М.: Легпромбытиздат, 1987.

2. *Кюрегян С.А., Асатрян А.Д.* Теоретические исследования параметров работы формирующего бункера с вибрирующими транспортерами // Вестник НПУА. Механика, машиноведение, машиностроение. Ереван, Изд-во Чартарагет. – 2018, №1. С.76...82.

3. *Кюрегян С.А., Асатрян А.Д.* Математический метод определения коэффициента плотности волокнистого настила в формирующем бункере // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2018. Т. 42, №4. С. 20...22.

## REFERENCES

1. Akobjanyan A.S. Pneumatic fiber distributors in the spinning industry. – M.: Legprombytizdat, 1987.

2. Kyuregyan S.A., Asatryan A.D. Theoretical studies of the operating parameters of a forming hopper with vibrating conveyors // Vestnik NPUA. Mechanics, mechanical engineering, mechanical engineering. Yerevan, Chartaraget Publishing House. – 2018, №1. P.76...82.

3. Kyuregyan S.A., Asatryan A.D. Mathematical method for determining the density coefficient of fibrous flooring in a forming bin // Izv. universities. Light industry technology. – 2018. V. 42, №4. P.20...22.

Рекомендована кафедрой дизайна и технологии изделий текстильной и легкой промышленности. Поступила 08.10.21.



УДК 677.11.021

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_183

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
ИЗ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА МОНОСУЛЬФИТНЫМ СПОСОБОМ**

**FEATURES OF PRODUCING CELLULOSE LINEN FIBER  
IN MONOSULFITNYM WAY**

*О.Ф. БОГДАНОВА, О.А. ГОРАЧ*

*O.F. BOGDANOVA, O.A. GORACH*

(Херсонский национальный технический университет, Украина)

(Kherson National Technical University, Ukraine)

E-mail: gorach.olga@kntu.net.ua

*В статье рассмотрены вопросы получения целлюлозы из льняного волокна моносультитным способом на основе повторного использования раствора после первичной варки. Установлены оптимальные параметры и режимы варки целлюлозы из льняного волокна.*

*The article discusses how to obtain cellulose from flax fiber in monosulfitym way, based on the reuse of the solution after primary pulping. The optimal parameters and pulping modes of flax fiber are obtained.*

**Ключевые слова:** льняное волокно, целлюлоза, моносультит, качественные показатели.

**Keywords:** flax fibers , cellulose, monosulfit , quality indicators .

В настоящее время еще не разработаны технологии получения целлюлозосодержащих полуфабрикатов на основе однолетних растений, поэтому Украина импортирует целлюлозу из зарубежных стран. Существующие технологии, как известно, являются материалоемкими и требуют значительных затрат на закупку реагентов. Однако сейчас мировая целлюлозно-бумажная промышленность оказалась в затруднительном положении, поскольку производители целлюлозы повысили цены на свою продукцию [1]. Сначала MetsäFibre (Фин-

ляндия) объявила о повышении цен на хвойную целлюлозу (NBSK) в Европе с 1 марта 2013 года. Новая цена составляет 860 долларов за тонну. Затем к MetsäFibre присоединилась MercerInternational (Германия). Эта компания также объявила о повышении европейских цен на хвойную целлюлозу (NBSK) с 1 марта 2013 года до 860 долларов за тонну. Södra (Швеция) повысила цены в Европе на хвойную целлюлозу до 870 долларов за тонну, а на лиственную— до 820 долларов за тонну. После этого StoraEnso (финско-шведская лесопромыш-

ленная компания, одна из крупнейших в мире) начала информировать клиентов о повышении цен на северную беленую хвойную целлюлозу (NBSK) в Европе с 1 марта 2013 г. до 700 евро за тонну [1]. Поэтому исследования в данном направлении, несомненно, будут способствовать импортозамещению целлюлозосодержащих материалов, которые в настоящее время завозятся в Украину из других стран.

Существующие способы получения целлюлозы из льняного сырья требуют достаточно больших материальных и энергетических затрат. Как известно, промышленное получение целлюлозы является очень материалоемким процессом, требующим значительных затрат реагентов, а также достаточно больших материальных ресурсов для очистки очистных сооружений. Учитывая вышеизложенное, особую актуальность приобретает вопрос разработки нового экологически чистого и экономичного способа получения целлюлозы. Поскольку получение отечественного дешевого и к тому же ежегодно возобновляемого сырья может стать дополнительным источником сырья для отечественной целлюлозной промышленности, что в свою очередь будет способствовать решению проблемы импортозамещения.

Основными химическими компонентами льняного стебля (как лубяной, так и древесной его части) являются: целлюлоза, лигнин, пектиновые вещества и гемицеллюлозы. Ранее главным источником получения целлюлозы был хлопок (хлопковый линт), однако сегодня он стал импортным сырьем, что, в свою очередь, привело к повышению цен на продукты его переработки.

Природная целлюлоза, или клетчатка, является единственным источником промышленного производства целлюлозы. Существует множество способов промышленного получения целлюлозы для применения в различных отраслях народного хозяйства [2...5]. Сырье для картонно-бумажного производства подразделяют на первичное и вторичное. Первичное – это целлюлоза, получаемая из переработанных растительных волокон. Проблема сырьевой зависимости

целлюлозно-бумажной промышленности от импорта постоянно обостряется, что связано со стремительным ростом цен на импортируемую целлюлозу.

Вторичным сырьем для производства целлюлозно-бумажной продукции является макулатура. Как и целлюлоза, макулатура в последнее время тоже очень подорожала. Это, в свою очередь, приводит к росту цен на продукцию отечественной целлюлозно-бумажной отрасли и снижению ее конкурентоспособности. Главная причина подорожания – борьба отечественных целлюлозно-бумажных комбинатов за сырьевые ресурсы, которая вызвала дефицит макулатуры на внутреннем рынке [6].

Итак, на сегодняшний день целлюлозно-бумажная промышленность находится в затруднительном положении, поэтому поиск альтернативных способов получения целлюлозы из однолетних растений – важная задача современности. Таким образом, особую актуальность приобретает вопрос создания способа получения целлюлозы из льняного волокна, применение которого позволило бы за счет технологических особенностей уменьшить количество используемых химических реагентов и улучшить показатели качества целлюлозы.

Для уменьшения импортозависимости отечественных целлюлозно-бумажных предприятий была принята Общегосударственная целевая программа развития целлюлозно-бумажной промышленности Украины и отечественного рынка картонно-бумажной продукции на период до 2020 года, в которой предусмотрено использование соломы однолетних растений для создания отечественной сырьевой базы бумажной промышленности.

Выполняя исследования в соответствии с Общегосударственной целевой программой развития целлюлозно-бумажной промышленности Украины и отечественного рынка картонно-бумажной продукции на период до 2020 года, ученые Херсонского национального технического университета разработали технологии получения технической целлюлозы из лубяного сырья – льна масличного, льна-долгунца и конопли – для последующего получения картона и бумаги

[7...11]. Данные технологии были разработаны в 2010-2014 гг. Показатели качества полученных волокнистых полуфабрикатов определяли по действующим стандартам на целлюлозу и бумагу из древесного сырья.

Анализ физико-механических показателей полученных образцов свидетельствует, что техническая целлюлоза из лубяного сырья по своему качеству не уступает показателям технической целлюлозы, полученной из древесины, а по некоторым параметрам даже превосходит ее. Учитывая высокие показатели прочности, полученные волокнистые полуфабрикаты можно использовать в композиции при производстве долговечных, прочных и специальных видов бумаги.

Оценка качества целлюлозы, получаемой из однолетних растений, например из льна масличного, льна-долгунца и ненаркотической конопли, проводится в соответствии с действующими стандартами СССР: ГОСТ 19318–73 "Целлюлоза. Подготовка

проб к химическим анализам", ГОСТ 16932–93 "Целлюлоза. Определение содержания сухого вещества", ГОСТ 6841–77 "Целлюлоза. Метод определения смол и жиров", ГОСТ 10820-75 "Целлюлоза. Метод определения массовой доли пентозанов", ГОСТ 6840–78 "Целлюлоза. Метод определения содержания  $\alpha$ -целлюлозы", ГОСТ 14363.4–89 "Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям" [10...17].

При выполнении научно-исследовательских работ учеными кафедры было проверено влияние использования отработанного щелока на качественные показатели полученной целлюлозы. В процессе исследований были установлены оптимальные параметры и режимы варки целлюлозы с использованием отработанного щелока. Результаты проведенных экспериментальных исследований по определению качественных показателей целлюлозы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние добавления отработанного щелока на качественные показатели целлюлозы									
Показатель качества	Отработанный щелок, %								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Выход целлюлозы, %	46,0	48,2	48,8	49,7	51,7	52,2	45,7	48,7	47,1
Содержание альфа-целлюлозы, %	89,5	90,2	95,2	93,5	94,2	94,8	93,2	92,7	91,8
Содержание остаточного лигнина, %	5,67	6,6	6,8	6,5	6,7	6,9	6,7	6,5	6,2
Разрывная длина, м	4900	5100	5500	5700	5900	6100	5500	5700	5200
Абсолютное сопротивление на разрыв, Н	25,5	24,9	25,0	24,5	24,7	26,0	24,2	22,8	20,5
Абсолютное сопротивление разрывному продавливанию, кПа	250	255	260	245	246	247	235	230	220
Сопротивление на излом, к.п.п.	22	22	23	24	25	26	25	15	12

Анализируя результаты, представленные в табл. 1, можно сделать вывод, что использование отработанного щелока с концентрацией 10...50% при повторной варке целлюлозы позволяет получить целлюлозу с показателями качества, которые не уступают качественным показателям целлюлозы, например, из лиственных пород деревьев. Так, показатель разрывной длины увеличился с 4900 м в контрольном варианте до 6100 м в варианте с 50% добавлением отработанного щелока. Абсолютное сопро-

тивление на разрыв и абсолютное сопротивление на разрывное продавливание почти не изменилось по сравнению с контрольным вариантом. Показатель сопротивления на излом также увеличился с 22 к.п.п. в контрольном варианте до 26 к.п.п. в варианте с 50 % добавлением отработанного щелока.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что варка целлюлозы из льняного волокна указанным способом позволяет тратить около 50% от исходного

количества химических реагентов и повторно использовать варочный раствор при последующей варке.

На основе проведенных исследований был разработан экологически чистый и экономичный способ получения целлюлозы, что позволяет значительно сократить расходы на приобретение химических реагентов, уменьшить объем выбросов в окружающую среду и очистные сооружения. Использование дешевого, отечественного, ежегодно возобновляемого сырья может стать дополнительным источником для отечественной целлюлозно-бумажной промышленности и, в свою очередь, будет способствовать решению проблемы импортозамещения.

Таким образом, на основе полученных результатов исследований можно утверждать, что использование для варки раствора с добавлением до 50% первичного варочного раствора позволяет получить целлюлозу с качественными показателями, которые не уступают показателям качества целлюлозы, полученной из листовых пород деревьев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Содружество бумажных оптовиков: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.sbo-paper.ru/news/archive\\_world/39476/](http://www.sbo-paper.ru/news/archive_world/39476/).
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3-х т. / Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. – Ч. 2. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2003.
3. Дейкун И.М. Разработка технологии получения льняной целлюлозы для химической переработки: Дис. ... канд. техн. наук. – К., 2005.
4. Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. – М.: Экология. Т.3, 1994.
5. Галашина В.Н. Морыганов А.П. Изменение свойств льноволокна и структуры целлюлозы при щелочных и щелочно-окислительных обработках // Мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Высокоэффективные технологии производства и переработки льна. – Вологда, 2002. С. 136.
6. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – Ч. ИИ / Под общ. ред. В.А. Столяровой. – СПб.: АНО НПО "Профессионал", 2007.
7. Патент на изобретение 10331 А от 25.12.96, Бюл. № 4. Способ получения целлюлозы, Чурсина Л.А., Логачева Л.И., Богданова О.Ф. и др.

8. Патент на изобретение № 10597 А от 25.12.96. Бюл. № 4. Способ получения волокнистой массы из исходного недревесного сырья, Чурсина Л.А., Логачева Л.И., Богданова О.Ф. и др.

9. Патент на изобретение № 33428 А от 15.02.01 Бюл. № 1, 2001 год. Способ отбеливания льняного целлюлозного полуфабриката Богданова О.Ф., Путинцева С.В., Чурсина Л.А.

10. Патент на полезную модель № 48160, от 10.03.2010, Бюл. № 5. Способ получения целлюлозы Путинцева С.В., Богданова О.Ф., Чурсина Л.А.

11. Патент на полезную модель № 56855 от 25.01.2011 Бюл. №2. – 4 с. Способ получения целлюлозы. Чурсина Л.А., Лялина Н.П., Богданова О.Ф., Резвых Н.И.

12. ГОСТ 19318–73. Целлюлоза. Подготовка проб к химическим анализам. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам (Издательство стандартов), 1979.

13. ГОСТ 16932–93. Целлюлоза. Определение содержания сухого вещества. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам (Издательство стандартов), 1979.

14. ГОСТ 6841–77. Целлюлоза. Метод определения смол и жиров. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам (Издательство стандартов), 1977.

15. ГОСТ 10820–75. Целлюлоза. Метод определения массовой доли пентозанов. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам (Издательство стандартов), 1975.

16. ГОСТ 6840–78. Целлюлоза. Метод определения содержания а-целлюлозы. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам (Издательство стандартов), 1983.

17. ГОСТ 14363.4–89. Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам (Издательство стандартов), 1989.

#### REFERENCES

1. Commonwealth of paper wholesalers: [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.sbo-paper.ru/news/archive\\_world/39476/](http://www.sbo-paper.ru/news/archive_world/39476/).
2. Technology of pulp and paper production. In 3 volumes / T. I. Raw materials and production of semi-finished products. - Part 2. Production of semi-finished products. - St. Petersburg: Polytechnic, 2003.
3. Deykun I.M. Development of technology for the production of flax pulp for chemical processing: Dis. ... cand. tech. Sciences. – K., 2005.
4. Nepenin Yu.N. Cellulose technology. – М.: Ecology. Т.3, 1994.
5. Galashina V.N. Moryganov A.P. Changes in the properties of flax fibers and the structure of cellulose during alkaline and alkaline-oxidative treatments // Mat. International scientific-practical Conf.: Highly efficient technologies for the production and processing of flax. - Vologda, 2002. P. 136.

6. New reference book for chemists and technologists. Raw materials and products of the industry of organic and inorganic substances. - Ch. II / Under the general. ed. V.A. Stolyarova. - St. Petersburg: ANO NPO "Professional", 2007.

7. Patent for invention 10331 A dated 12/25/96, Bull. № 4. Method for producing cellulose, Chursina L.A., Logacheva L.I., Bogdanova O.F. and etc.

8. Patent for invention № 10597 A dated 12/25/96. Bull. № 4. Method for obtaining fibrous mass from the original non-wood raw materials, Chursina L.A., Logacheva L.I., Bogdanova O.F. and etc.

9. Patent for invention № 33428 A dated February 15, 2001 Bull. № 1, 2001 Method for bleaching linen cellulose semi-finished product Bogdanova O.F., Putintseva S.V., Chursina L.A.

10. Utility model patent № 48160, dated March 10, 2010, Bull. № 5. Method for producing cellulose Putintseva S.V., Bogdanova O.F., Chursina L.A.

11. Patent for utility model № 56855 dated January 25, 2011 Bull. № 2.- 4 s. The method of obtaining cellulose. Chursina L.A., Lyalina N.P., Bogdanova O.F., Rezvykh N.I.

12. GOST 19318–73. Cellulose. Preparation of samples for chemical analysis. – M.: USSR State Committee for Standards (Standards Publishing House), 1979.

13. GOST 16932–93. Cellulose. Determination of dry matter content. – M.: USSR State Committee for Standards (Standards Publishing House), 1979.

14. GOST 6841–77. Cellulose. Method for determination of resins and fats. – M.: USSR State Committee for Standards (Standards Publishing House), 1977.

15. GOST 10820–75. Cellulose. Method for determining the mass fraction of pentosans. – M.: USSR State Committee for Standards (Standards Publishing House), 1975.

16. GOST 6840–78. Cellulose. Method for determining the content of α-cellulose. – M.: USSR State Committee for Standards (Standards Publishing House), 1983.

17. GOST 14363.4–89. Cellulose. Method for preparing samples for physical and mechanical tests. – M.: USSR State Committee for Standards (Standards Publishing House), 1989.

Рекомендована кафедрой товароведения, стандартизации и сертификации. Поступила 19.11.21.

УДК 675.035

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_187

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ ДЕРМЫ ШКУР ЛОСОСЯ\*

### STUDY OF PLASMA TREATMENT EFFECT ON THE THERMAL STABILITY OF THE DERMIS OF SALMON SKINS

*Д.К. НИЗАМОВА, Г.Р. РАХМАТУЛЛИНА, В.П. ТИХОНОВА, Р.Ф. АХВЕРДИЕВ*

*D.K. NIZAMOVA, G.R. RAKHMATULLINA, V.P. TIKHONOVA, R.F. AKHVERDIEV*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: nizamova.darya.93@mail.ru

*Возможность использования шкур рыб в качестве альтернативы классическим видам кожевенного сырья исследовалась давно, однако отсутствует единая технология производства кож из шкур рыб и нормативные документы на данный вид эксклюзивного материала. Кожа из шкур рыб по своим физико-механическим свойствам не уступает козам из шкур крупного рогатого скота, овчины и т.д., кроме того, по эстетическим свойствам она существенно превосходит кожу из классического сырья. В данной ра-*

\* Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Нанотехнологии и наноматериалы" ФГБОУ ВО "КНИТУ".

*боте исследованию подвергались шкуры лосося. При этом в качестве инструмента модификации дермы применялся поток неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления. В результате проведенной работы установлено снижение температуры сваривания после процессов золеня, пикелевания и увеличение температуры сваривания дермы после процессов хромирования и дубления. Следовательно, плазменная обработка шкур лосося способствует лучшему разделению структуры дермы в подготовительных процессах, за счет разрыва слабых связей, и вследствие этого более качественному проведению процессов хромирования и дубления. Полученный полуфабрикат имеет повышенную термостабильность дермы, что подтверждается методом синхронного термического анализа.*

*The possibility of using fish skins as an alternative to classical types of leather raw materials has been studied for a long time, but there is no unified technology for the production of leather from fish skins and regulatory documents for this type of exclusive material. In terms of its physical and mechanical properties, leather from fish skins is not inferior to leather from skins of cattle, sheepskin, etc., in addition, in terms of aesthetic properties, it significantly surpasses leather from classical raw materials. In this work, salmon skins were studied. A low-pressure, nonequilibrium low-temperature plasma flow was used as a tool for modifying the dermis. As a result of this work, a decrease in the welding temperature after ashing and pickling processes and an increase in the temperature of derma welding after chroming and tanning processes were found. Consequently, plasma treatment of salmon skins contributes to better separation of the structure of the dermis in the preparatory processes, due to breaking of weak bonds, and as a consequence, a better quality of chroming and tanning processes. The resulting semi-finished product has an increased thermal stability of the dermis, which is confirmed by the method of synchronous thermal analysis.*

**Ключевые слова:** дерма шкур рыб, лосось, неравновесная низкотемпературная плазма, температура сваривания, термический анализ.

**Keywords:** dermis of fish skins, salmon, nonequilibrium low-temperature plasma, welding temperature, thermal analysis.

#### *Введение*

Применение неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления для модификации кож из классических видов сырья, таких как крупный рогатый скот, овчина, козлина и т.д., исследовано во многих работах [1...3]. Однако плазменная модификация кож из экзотического сырья малоизучена.

Плазменная технология относится к сухим, экологически чистым процессам, не требующим использования растворов. С ее помощью можно решить ряд задач:

- придать поверхности капиллярно-пористых материалов адгезионные свойства, необходимые для нанесения покрывных композиций;

- улучшить технологические и потребительские свойства кожи (регулировать гидрофильность, увеличить грязеотталкивание, уменьшить усадку, отдушистость и т.д.);

- удалить органические соединения;

- улучшить физико-механические свойства кожи.

#### *Методы*

После каждого жидкостного процесса определяли температуру сваривания дермы. Согласно ГОСТ 938.25–73 образцы дермы длиной 50 мм и шириной 3 мм закрепляли одним концом на неподвижный крючок стержня, а другим – на крючок, соединенный с ниткой. Термометр укрепляли на штатив и помещали в стакан с водой.

Воду в стакане медленно нагревали (не более 5°C в минуту) и отмечали показания термометра, при котором происходит деформирование образца [4], [5].

Термический анализ проводился при помощи метода синхронного термического анализа (термогравиметрия (ТГ) – ДТГ, ДСК), при котором регистрировали изменение массы образца в зависимости от температуры. Программное обеспечение позволило проводить расчеты по кривым без остановки эксперимента. Можно достаточно точно определить, является ли тепловой эффект реакцией разложения, окисления или фазовым переходом. В работе использовали термоанализатор SDT Q 600 [6].

#### Результаты и обсуждения

В работе исследовали влияние плазменной модификации на изменение степени структурирования дермы шкур рыб. В качестве объекта исследования рассматривали шкуру лосося. Входные параметры плазменной установки варьировали в следующих пределах: напряжение на аноде ( $U_a$ ) 1...8 кВ; сила тока ( $I_a$ ) 0,3...0,9 А, рабочее

давление в разрядной камере (P) 26,6 Па; расход плазмообразующего газа (G) 0,04...0,08 г/с; частота генератора (f) 13,56 МГц, продолжительность обработки (t) 1...9 мин. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон. Образец, обработанный неравновесной низкотемпературной плазмой, далее в работе будет называться опытным образцом, а не обработанный – контрольным образцом.

С помощью программы Статистика определили оптимальный режим плазменной модификации дермы шкур лосося:  $U=4,5$  кВ,  $I=0,62$  А,  $P=26$  Па,  $G=0,04$  г/с,  $t=3$  мин. Плазменную обработку осуществляли в сырье. Для исследования влияния ННТП пониженного давления на термостабильность исследуемых материалов, на первом этапе работы, использовали метод синхронного термического анализа (термогравиметрия (ТГ-ДТГ, ДСК), при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры (табл. 1 – влияние ННТП пониженного давления на термостабильность кожи из шкур лосося).

Т а б л и ц а 1

Образцы	Интервал температур (максимум эффекта), °C					Общая потеря массы, % масс.
	потеря массы, % масс.					
Кожа из шкур лосося (опытный)	30 – 93 4,95	93 – 243 7,44	243 – 380 38,23	380 – 495 47,18	495 – 600 0,40	98,21
Кожа из шкур лосося (контрольный)	30 – 102 7,24	102 – 230 5,20	230 – 355 35,81	355 – 435 44,40	435 – 600 2,61	95,26

По термическому поведению образцы схожи между собой – регистрируется два экзотермических эффекта, соответствующие термической деструкции образцов. Од-

нако пробы отличаются по температурным интервалам деструкции [6].

На рис. 1, 2 представлены термоаналитические кривые кож из шкур лосося.

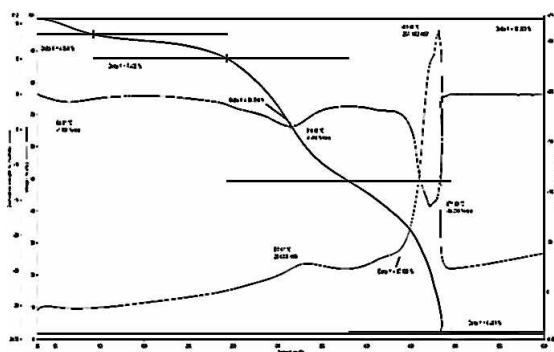


Рис. 1

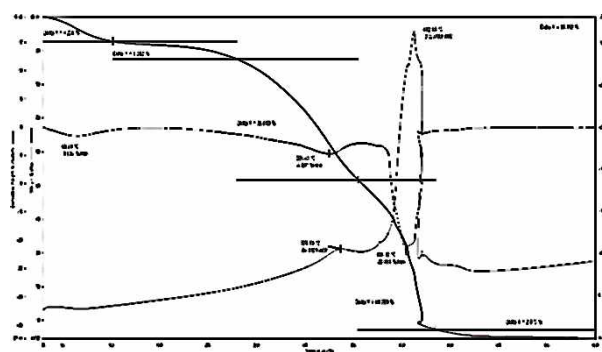


Рис. 2

В опытном образце кожи из шкур лосося (рис. 1) в низкотемпературной области до 93°C фиксируется потеря массы 4,95% масс. На ДСК кривой наблюдаются два экзотермических эффекта при 333°C и 481°C. Эти эффекты можно увидеть на кривой ДТГ со смещением максимумов. Потеря массы в интервале 243...380°C равна 38,23% масс., в интервале 380...495°C – 47,18% масс.

В контрольном образце кожи из шкур лосося (рис. 2) в низкотемпературной области до 102°C регистрируется потеря массы 7,24% масс. Общая потеря массы в интервале 30...600°C составляет 95,26% масс. Первая ступень находится в интервале 230...355°C (35,81% масс.), вторая – 355...435°C (44,40% масс.), интервалам соответствуют два экзотермических эффекта на ДСК кривой со смещенными температурными максимумами при 337°C и 413°C.

Таким образом, модификация ННТП пониженного давления сырья из шкур лосося

приводит к уменьшению потери массы кожи при нагревании на 3%, что свидетельствует о более полном их структурировании.

Структура дермы претерпевает значительные изменения в результате воздействия на шкуру различных веществ в ходе технологического цикла производства. В основе жидкостных процессов лежит взаимодействие коллагена дермы с химическими веществами, применяемыми при их обработке [7]. На втором этапе работы степень структурирования дермы, при плазменной модификации сырья, оценивали по показателю температуры сваривания, который характеризует гидротермостойкость дермы, то есть является количественной характеристикой устойчивости к нагреванию, при этом температуру сваривания определяли после каждого жидкостного процесса (табл. 2) [4], [5].

Т а б л и ц а 2

Технологические процессы	Температура сваривания, °С	
	контрольный образец	опытный образец
Сырье	46	-
После процесса золениа	48	45
После процесса пикелевания	28	23
После процесса хромирования	57	61
После процесса дубления	90	94
После пролежки	92	96

Из значений, представленных в табл. 2, видно, что температура сваривания сырья составляет 46°C, однако после процесса золениа и пикелевания происходит снижение температуры сваривания, что свидетельствует о разделении структуры дермы. При этом у опытного образца, модифицированного плазмой в оптимальном режиме, разделение структуры дермы происходит интенсивнее, так как температура сваривания на 18% ниже контрольного варианта. В процессе кратковременного хромирования происходит диффузия и связывание дубящих соединений хрома в структуре дермы, далее следует процесс растительного дубления, при этом температура сваривания контрольного образца на 4% меньше опытного варианта. Также установлена необхо-

димось проведения пролежки полуфабриката, для дополнительного связывания дубящих веществ с активными центрами белка [8...10].

## В Ы В О Д Ы

На основании вышеизложенного можно заключить, что плазменная обработка шкур лосося перед процессом отмоки приводит к изменению степени структурирования дермы после каждого жидкостного технологического процесса по сравнению с контрольным вариантом, при этом плазменная модификация способствует более качественному проведению процессов, в результате получается термостабильная кожа.



1. Красина И.В. Регулирование свойств натуральных высокомолекулярных волокнистых материалов с помощью неравновесной низкотемпературной плазмы в процессах кожевенного и мехового производства: Дис.... докт. техн. наук. – Казань, 2006.

2. Рахматуллина Г.Р. Научно-технологические основы покрывного крашения кож с применением неравновесной низкотемпературной плазмы: Дис.... докт. техн. наук. – Казань, 2010.

3. Махоткина Л.Ю. Регулирование формовочной способности комплексных материалов обувной промышленности с применением неравновесной низкотемпературной плазмы: Дис.... докт. техн. наук. – Казань, 2006.

4. ГОСТ 938.25–73. Кожа. Метод определения температуры сваривания. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

5. ГОСТ 938.15–70. Кожа. Метод определения толщины образцов и толщины кож в стандартной точке. – М.: Изд-во стандартов, 1973.

6. Синхронный термический анализ, [Электронный ресурс] URL: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-reshenija/sinkhronnyi-termicheskii-analiz/> (Дата обращения 01.07.2021)

7. Островская А.В., Лутфуллина Г.Г., Абдуллин И.Ш. Химия и технология кожи и меха: теоретические основы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2017.

8. Низамова Д.К. Разработка технологий выделки кож из шкур лососевых рыб с применением неравновесной низкотемпературной плазмы: Дис.... канд. техн. наук. – Казань, 2019.

9. Патент РФ №2717449. Способ отмоки сырья из шкур горбуши Д.К. Низамова, Р.Ф. Ахвердиев, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, К.Р. Муқанжанова, А.В. Островская, И.И. Латфуллин, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технологический университет", - № 2019124753; заявл. 01.08.2019; опубл. 23.03.2020

10. Низамова Д.К. Перспективы производства натуральной кожи из шкур лососевых рыб в кожевенной промышленности // Дизайн и Технологии. – 2018, №66. С. 23...28.

1. Krasina I.V. Regulation of the properties of natural high-molecular fibrous materials with the help of non-equilibrium low-temperature plasma in the processes of leather and fur production: Dis. ... Doctor. tech. Sciences. - Kazan, 2006.

2. Rakhmatullina G.R. Scientific and technological bases of covering dyeing of leather with the use of non-equilibrium low-temperature plasma: Dis.... dokt. tech. Sciences. – Kazan, 2010.

3. Makhotkina L.Yu. Regulation of the molding ability of complex materials of the shoe industry using non-equilibrium low-temperature plasma: Dis.... doctorate. tech. Sciences. – Kazan, 2006.

4. GOST 938.25–73. Leather. Method for determining the welding temperature. - М.: Publishing house of standards, 2003.

5. GOST 938.15–70. Leather. Method for determining the thickness of samples and the thickness of skins at a standard point. - М.: Publishing house of standards, 1973.

6. Synchronous thermal analysis, [Electronic resource] URL: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-reshenija/sinkhronnyi-termicheskii-analiz/> (Accessed 01.07.2021)

7. Ostrovskaya A.V., Lutfullina G.G., Abdullin I.Sh. Chemistry and technology of leather and fur: theoretical foundations. – 2nd ed., revised. and additional – М.: Publishing house Yurayt, 2017.

8. Nizamova D.K. Development of technologies for dressing skins from skins of salmon fish using non-equilibrium low-temperature plasma: Dis.... cand. tech. Sciences. – Kazan, 2019.

9. RF patent № 2717449. Method for soaking raw materials from pink salmon skins D.K. Nizamov, R.F. Akhverdiev, V.P. Tikhonov, G.R. Rakhmatullina, K.R. Mukanzha-nova, A.V. Ostrovskaya, I.I. Latfullin, patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University", - № 2019124753; dec. 08/01/2019; publ. 03/23/2020

10. Nizamova D.K. Prospects for the production of natural leather from salmon skins in the leather industry // Design and Technologies. -2018, № 66. pp. 23...28.

Рекомендована кафедрой плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов. Поступила 10.01.22.

## ИННОВАЦИОННЫЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КОЖ\*

### INNOVATIVE, ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES FOR OBTAINING HIGH-QUALITY LEATHER

Г.Р. РАХМАТУЛЛИНА, Е.А. ПАНКОВА

G.R. RAKHMATULLINA, E.A. PANKOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: gulnaz-f@yandex.ru; pankovaja@mail.ru

*Ухудшение экологической обстановки на планете заставило людей задуматься об огромном количестве токсичных веществ, применяемых при производстве кожи. В связи с этим в настоящее время особое внимание стало уделяться разработке экологически чистых технологий. В данной работе в качестве альтернативы технологиям, используемым при производстве натуральных кож с применением химических материалов, рассматривается плазменная модификация, которая в сочетании с классической технологией позволяет существенно повысить качество кож без дополнительного применения химических материалов. Оптимальный режим плазменной модификации для кожевенного полуфабриката (краст) определяли с помощью программы Статистика 6.0, функцией отклика служил показатель адгезии покрытия к коже. Плазменная обработка полуфабриката (краст) из шкур крупного рогатого скота позволяет значительно улучшить физико-механические и гигиенические свойства готовых кож с покрытием без применения дополнительных химических материалов, за счет модификации внешней и внутренней поверхности натурального материала и изменения ее пористости.*

*The deterioration of the ecological situation on the planet made people think about the huge amount of toxic substances used in the production of leather. In this regard, special attention has now been paid to the development of environmentally friendly technologies. In this paper, plasma modification is considered as an alternative to technologies used in the production of natural leathers using chemical materials, which, in combination with classical technology, can significantly improve the quality of leather without additional use of chemical materials. The optimal mode of plasma modification for a semi-finished leather product (crust) was determined using the Statistics 6.0 program; the adhesion indicator of the coating to the skin served as a response function. Plasma treatment of a semi-finished product (crust) from cattle skins can significantly improve the physical, mechanical and hygienic properties of finished coated leather without the use of additional chemical materials, by changing the porosity and simultaneous processing of the outer and inner surfaces of the natural material.*

---

\* Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Нанотехнологии и наноматериалы" ФГБОУ ВО "КНИТУ".

**Ключевые слова:** высокочастотная емкостная обработка, плазменная модификация, технологии производства кож, экологическая безопасность.

**Keywords:** high-frequency capacitive processing, plasma modification, leather production technologies, environmental safety.

### *Введение.*

Технологии производства натуральной кожи прошли многовековой путь эволюционного развития. В свою очередь каждый этап являлся актуальным для своего времени и соответствовал потребностям и уровню развития человечества. Рассмотрев исторические этапы развития кожевенной отрасли можно выделить следующие крупные технологические циклы:

- 1) производство сырицы (50 тысяч лет до н.э.);
- 2) производство сыромятной кожи (1 век до н.э.);
- 3) производство дубленой кожи;
- 4) производство кож с покрывным крашением.

Естественно, что каждый из этих циклов имел разную длительность и определялся социальными факторами развития общества и местами проживания. Проходили годы, менялись приоритеты, и к настоящему времени, натуральная кожа превратилась из просто "выделанной шкуры" в материал, который позволяет создавать уникальные по своим характеристикам изделия.

Ухудшение экологической обстановки заставило людей задуматься об огромном количестве токсичных веществ, применяемых при производстве кожи. В связи с этим в двадцатом веке пристальное внимание стало уделяться разработке экологически чистых технологий. Экологическая безопасность материала превратилась в своеобразный модный бренд. Многие мировые производители значительно сократили применение хромового дубления, вернувшись к растительному дублению, как более экологичному способу. Из обработки высококачественных кож стали исключать покрывное крашение, сохраняя природный внешний вид шкуры, включая прижизненные пороки (болячки, укусы и т.д.). Конечно, это не означает, что технология сде-

лала шаг назад. Появилось новое поколение специализированных химических материалов и высокотехнологичного оборудования, способных обеспечить быструю и качественную выделку и экологически безопасную отделку кожи.

Одним из таких способов является применение высокочастотной емкостной (ВЧЕ) плазмы пониженного давления в процессах производства кож различного назначения. Воздействие ВЧЕ-плазмы пониженного давления может применяться на различных технологических этапах (сырье, голье, полуфабрикат) и имеет комплексный характер (обеспечивает одновременную обработку внешней и внутренней поверхности материала). Данный фактор обуславливает актуальность применения плазменной обработки относительно кожевенных материалов, так как кожа представляет собой капиллярно-пористый материал и имеет большую внутреннюю поверхность.

Известно, что материал, помещенный в плазму, заряжается отрицательно относительно плазмы, что создает потенциальный барьер, препятствующий попаданию на поверхность электронов. Вследствие этого возле поверхности материала формируется двойной слой, в котором нарушается условие квазинейтральности. Двойной слой у поверхности тела образуется при любых условиях генерации плазмы [1]. Помимо этого в результате колебаний электронного газа относительно малоподвижных ионов в осциллирующем электрическом поле в ВЧЕ-плазме пониженного давления у поверхности материала образуется слой положительного заряда (СПЗ) толщиной  $\sim 10^{-3}$  м. Ионы плазмы, ускоряясь в электрическом поле СПЗ, приобретают дополнительную энергию до 100 эВ и формируют поток с плотностью ионного тока  $0,3...0,9$  А/м<sup>2</sup>. Ионы плазмы бомбардируют поверхность структурных элементов белков, входящих в состав кожевенного материала. Следует от-

метить, что энергии ионов (до 100эВ) достаточно для разрыва части невалентных связей, формирующих надмолекулярные структуры белка, что делает возможным их конформационные изменения [2], [3]. В целом процессами, ответственными за модификацию кожевенного материала в ВЧЕ-плазме пониженного давления являются бомбардировка ионами, рекомбинация ионов на поверхности и термическое воздействие [4].

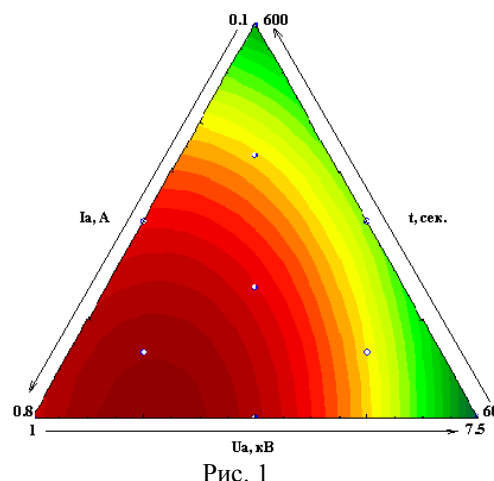
#### Методы

Для установления закономерностей взаимодействия ВЧЕ-плазмы пониженного давления с кожевенными материалами в качестве объекта исследования выбран наиболее распространенный вид кожевенного сырья – шкуры крупного рогатого скота (КРС). Как говорилось выше, обработка ВЧЕ-плазмой пониженного давления может осуществляться в сырье, голье и полуфабрикате. В данной работе модификацию осуществляли перед отделочными процессами и операциями, то есть в полуфабрикате (краст). Для определения структурных изменений кожи использовали электронную микроскопию, а получение информации об изменении химического состава в слоях дермы велось методом ИК-спектрофотометрии.

Входные параметры плазменной установки варьировались в следующих пределах: напряжение на аноде ( $U_a$ ) 1...7,5 кВ; сила тока на аноде ( $I_a$ ) 0,1...0,8 А, рабочее давление в разрядной камере ( $P$ ) 13,3...26,6 Па; расход плазмообразующего газа ( $G$ ) 0,04...0,08 г/с; частота генератора ( $f$ ) 13,56 МГц, продолжительность обработки ( $t$ ) 60...600 с. В качестве плазмообразующего газа использовался аргон.

#### Результаты и обсуждение

Оптимальный режим ВЧЕ-плазменной модификации для кожевенного полуфабриката (краст) определяли с помощью программы Статистика 6.0 (рис. 1 – оптимизация режимов ВЧЕ-плазменной обработки кожевенного полуфабриката (краст) из шкур КРС (функция отклика – адгезия покрытия к коже,  $H/m^2$ ,  $P=26,6$  Па,  $G=0,04$  г/с)). Функцией отклика служил показатель адгезии покрытия к коже, так как именно данный показатель является критерием, определяющим качество покрывного крашения [5]. Анализ полученных данных показал, что наибольшей адгезией покрытия обладает кожа, модифицированная ВЧЕ-плазмой пониженного давления в режиме:  $U_a=2$  кВ,  $I_a=0,5$  А,  $P=26,6$  Па,  $G=0,04$  г/с,  $\tau=300$  с, плазмообразующий газ аргон.



В табл. 1 (влияние ВЧЕ-плазменной обработки на механические показатели кож из шкур КРС) приведены результаты измерения механических показателей кож из шкур КРС, прошедших плазменную обработку и контрольных образцов.

Таблица 1

Показатели	Контрольный образец	Опытный образец
Адгезия покрытия к коже, $H/m^2$	410	820
Напряжение при разрыве, МПа	19,78	22,27
Относительное удлинение, %	35	38

Из результатов, представленных в табл. 1 видно, что ВЧЕ-плазменная обработка позволяет увеличить адгезию покрытия к коже в 2 раза, повысить прочность

кожи на 12%, при одновременном увеличении относительного удлинения на 8%.

Кожа, являясь капиллярно-пористым материалом, способна поглощать и пропус-

кать пары воды (до 50...70%), что определяет ее гигиенические характеристики и подчеркивает явное преимущество в сравнении с другими материалами [6]. Именно количество пор в коже, их вид, размеры и расположение определяют величину влагопоглощения и влагоотдачи [7]. В связи с этим рассмотрено влияние ВЧЕ-плазмен-

ной обработки на пористость и гигиенические свойства кож (табл. 2). Кроме того, показатели объема пор и пористости находятся в прямой пропорциональной зависимости друг от друга, так как увеличение пористости приводит к неизбежному увеличению объема пор материала.

Т а б л и ц а 2

Показатели	Контрольный образец	Опытный образец
Гигроскопичность, %	10,42	15,98
Влагоотдача, %	13,32	14,26
Объем пор, мл	1,01	1,31
Пористость, %	34,8	46,8

Как видно из данных, представленных в табл. 2, ВЧЕ-плазменная обработка кож с покрытием из шкур КРС позволяет: увеличить гигроскопичность на 53%, влагоотдачу – на 7%, повысить объем пор и пористость на 30 и 34% соответственно.

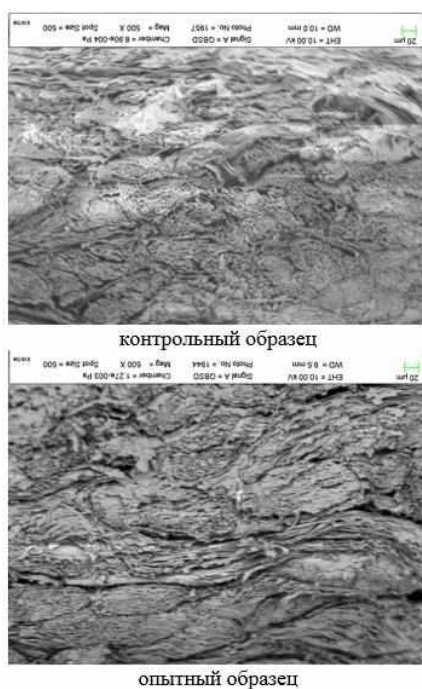


Рис. 2

Подобные изменения под воздействием ВЧЕ-плазменной обработки возможны лишь в результате структурных изменений дермы. Для наглядности изменений в структуре кожевенного материала образцы исследовались методом электронной микроскопии. На рис. 2 представлены срезы образцов кожи с покрытием из шкур КРС до и

после плазменной обработки (кратность увеличения в 500 раз). Микроснимки наглядно демонстрируют морфологические изменения структурной организации кожи с покрытием из шкур КРС в результате воздействия ВЧЕ-плазмы, характеризующейся перераспределением пористой структуры дермы и повышением ее однородности.

Характерной особенностью данного вида обработки является отсутствие каких-либо изменений химического состава образцов, что подтверждается данными инфракрасной (ИК) Фурье спектроскопии (рис. 3 – ИК-Фурье спектры поверхности кожи КРС контрольного (1) и обработанного (2) образца в обл. 1800...600 см<sup>-1</sup>). Сравнение ИК-спектров контрольного и опытного образцов показало их идентичность.

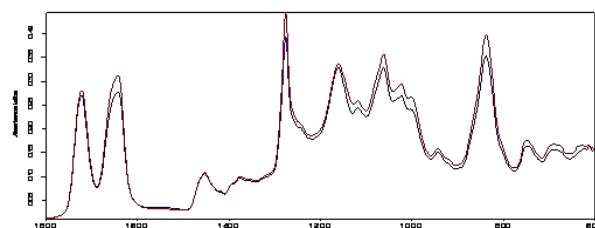


Рис. 3

## В Ы В О Д Ы

Высокочастотная емкостная плазменная обработка полуфабриката (краст) из шкур КРС позволяет значительно улучшить физико-механические и гигиенические свойства готовых кож с покрытием без приме-

нения дополнительных химических материалов, лишь за счет изменений морфологической структуры материала, что бесспорно является инновационной технологией получения кож высокого качества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллин И.Ш. Модификация нанослоев в высокочастотной плазме пониженного давления. – Казань: Изд-во Казан.гос.технол. ун-та, 2007.
2. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Красина И.В. Высококачественная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых материалов. Теория и практика применения. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2004.
3. Абуталипова Л.Н. Физические основы взаимодействия неравновесной низкотемпературной плазмы с капиллярно-пористыми полимерными материалами легкой промышленности. – Казань, 1997.
4. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Кашапов Н.Ф. Высококачественная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения. – Казань: Изд. Казанск. ун-та, 2000.
5. Strobel Eds.M., Lyons C.S., Mittal K.L. Plasma Surface Modification of Polymers. Relevance to Adhesion. –The Netherlands: VSP BV, 1984. P. 57.
6. Дубиновский М.З., Чистякова Н.В. Технология кожи. – М.: Легпромбытиздат, 1991.
7. Химия и технология кожи и меха / И.П. Страхов и др. – М.: Легпромбытиздат, 1985.

УДК 677.027.524.111.1

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_196

## СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ АКРИЛОВЫХ ПОЛИМЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕКСТИЛЯ

## MODERN ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF APPLICATION OF WATER DISPERSIONS OF ACRYLIC POLYMERS IN THE PRODUCTION OF TEXTILE

*Е.Б. САНЖЕЕВА, О.И. ОДИНЦОВА, О.В. КОЗЛОВА*

*E.B. SANZHEEVA, O.I. ODINTSOVA, O.V. KOZLOVA*

(ООО "БТК Текстиль",  
Ивановский государственный химико-технологический университет)

(LLC "BTK Textile",  
Ivanovo State University of Chemical Technology)

E-mail: ovk-56@mail.ru

*Представлен обзор современного состояния и перспективы использования водных дисперсий полимеров в технологиях отделки текстильных материалов (ТМ). Особое внимание уделено технологиям, связанным с форми-*

#### REFERENCES

1. Abdullin I.Sh. Modification of nanolayers in low-pressure high-frequency plasma. – Kazan: Publishing house of Kazan.state.technol. un-ta, 2007.
2. Abdullin I.Sh., Zheltukhin V.S., Krasina I.V. High-frequency plasma treatment of capillary-porous materials in a dynamic vacuum. Theory and practice of application. – Kazan: Kazan Publishing House. un-ta, 2004.
3. Abutalipova L.N. Physical bases of interaction of non-equilibrium low-temperature plasma with capillary-porous polymeric materials of light industry. – Kazan, 1997.
4. Abdullin I.Sh., Zheltukhin V.S., Kashapov N.F. High-frequency plasma-jet processing of materials at reduced pressures. Theory and practice of application. – Kazan: Ed. Kazan. un-ta, 2000.
5. Strobel Eds.M., Lyons C.S., Mittal K.L. Plasma surface modification of polymers. relevance to adhesion. –The Netherlands: VSP BV, 1984. P. 57.
6. Dubinovskiy M.Z., Chistyakova N.V. Skin technology. – М.: Legprombytizdat, 1991.
7. Chemistry and technology of leather and fur / I.P. Strakhov and others - М.: Legprombytizdat, 1985.

Рекомендована кафедрой плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов.  
Поступила 10.01.22.

*рованием на ТМ полимерных покрытий с функциональными свойствами, такими как свето- и воздухо- непроницаемые, паропроницаемые, покрытий, улучшающих колористические свойства цифровой и сублимационной печати, а также создающих эффекты световозвращения и ИК-ремиссии.*

*An overview of the current state and prospects of using aqueous polymer dispersions in finishing technologies for textile materials (TM) is presented. Special attention is paid to the technologies associated with the formation of polymer coatings on TM with functional properties, such as light and airtight, vapor-permeable, improving the color properties of digital and sublimation printing; creation of effects of retroreflection and IR remission.*

**Ключевые слова:** водные дисперсии, полимеры, технологии отделки, текстильные материалы, полимерные покрытия, функциональные свойства, цифровая и сублимационная печать.

**Keywords:** water dispersions, polymers, finishing technologies, textile materials, polymer coatings, functional properties, digital and sublimation printing.

Разработкой и изучением теоретических основ применения водных дисперсий полимеров различной природы при производстве текстиля с функциональными свойствами занимаются многие известные научные школы как зарубежные [1...8], так и российские [9...26].

Последнее десятилетие, благодаря успехам полимерной химии, ряд отечественных компаний, поставляющих дисперсии акриловых и уретановых полимеров в лакокрасочную, полиграфическую и другие промышленности, успешно начали производить водные дисперсии полимеров для легкой и текстильной промышленности. Появилась возможность создания огромного ассортимента полимеров, имеющих в своем составе разнообразные функциональные группы, способные придать текстильным материалам комплекс улучшенных специальных свойств.

Большую долю выпускаемых полимеров для отделки ТМ занимают препараты для текстильной пигментной печати. Это так называемые пленкообразующие связующие, которые входят в состав пигментной композиции и служат "цементирующим" и закрепляющим на ткани пигмент компонентом. [9]. Немалый объем поставляемой полимерной продукции пришелся на связующие для пигментного крашения, а также препараты для заключительной отделки. В

этой области преуспевают такие российские предприятия, как ООО "Сван", ООО "Оргхимпром" и ООО "Акрохимак" (г. Дзержинск Нижегородской области), ОАО "Пигмент" (г. Тамбов) и др.

Отличительные особенности связующих для пигментного колорирования текстильных материалов в сравнении с лакокрасочными полимерами связаны с температурными условиями формирования пленки, а именно с условиями нанесения печатной краски, сушки (60...80°C) и термофиксации (130...170°C) полимерного покрытия на ТМ на печатном оборудовании типа Stork, Zimmer, Elitex и др.. Поэтому при разработке связующих для пигментной печати учтены эти особые требования, которые способствуют получению и хороших прочностей окрасок к физико-химическим и эксплуатационным воздействиям, и позволяют решить проблемы "забивания" сетки шаблонов и нестабильности реологических свойств красок. Отечественные препараты вышеназванных компаний: лакротен, ларус-21э, рузин-14и, эмультекс, дистекс и др. в настоящее время используются в качестве связующих в пигментной текстильной печати [9], [10] и успешно составляют конкуренцию зарубежным биндерам.

При крашении ТМ пигментами также используются полимеры-связующие, и

функция их аналогична пигментной печати [11], [12]. Однако авторами также отмечено, что при колорировании трудноокрашиваемых параарамидных тканей пигментами одних связующих недостаточно, как это можно осуществить для тканей бытового назначения, и красильная композиция для обеспечения прочного крашения должна включать дополнительно сшивающее вещество и минеральный наполнитель. При этом показано, что поверхностное нанесение красильной композиции на ткань рапельным методом в отличие от пропитки позволяет более интенсивно и прочно окрасить ТМ.

Немалая роль отводится препаратам для заключительной отделки, без которых практически ни одна аппретирующая композиция не обходится. Из всех видов заключительной отделки наиболее распространенными в последнее время, особенно для тканей бытового назначения, и эффективными, не требующими сложного оборудования, являются те, в которых применяют готовые продукты на основе полиакрилатов, их сополимеров со стиролом, бутилацетатом, акриламидом и др. Как правило, такие вещества применяются к качестве основных или вспомогательных компонентов аппрета для заключительной отделки ТМ.

Разработано несколько технологических решений в соответствии с назначением ткани и свойствами, которые необходимо получить:

- хлопкосодержащим тканям с отделкой "МА", для придания им устойчивого наполненного мягкого грифа [13];

- хлопчатобумажным и смесовым тканям с малосминаемой отделкой с целью снижения концентраций основного сшивающего препарата и потерь прочности ткани на разрыв [14];

- хлопчатобумажным тканям тиковой подгруппы для придания свойств воздухо- непроницаемости [15];

- полиамидным материалам для придания формоустойчивой отделки при эксплуатации их в среде с высокой влажностью [16].

Кроме того, акриловые полимеры с успехом могут заменить зарубежные ана-

логи при воспроизведении технологий получения ряда специальных эффектов на ткани, таких как эффект световозвращения и ИК-ремиссии. Использование метакрилового сополимера Рузина-14и как полимерную основу для закрепления на ТМ стекло-микрошариков (СМШ) размером 30...60 мкм формируется прочное к условиям эксплуатации и химчисткам покрытие со световозвращающими свойствами, практически не уступающие по качеству известным зарубежным аналогам [17]. Определены оптимальные количества СМШ в полимерной матрице: количество их на единицу площади и глубина погружения СМШ в полимер. Показано, что удельные расходы стеклонаполнителя на единицу площади ТМ должны обеспечивать 80...90%-ное укрытие поверхности ткани (рис.1 – вид полученного световозвращающего материала под микроскопом).



Рис. 1

Необходимой степени погружения шариков в полимер, обеспечивающей эффективное световозвращение, достигали варьированием концентрации полимера в загущенной водно-полимерной композиции и температурно-временными параметрами термообработки для формирования прочного световозвращающего покрытия.

При использовании стиролакрилового сополимера Ларус-21из в качестве поверхностного модификатора напечатанных под камуфляж текстильных материалов и при наличии в составе полимерной композиции минерального ахроматического пигмента (черного) в определенных концентрациях рисунки приобретают эффект ИК-ремиссии



[18]. Изучение этого эффекта проводили совместно с ведущими специалистами крупнейшего российского предприятия "БТК Текстиль" с использованием спектрофотометра Lambda с приставкой (150мм Интегрирующая сфера), позволяющей оценить отражение в спектральном рабочем диапазоне 250...900 нм.

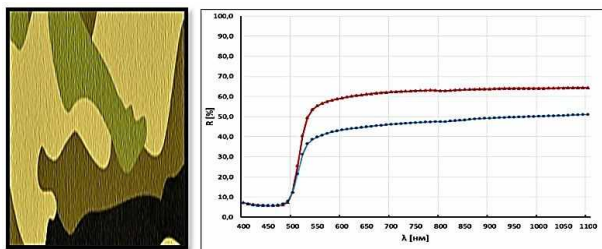


Рис. 2

На рис. 2 (вид камуфлированного рисунка (слева) и спектральные характеристики желтого пятна: верхняя кривая – исходная окраска; нижняя – с модификацией пигментно-полимерной композицией) на примере желтого пятна камуфлированного рисунка, поверхностно модифицированного полимерной композицией, наглядно продемонстрирован эффект снижения отражения окраски в ближней ИК-области спектра (нижняя кривая) в сравнении с немодифицированным образцом (верхняя кривая). Это снижение составляет 14 %. Расширенные спектральные исследования позволили авторам получить допустимые диапазоны концентрационных добавок принтекса черного в модифицирующую полимерную композицию. Актуальность решения этой задачи очевидна и полученные результаты имеют большое практическое значение.

Описанные выше технологии, созданные группой ученых на кафедре ХТВМ, объединены глубоким анализом и систематизацией знаний в области теории и практики применения полимеров отечественных производителей в отделке текстиля. Придаваемые текстильным материалам функциональные свойства требуют в каждом конкретном случае свои особые условия для реализации: вид и химический состав сополимеров; дополнительные реагенты (наполнители, сшивающие вещества, катализаторы, смягчители и др.); параметры

технологического процесса; приемы нанесения полимерных композиций на ткань и др.

В настоящее время результаты проведенных исследований легли в основу стройной теоретической, проверенной на практике, системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Textile Finishing. / Edited by Derek Heywood. – Society of Dyers and Colourists, 2003
2. Encyclopedia of Textile Finishing. / Hans-Karl Rouette. – Springer Verlag, 2001
3. Базоли К. Система пигментной печати на текстильных материалах фирмы "3V Sigma" // Текстильная химия. – 1996, № 1 (8). Спец. вып. РСХТК. С. 22...28.
4. Агстер Х. Пигментная печать и экология. Мягкая химия: мечта и реальность // Текстильная химия. – 1996, № 1 (8). Спец. вып. РСХТК. С.13...19
5. DeBiase J., La Croce S., Landolt R. Compatibility of PMW coatings with assembly processes // Electronic Packaging and Production. February. – 1996. P.42.
6. Melchior M., Sonntag M. Recent developments in aqueous two-component polyurethane (2K-PUR) coatings // Progress in Org. Coat. – 2000. V. 40. P. 99.
7. Mondal S., Hu J.L. Water vapor permeability of cotton fabrics coated with shape memory polyurethane // Carbohydrate Polymers. – Vol. 88, Is. 1, 15 November 2004. P. 212...216.
8. Wanga Z.F., Wanga B., Qia N., Ding B.J., Hub L. Free volume and water vapor permeability properties in polyurethane membranes studied by positrons // Materials Chemistry and Physics. – Vol. 67, Is. 3, 1 February 2007. P. 282...287.
9. Заводчикова А.А., Сафонов В.В., Иванов В.В. Печатные УФ-краски на основе нанопигментов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №2. С.48...52.
10. Заводчикова А.А., Сафонов В.В., Иванов В.В. Нанопигменты на основе смесей красителей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.82...85.
11. Меленчук Е.В., Захарченко А.С., Козлова О.В. Технология крашения текстильных материалов пигментами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 7. С. 37...40.
12. Меленчук Е.В., Козлова О.В., Алешина А.А. Использование дисперсий акриловых полимеров при печати тканей пигментами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 1. С.13...20.
13. Патент на изобретение RU 2480548 С2, 27.04.2013. Заявка № 2011132751/05 от 03.08.2011. Захарченко А.С., Козлова О.В. Бесформальдегидный состав для заключительной отделки целлюлозо-содержащих текстильных материалов.

14. Метелева О.В., Веселов В.В. Роль химии в процессах изготовления швейных изделий // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2002, т. XLVI, № 1. С. 121...132.

15. Тихонова Н.В., Леонова Е.В., Андреева А.А., Бондарева Н.А. Проектирование одежды для рыбаков из водо- и воздухопроницаемых материалов // Вестник технологического университета. – 2017. Т.20, №4. С.77...80.

16. Блиничева И.Б., Мизеровский Л.Н., Шарнина Л.В. Физика и химия волокнообразующих полимеров / Под ред. Б.Н. Мельникова. – Иваново: ИГХТУ, 2005.

17. Покровская Е.П., Метелева О.В., Козлова О.В. Обеспечение повышенной видимости детской одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 2. С. 115...118.

18. Зимнуров А.Р., Козлова О.В., Одинцова О.И. Современное состояние и перспективы развития технологии получения текстиля с ИК-ремиссией // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2020, № 4. С. 40...44.

#### REFERENCES

1. Textile Finishing. / Edited by Derek Heywood. – Society of Dyers and Colourists, 2003

2. Encyclopedia of Textile Finishing. / Hans-Karl Rouette. – Springer Verlag, 2001

3. Basoli K. System of pigment printing on textile materials of the company "3V Sigma" // Textile chemistry. - 1996, № 1 (8). Specialist. issue RSHTK. P.22...28.

4. Agster H. Pigment printing and ecology. Soft chemistry: dream and reality // Textile chemistry. – 1996, № 1 (8). Specialist. issue RSHTK. P.13...19

5. DeBiase J., La Croce S., Landolt R. Compatibility of PMW coatings with assembly processes // Electronic Packaging and Production. February. – 1996. P.42.

6. Melchior M., Sonntag M. Recent developments in aqueous two-component polyurethane (2K-PUR) coatings // Progress in Org. Coat. – 2000. V. 40. R. 99.

7. Mondal S., Hu J.L. Water vapor permeability of cotton fabrics coated with shape memory polyurethane // Carbohydrate Polymers. – Vol. 88, Is. 1, 15 November 2004. P. 212-216.

8. Wanga Z.F., Wanga B., Qia N., Ding B.J., Hub L. Free volume and water vapor permeability properties

in polyurethane membranes studied by positrons // Materials Chemistry and Physics. – Vol. 67, Is. 3, 1 February 2007. P. 282...287.

9. Zavodchikova A.A., Safonov V.V., Ivanov V.B. Printing UV inks based on nanopigments // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2011, № 2. P.48...52.

10. Zavodchikova A.A., Safonov V.V., Ivanov V.B. Nanopigments based on dye mixtures // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2011, № 4. P.82...85.

11. Melenchuk E.V., Zakharchenko A.S., Kozlova O.V. Technology of dyeing textile materials with pigments // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2010, № 7. S. 37...40.

12. Melenchuk E.V., Kozlova O.V., Aleshina A.A. The use of dispersions of acrylic polymers in printing fabrics with pigments // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2011, № 1. P.13 ... 20.

13. Patent for invention RU 2480548 C2, 04/27/2013. Application № 2011132751/05 dated 08/03/2011. Zakharchenko A.S., Kozlova O.V. Formaldehyde-free composition for the final finishing of cellulose-containing textile materials.

14. Meteleva O.V., Veselov V.V. The role of chemistry in the processes of manufacturing garments // Ros. chem. and. (J. Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev). - 2002, vol. XLVI, № 1. S. 121 ... 132.

15. Tikhonova N.V., Leonova E.V., Andreeva A.A., Bondareva N.A. Designing clothes for fishermen from waterproof and airtight materials // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. - 2017. V.20, № 4. P.77...80.

16. Blinicheva I.B., Mizerovsky L.N., Sharnina L.V. Physics and chemistry of fiber-forming polymers / Ed. B.N. Melnikova. – Ivanovo: IGKhTU, 2005.

17. Pokrovskaya E.P., Meteleva O.V., Kozlova O.V. Ensuring increased visibility of children's clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2013, № 2. P. 115 ... 118.

18. Zimnurov A.R., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Current state and prospects for the development of technology for producing textiles with IR remission // Izv. universities. Light industry technology. - 2020, № 4. P.40...44.

Статья опубликована по материалам Смартекс. Поступила 15.10.21.

**МЕТОДЫ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ  
КОЛЛОИДНЫМ РАСТВОРОМ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ**

**METHODS OF NANOMODIFICATION  
OF SILVER NANOPARTICLES WITH COLLOIDAL SOLUTION  
OF TEXTILE MATERIALS FOR SPECIAL CLOTHING**

*V.V. ХАММАТОВА, Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ*

*V.V. KHAMMATOVA, R.F. GAINUTDINOV*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: venerabb@mail.ru

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой наномодифицированных текстильных материалов для одежды специального назначения на основе применения неравновесной низкотемпературной плазмы и пропитки коллоидным раствором наночастиц серебра, что приводит к подавлению роста патогенных микроорганизмов в пододежном пространстве, уменьшению неприятного запаха. Это позволяет использовать изделие без стирки более длительный промежуток времени, так как его загрязнение влаговыделениями кожного покрова человеческого тела происходит медленнее. При оценке антибактериальных свойств текстильных материалов установлена сохранность этого эффекта с течением времени. При химической модификации текстильных волокон препаратами коллоидного серебра недостатками метода являются его нестабильность и быстрая вымываемость серебра из ткани. В данной работе закрепление частиц серебра на поверхности ткани производилось с помощью плазменной обработки, что не привело к изменению химического состава и структурных характеристик наномодифицированных текстильных материалов.*

*The article discusses issues related to the development of nanomodified textile materials for special-purpose clothing based on the use of nonequilibrium low-temperature plasma and impregnation with a colloidal solution of silver nanoparticles, which leads to the suppression of the growth of pathogenic microorganisms in the underbody space, reducing unpleasant odors. This allows you to use the product without washing for a longer period of time, since its contamination by moisture secretions of the skin of the human body occurs more slowly. When assessing the antibacterial properties of textile materials, the preservation of this effect over time has been established. When chemically modifying textile fibers with colloidal silver preparations, the disadvantages of the method are its instability and the rapid leaching of silver from the fabric. In this work, silver particles were fixed on the fabric surface using plasma treatment, which did not lead to a change in the chemical composition and structural characteristics of nanomodified textile materials.*

**Ключевые слова:** плазма, наночастицы серебра, коллоидный раствор, наномодификация, текстильный материал, специальная одежда, стирка, микроскопические исследования, структура.

**Keywords: plasma, silver nanoparticles, colloidal solution, nanomodification, textile material, special clothing, washing, microscopic studies, structure.**

В настоящее время среди технических текстильных материалов выделился особый весьма перспективный вид, создание которого связано с развитием нано- и биотехнологий и использованием последних достижений физики и химии. Это так называемый функционально активный текстиль, каждый конкретный вариант которого разрабатывается в соответствии с определенным назначением. Именно назначение и определяет, какие модифицирующие компоненты используются для придания текстилю тех или иных свойств.

Особенно актуально создание таких материалов в нынешних условиях, когда резкое падение текстильного производства в условиях ужесточения конкуренции настойчиво подталкивает отечественных производителей к кардинальному пересмотру ассортимента ряда изделий, завоеванию новых сегментов рынка за счет расширения выпуска изделий, востребованных потребителем. Среди наиболее известных следует отметить антимикробные и антигрибковые изделия. Подавление роста патогенных микроорганизмов в пододежном пространстве приводит к уменьшению неприятного запаха, что позволяет использовать изделие без стирки более длительный промежуток времени, так как его загрязнение влаговыделениями кожного покрова человеческого тела происходит медленнее.

Для реализации этих проблем в современном мире быстро развиваются нанотехнологии, которое характеризуются изменением морфологии натуральных волокнистых материалов наноразмерными частицами металлов (1...50 Нм) [1]. Среди значительного числа препаратов, использующихся (или рекомендованных к применению) для создания антимикробных, бактерицидных, фунгицидных текстильных материалов, в последнее время в качестве наиболее перспективных, рассматриваются металлы, а именно серебро, медь, золото, платина, олово, свинец, ртуть в различных формах: растворы солей, комплексные со-

единения металлов с органическими лигандами, коллоидные растворы наноразмерных частиц металлов и др.

В наноразмерном состоянии большинство веществ приобретают новые свойства и становятся крайне активными в биологическом отношении. Наиболее перспективны наноматериалы, отвечающие таким основным требованиям, как биосовместимость и программируют позитивное действие на биологический объект. В числе наноматериалов, которые производятся в настоящее время промышленностью, особое внимание привлекают препараты наночастиц серебра и других драгоценных металлов, обладающие антибактериальными свойствами [2].

В качестве наномодифицирующего агента в данной работе выбрано наносеребро. Этот выбор основан на его полифункциональности, обусловленной тем, что, помимо известной для других наполнителей способности влиять на физико-механические, изолирующие и другие эксплуатационные характеристики текстильных и кожаных материалов, кроме того, наноразмерные частицы серебра обладают высокими антибактериальными свойствами [3].

В последние годы в науке XXI века при модифицировании тканей все больше внимание уделяется коллоидному раствору наночастиц серебра, так как возрастает необходимость создания материалов с новыми и улучшенными характеристиками без применения методов химического синтеза. Это обусловлено, прежде всего, широким спектром возможностей их практического применения, в которых используются специфические свойства как самих наночастиц серебра, так и наномодифицированных ими материалов.

В готовом виде коллоидного раствора наночастиц серебра не существует, необходимо его синтезировать по стандартной методике. Синтез наночастиц серебра, обладающих уникальным сочетанием оптических, антибактериальных, каталитических свойств, в настоящее время относится к активно развивающимся направлениям кол-

лоидной химии. Поэтому в лаборатории Центра коллективного пользования ФГБОУ ВО "КНИТУ" стали получать коллоидный раствор наночастиц серебра различной концентрации.

Для осуществления эффективной пропитки антибактериальным препаратом текстильных материалов проводится обработка материалов в неравновесной низкотемпературной плазме (ННП) пониженного давления. Обработка в ННП пониженного давления является эффективным методом изменения поверхностных свойств текстильных материалов и волокон, что показано во многих исследованиях [4].

Цель плазменной обработки заключается в активации поверхности текстильных материалов, что в дальнейшем благоприятно влияет на впитывающую способность ткани. Для установления закономерностей воздействия ННП пониженного давления на образцы текстильных материалов изменяются входные параметры установки в следующих пределах: мощность разряда от 0,6 до 2,2 кВт, время обработки от 60 до 600 секунд, расход плазмообразующего газа от 0 до 0,2 г/с и давление в рабочей камере от 13,3 до 533 Па. В качестве плазмообразующего газа используются аргон и воздух, а также смеси газов аргон и азот в соотношении 70% : 30% соответственно [5].

Для придания антибактериальных свойств текстильным материалам проводится их модификация путем пропитки активированных материалов водным коллоидным раствором наночастиц серебра, с концентрацией по металлу ~ 10 мг/мл. Для исследований применяются коллоидные растворы с концентрацией наночастиц серебра 0,1 г/л; 0,2 г/л; 0,3 г/л. Раствор необходимой концентрации получается путем разбавления исходного коллоидного раствора наночастиц серебра, полученного ранее, дистиллированной водой (ГОСТ 6709–72).

Пропитка текстильных материалов осуществляется посредством полного помещения каждой пробы в раствор антибактериального препарата. Время пропитывания варьируется в диапазоне 5, 10, 15 минут, температура раствора поддерживается 20...24°C. После пропитки образцы матери-

ала извлекаются из раствора серебра и просушиваются в подвешенном состоянии без прямого попадания солнечных лучей до полного высыхания при температуре воздуха 22...26°C.

*Методика исследования экспериментальных образцов*

После плазменной обработки и пропитывания текстильных материалов наночастицами серебра проводятся экспериментальные исследования полученных свойств.

При оценке антибактериальных свойств текстильных материалов важно учитывать сохранность этого эффекта с течением времени. При химической модификации текстильных волокон препаратами коллоидного серебра недостатками метода являются его нестабильность и быстрая вымываемость серебра из ткани. В данной работе закрепление частиц серебра на поверхности ткани производилось с помощью плазменной обработки.

Влияние этой обработки на прочность закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое материалов, пропитанных раствором наночастиц серебра, исследовалось путем определения количества содержащегося в образце серебра до и после 5 циклов промывки. Данная операция имитировала циклы стирки в обычных условиях эксплуатации изделия. Промывка образцов производилась в течение 20 мин в среде дистиллированной воды, водопроводной воды, а также водопроводной воды с добавлением ПАВ при температуре воды 40°C. Количество промывок составляло от 1 до 5. После каждого цикла промывки образцы высушивали при комнатных условиях, избегая прямого попадания солнечных лучей.

Предлагаемые в работе методы микробиологического исследования заимствованы из стандартных методов исследования стерильности биологических объектов, которые описаны при исследовании материалов [6].

Химический состав и структурные характеристики наномодифицированных текстильных материалов после стирок оценивались с помощью методов инфракрасной (ИК) спектроскопии, а также микроскопии

ческих исследований поверхности образцов до и после наномодификации.

С целью исследования изменения химического состава текстильных материалов контрольных и наномодифицированных образцов спектры поглощения снимались на инфракрасном Фурье-спектрометре ФСМ 1202 ООО "Инфраспек" с погрешностью определения волновых чисел  $\pm 0,1 \text{ см}^{-1}$ . Спектры пропускания снимались с использованием приставки МНПВО с алмазным кристаллом в диапазоне  $650...4000 \text{ см}^{-1}$ , разрешение  $0,5 \text{ см}^{-1}$ , скорость сканирования 10 КГц. К числу основных преимуществ ИК-Фурье спектрометров ФСМ можно отнести высокую чувствительность, которая позволяла регистрировать предельно низкие концентрации, а также малые количества вещества.

Результаты ИК-спектроскопии экспериментальных образцов ткани "Премьер Комфорт 250А" артикул 18422 а/х-М, наномодифицированных коллоидным раствором наночастицами серебра, представлены на рис. 1 (ИК-спектры лабораторных образцов ткани "Премьер Комфорт 250А" артикул 18422 а/х-М. Режим обработки:  $W_p=1,4 \text{ кВт}$ ;  $P=24-26 \text{ Па}$ , плазмообразующий газ аргон, где 1 – контрольный образец; 2 – образец, обработанный в ННП и наномодифицированный наночастицами серебра (время пропитки 5 мин, концентрация серебра 0,2%).).

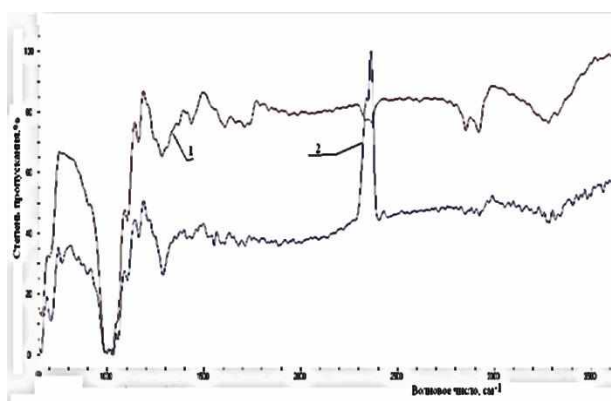
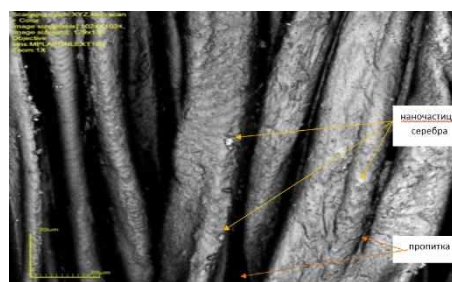


Рис. 1

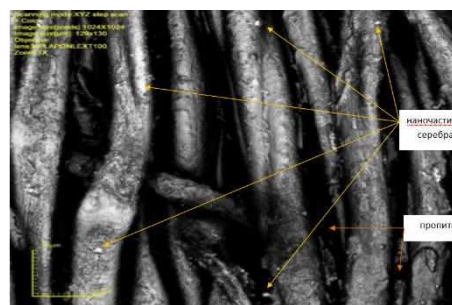
На полученных ИК-Фурье спектрах наномодифицированных образцов ткани ННП пониженного давления и наночастицами серебра в контрольных образцах су-

щественных изменений не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии химических изменений в структуре ткани.

Для исследования структуры и поверхностных изменений текстильных материалов использовался конфокальный лазерный сканирующий микроскоп Olympus OLS LEXT 4000. Общий диапазон увеличений составляет от 50 до 17280 крат и зависит от используемых объективов. Разрешение по горизонтали до 120 нм, по вертикали до 10 нм. Микрофотографии экспериментального образца расшлихтованной ткани с пропиткой "Премьер Комфорт 250А" артикул 18422 а/х-М с наночастицами Ag представлены на рис. 2 (микрофотографии экспериментального образца расшлихтованной ткани с пропиткой "Премьер Комфорт 250А" артикул 18422 а/х-М с наночастицами Ag: а) – контрольный образец  $\times 2138$ , б) – наномодифицированный образец  $\times 2138$ ).



а)



б)

Рис. 2

Равномерность распределения наночастиц серебра на поверхности материалов после стирки, исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии, где пространственное разрешение составляло 2138 нм. Кроме того, уникальная сканиру-

щая система (scanner-on-scanner) с технологией "двойная пиноль" позволяла измерять образцы с наклоном до 85°.

## ВЫВОДЫ

При получении антибактериальных текстильных материалов важной задачей являлось сокращение длительности наномодифицирования технических материалов для специальной одежды и повышение устойчивости антимикробного эффекта к влажно-тепловым обработкам. Такие материалы должны обладать высокой антимикробной активностью, блокировать функцию размножения микробов, но в то же время они не должны подавлять работу иммунной системы человека.

Полученные текстильные материалы для специальной одежды на основе применения метода наномодифицирования ННП пониженного давления и коллоидного раствора наночастиц серебра показали, что они способны сохранять антимикробный эффект, так как в течение длительного времени стирок частицы коллоидного раствора наночастиц сохраняются как в контрольных образцах, так и наномодифицированных образцах. Но в наномодифицированных образцах их количество наблюдается в 3 раза больше.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дементьева О.В., Филиппенко М.А., Карцева М.Е., Рудой В.М. Наночастицы золота и серебра и наноструктуры на их основе. Синтез, свойства и перспективы применения в медицине // Альманах клинической медицины. – 2008. Т. 17. С. 317...320.
2. Петрицкая Е.Н., Абаева Л.Ф., Рогаткин Д.А., Литвинова К.С., Бобров М.А. К вопросу о токсичности наночастиц серебра при пероральном введении коллоидного раствора // Альманах клинической медицины. – 2011, № 25. С. 9...12.
3. Хамматова В.В., Разумеев К.Э., Абдуллин И.Ш. Разработка инновационных технологий производства многофункциональных натуральных материалов с управляемой микроструктурой. – Казань: Изд – во КНИТУ, 2015.

4. Тимошина Ю.А. Разработка трикотажных и нетканых волокнистых материалов с антибактериальными свойствами: Дис...канд. техн. наук. – Казань, 2014.

5. Хамматова Э.А., Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В., Матвеев Ю.Н., Васильева А.К. Совершенствование технологии промышленного производства конкурентоспособных материалов нового поколения. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017.

6. Пат. 2496808 РФ, МПК C08L5/00 Биополимерная композиция для обработки мехового полуфабриката /Ю.В. Илькович, Г.Ф. Есина, В.С. Линева и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет дизайна и технологии". -№2012107834/05, заявлено 02.03.2012, опубликовано 27.10.2013.

## REFERENCES

1. Dement'eva O.V., Filippenko M.A., Kartseva M.E., Rudoy V.M. Gold and silver nanoparticles and nanostructures based on them. Synthesis, properties and prospects of application in medicine // Almanac of Clinical Medicine. - 2008. T. 17. P. 317 ... 320.

2. Petritskaya E.N., Abaeva L.F., Rogatkin D.A., Litvinova K.S., Bobrov M.A. On the toxicity of silver nanoparticles during oral administration of colloidal solution // Almanac of Clinical Medicine. – 2011, № 25. P. 9...12.

3. Khammatova V. V., Razumeev K. E. and Abdullin I. Sh. Development of innovative technologies for the production of multifunctional natural materials with controlled microstructure. - Kazan: Publishing house - in KNRTU, 2015.

4. Timoshina Yu.A. Development of knitted and non-woven fibrous materials with antibacterial properties: Dis....cand. tech. Sciences. - Kazan, 2014.

5. Khammatova E. A., Gainutdinov R. F., Khammatova V. V., Yu.N. Matveev, A.K. Vasilyeva. Improving the technology of industrial production of competitive new generation materials. - Kazan: Publishing House of KNRTU, 2017.

6. Pat. 2496808 RF, IPC C08L5/00 Biopolymer composition for processing fur semi-finished product /Yu.V. Ilkovich, G.F. Esina, V.S. Lineva and others; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Design and Technology". - № 2012107834/05, declared on 03/02/2012, published on 10/27/2013.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 19.11.21.

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ  
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА КОЖИ И МЕХА****APPLICATION OF ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED SOLUTIONS  
IN TECHNOLOGICAL PROCESSES OF LEATHER AND FUR PRODUCTION**

*Н.Г. ЕВТЕЕВА, О.В. ДОРМИДОНТОВА, А.С. ОКУТИН, О.А. БЕЛИЦКАЯ*

*N.G. EVTEEVA, O.V. DORMIDONTOVA, A.S. OKUTIN, O.A. BELITSKAYA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: natali-96.09@yandex.ru; dormidontova-ov@rguk.ru;  
okutin-as@rguk.ru; belitskaya-oa@rguk.ru

*Целью является разработка технологий выделки кож и меха с применением электроактивированных растворов, позволяющих повысить потребительские свойства и интенсифицировать жидкостные процессы кожевенно-мехового производства.*

*Основной задачей являлись оценка влияния обработки на структуру и физико-механические свойства дермы шкур крупного рогатого скота и шкур кролика. Для этого использовался комплекс традиционных химических, физико-химических и современных инструментальных методов.*

*Предложенные технологии позволяют значительно сократить расход химических материалов, прежде всего, гидроксида кальция и сульфида натрия, обеспечить экологически приемлемые показатели отработанных растворов, сократить длительность обработки до 10...12 часов.*

*The aim is to develop technologies of leather and fur dressing with the use of electroactivated solutions, which allow increasing consumer properties and intensifying fluid processes of leather and fur production.*

*The main objective was to assess the effect of treatment on the structure and physical and mechanical properties of the dermis of cattle and rabbit hides. For this purpose, a complex of traditional chemical, physical and chemical and modern instrumental methods was used.*

*The proposed technologies allow us to significantly reduce the consumption of chemical materials, primarily calcium hydroxide and sodium sulfide, ensure environmentally acceptable indicators of spent solutions, and reduce the duration of treatment to 10...12 hours.*

**Ключевые слова:** электрохимически активированные растворы, анолит, католит, отмочка, зольение, кожевенное и меховое производство, выделка.

**Keywords:** electrochemically activated solutions, anolyte, catholyte, soaking, ashing, leather and fur industry, manufacturing.



### *Введение*

В последнее время перед отраслью кожевенно-меховой промышленности поставлен ряд задач, связанных с охраной окружающей среды, направленных на увеличение выпуска готовой продукции и улучшение ее качества. Поставленные задачи тесно связаны с вопросами интенсификации и модернизации технологических процессов производства кожи и меха, которые не могут быть решены без применения новых химических материалов.

Современные технологии этих производств считаются водоемкими, длительными, трудоемкими и экологически небезопасными, так как предусматривают использование значительных количеств воды, извести, аммонийных соединений, хлоридов, сульфатов, солей хрома, большинство из которых не удаляются физико-химическими и биологическими методами и тем самым являются основными источниками загрязнения сточных вод.

До настоящего времени, несмотря на попытки применить различные реагенты для проведения технологических процессов, не удалось полностью исключить или сократить из технологии производства такие токсичные химические материалы, как гидроксид кальция, сульфид натрия, соли хрома, а также биоциды и антисептики.

Поэтому, чтобы устранить эти недостатки, повысить рентабельность и существенно уменьшить количество потребляемых вредных веществ в кожевенно-меховом производстве, необходимо перейти к использованию экологически чистых методов интенсификации технологических процессов [1], [2]. К одному из таких методов можно отнести электрохимическую активацию воды (ЭХАВ). Эта технология дает возможность получать растворы с требуемыми окислительно-восстановительными и кислотно-основными свойствами [3...7].

Несмотря на то, что явление электрохимической активации растворов изучают сравнительно давно и к настоящему времени электрохимически активированные растворы уже нашли широкое практическое применение в разных странах в многочисленных областях деятельности [8...14]

для обеззараживания воды, обезжиривания биологических объектов, а относительно применения ЭХА растворов при обработке сырья и полуфабрикатов в кожевенно-меховой промышленности встречаются лишь отдельные публикации и исследования. Существенным плюсом более активного применения ЭХАР будет снижение экологической нагрузки кожевенно-мехового производства на окружающую среду и интенсификация технологических процессов производства кожи и меха.

Так как электрохимическая активация растворов сопровождается изменением их химического состава, кислотности и щелочности, значительным повышением реакционной способности. Из исходного малоинерализованного раствора путем электрохимической активации получают многофункциональные растворы, такие как анолит, обладающий дезинфицирующими, стерилизующими и моющими свойствами, и католит, обладающий моющими, и экстрактивными свойствами. Получаемые растворы с требуемыми свойствами целесообразно использовать при проведении процессов производства кожи и меха.

Таким образом, в кожевенно-меховой промышленности, где проблема рационального использования водных ресурсов и химических материалов стоит достаточно остро, использование электроактивированных растворов позволит интенсифицировать процесс обработки перерабатываемого сырья, повысить экологическую безопасность и экономическую эффективность производства.

### *Методы*

За последнее время ЭХА-технологии являются наиболее перспективными, так как характеризуются простотой, универсальностью, эффективностью, экономичностью, а главное – экологической чистотой.

В связи со всем вышеизложенным, разрабатываемая технология основывается именно на применении электроактивированных растворов в технологических процессах кожевенного и мехового производства.

Исследование разделено на несколько этапов:

1) получение электроактивированных растворов (анолит и католит) для дальнейших технологических процессов;

2) применение анолита в выделке меха, а именно в отмоке, пикелевании и дублении и анализ прочностных характеристик шкурок;

3) применение анолита в отмоке кожевенного сырья;

4) применение католита в золении кожевенного сырья.

Для дальнейшего усовершенствования методики необходимы электрохимические установки, позволяющие получать растворы с заданными показателями. Отличительным признаком применения ЭХА растворов является то, что электрохимический синтез химических агентов проходит на месте применения, а это намного дешевле (суммарно) применения покупных химических реагентов, так как в их производство входят затраты на упаковку, перевозку, хранение и приготовление.

Традиционными материалами для проведения отмоки являются карбонат натрия, различные ПАВ и биоциды, для золенин – сульфид натрия и гидроксид кальция.

#### *Результаты и обсуждения*

Экспериментальное проведение процессов выделки шкурок кролика пресно-сухого метода консервирования проводилось по следующей схеме:

Шкурку кролика разделили пополам по хребтовой линии, затем провели отмоку.

Контроль процесса осуществляли с помощью редуказной пробы, количество микроорганизмов в 1 г образца и в 1, и во 2 группе было в норме и составило около  $20 \cdot 10^6$ , при этом обводнение образца осуществляется за 4 часа. Далее провели мездрение, затем пикелевание. Контроль осуществляли через определение рН раствора и пробой на сушинку. Дубление проводили добавлением сухого хромового дубителя основностью 33% в пикельный раствор и контролировали по температуре сваривания. Температура сваривания обоих образцов была не ниже  $65^\circ\text{C}$ , в соответствии с ГОСТ 2974–75 "Шкурки кролика меховые выделанные. Технические условия". После дубления провели отжим, пролежку, жирование, откатку, разбивку.

При этом в контрольной группе 1 выделку провели стандартно, в опытной группе 2 – заменили воду в отмоке и пикелевании на анолит (рН=3,04) с использованием всех сопутствующих материалов (соли, кислот и т.п.).

После выделки половинок провели испытания прочностных характеристик шкурок кролика в соответствии с ГОСТ 332267–2015 "Шкурки меховые и овчины выделанные. Методы механических испытаний" и статистическую обработку данных методом оценки достоверности разности средних. Результаты представлены в табл. 1 (результаты прочностных испытаний шкурок кролика, n=6).

Т а б л и ц а 1

№	Группа	Средняя разрывная нагрузка образцов, Н	Разрывная нагрузка, регламентированная ГОСТ 2974-75, Н
1	Контроль	80,3±20	Не менее 50
2	Опыт	106,6±21,9	

Как видно из табл. 1, образцы из обеих групп имеют достаточную прочность, соответствующую требованиям ГОСТа. Однако достоверной разницы в показателях 1 и 2 группы выявлено не было ( $t_{\text{факт}} = 0,886 < t_{\text{табл}} = 2,228$ , при  $p = 0,05$ ). При этом необходимо отметить, что хотя разница и не существенна, но во 2-й группе при выделке с применением ЭХАР значение показателя выше, чем в контрольной группе. Из чего следует, что электрохимическая активация

является перспективным направлением исследований.

Отмочно-зольные процессы производства кожи проводились на сырье крупного рогатого скота мокросоленого способа консервирования.

Основные параметры разработанной методики проведения обработки шкур крупного рогатого скота мокросоленого способа консервирования представлены в табл. 2 (методика проведения отмочно-

зольных процессов с использованием католита). Отмочно-зольные процессы проводятся в подвесных барабанах при постоянном их вращении со скоростью 3...4 об/мин. Отмока выполняется после предварительной промывки и мездрения. Данная методика является безреагентной и придает получаемым кожевенным полуфабрикатам хорошие физико-химические и упругопластические свойства.

Т а б л и ц а 2

Параметры обработки	
Отмока	
Расход, % от массы сырья:	
- карбонат натрия	1,5
- вода	150
После отмоки вода сливается	
Золение	
- католит	38
- вода	112
Продолжительность	10...12 ч

Следует отметить, что обработка в растворе католита обеспечивает более высокую степень разволокнения структуры дермы, как на макро-, так и на микроуровне, что подтверждено проведенными ранее исследованиями [15...18]. Такие изменения характеризуются свойствами католита, которые способствуют интенсивному разрыхлению структуры дермы и полному извлечению глобулярных белков и мукополисахаридов.

Во время обработки сырья в растворе католита происходят более значительные изменения в структуре дермы. При этом следует принимать во внимание, что интенсивное разрыхление структуры дермы может привести к усилению связывания реагентов, используемых в последующих процессах кожевенного производства, например, дубящих соединений хрома. Как известно, повышенное содержание хромового дубителя в лицевом слое кожи приводит к садке и образованию дубной стяжки. Эти факты необходимо учитывать при отработке технологического регламента производства кож с использованием электроактивированных растворов.

При проведении отмоки с анолитом результаты анализа показывают, что используемый электрохимически активированный раствор ингибирует развитие микроорганизмов, поэтому не требуется введения биоцидов, а также позволяет через 2 часа после начала процесса достичь нужной обводненности [19], [20].

## В Ы В О Д Ы

По итогам исследований сделаны следующие выводы:

- при использовании анолита в процессе отмоки достигается равномерное обводнение шкур за 3...4 часа, существенно замедляется развитие бактериальных микроорганизмов, за счет чего существенно снижается возможность бактериального повреждения кожевенного и мехового сырья;
- использование ЭХА растворов не ухудшает прочностных показателей меховых шкур;
- при использовании католита в процессе золени резко ускоряется процесс обезволаживания и происходит лучшее разделение структуры дермы;
- применение католита в золении кожевенного сырья позволит сократить или исключить гидроксид кальция и сульфид натрия из технологических процессов, а также позволит обеспечить экологически приемлемые показатели отработанных отмочно-зольных растворов и позволит сократить длительность обработки;
- предложенная технология проведения процессов обработки кожевенного и мехового сырья требует дальнейшей доработки для успешного проведения последующих процессов производства и получения качественной готовой кожи и меха.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Балыев С.Б., Шарифуллин Ф.С. Перспективные методы обработки в производстве мехового полуфабриката // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, № 3. С. 54...59.
2. Балыев С.Б., Шарифуллин Ф.С., Хабиров Р.Р. Перспективы применения плазменных методов при обработке кожи // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, № 2. С. 20...22.

3. Бахир В.М. Электрохимическая активация: изобретения, техника, технология. – М.: Вива – Стар, 2014.

4. Бахир В.М. Электрохимическая активация: ключ к экологически чистым технологиям водоподготовки // Журнал водоснабжения и канализации. – 2012 Вып. 1–2. С. 89...104.

5. Бахир В.М. Теоретические основы электрохимической активации. – М., "Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники", 1999.

6. Бахир В.М. Электрохимическая активация. Ч.2. – М.: ВНИИИ мед. техники, 1992.

7. Юсупов Д.Р., Беркинов Э.Х., Муродов Р.Н. Электрохимическая активация водных сред // Вестник Науки и Творчества. – 2018, № 2(26). С. 48...51.

8. Бахир В.М. и др. Электрохимическая активация: очистка воды и получение полезных растворов. – М.: Маркетинг Саппорт Сервисиз, 2001.

9. Шлыкова А.Н., Панкина И.А. Перспективы использования электро-химически активированной воды при проращивании семян зернобобовых культур // Сб. тез. VI Междунар. науч.-практ. конф.: Пищевые инновации и биотехнологии, КемГУ. Кемерово. – 2018. С. 164...166.

10. Thorn RM, Lee SW, Robinson GM, Greenman J, Reynolds DM. Electrochemically activated solutions: evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments. Eur J Clin Microbiol Infect Dis. – 2012, 31. P.641...653.

11. Hand S, Cusick RD. Electrochemical Disinfection in Water and Wastewater Treatment: Identifying Impacts of Water Quality and Operating Conditions on Performance. Environ Sci Technol. 2021 Mar 16;55(6):3470-3482.

12. Danylkovych A.G., Lishchuk V.I., Romaniuk O.O. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials. Springerplus. – 2016.

13. Suvorov O.A., Kuznetsov A.L., Shank M.A., Volozhaninova S.Yu., Pugachev I.O., Pasko O.V., Babin Yu.V. Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies As A Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies // Int.J. Pharm. Res. Allied Sci. – 7(2), 2018. P.43...52.

14. Durai G., Rajasimman M. Biological Treatment of Tannery Wastewater // Journal of Environmental Science and Technology. –V. 4, № 1, 2011. P. 1...17.

15. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И. Изменение структуры дермы в растворах католита // Тез. докл. 73 Внутривузовской научн. студенческой конф.: Молодые ученые – инновационному развитию общества (МИР-2021). Часть 3, с. 79-79, – М.: ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина", 2021.

16. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И. Изменение структуры дермы в растворах католита. Инновационное развитие техники и технологий в промышленности // Сб. мат. Всероссийск. научн. конф. молодых исследователей с международным участием. Ч.1. – М.: ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина", 2021. С. 178...182.

17. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И. Влияние золенина с использованием католита на упруго-пластические свойства голяя // Сб. мат. Всерос. научн. конф. молодых исследователей с международным участием: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020), посвященная Юбилейному году в РГУ им. А.Н. Косыгина. Ч.1, с. 184...189, – М.: ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина", 14-16 апреля 2020 г.

18. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И. Безреагентная технология подготовительных процессов кожевенного производства с использованием электроактивированных растворов // Сб. стендовых докл. молодых ученых и студентов: Международный Косыгинский Форум "Современные задачи инженерных наук" (29-30 октября 2019 г.). – М.: ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина", 2019.

19. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В. Исследование возможности использования электрохимически активированных растворов в подготовительных процессах кожевенного производства // Сб. тез. IV Междунар. научн.-практ. заочного семинара: Инновационные материалы и технологии кожевенно-мехового производства. – Киев: КНУТД, 2018. С.9...10.

20. Евтеева Н.Г., Дормидонтова О.В., Чурсин В.И. Исследование возможности использования анолита в процессе отмоки кожевенного сырья // Сб. ст. XV Междунар. научн.-практ. конф. с элементами научной школы для студентов и молодых ученых: Новые технологии и материалы легкой промышленности. В 2-х частях, Казань, 15–19 мая 2019 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2019. С. 91...94.

## REFERENCES

1. Ballyev S.B., Sharifullin F.S. Perspektivnye metody obrabotki v proizvodstve mekhovogo polufabrikata // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2019, № 3. P. 54...59.

2. Ballyev S.B., Sharifullin F.S., Khabirov R.R. Perspektivy primeneniya plazmennyykh metodov pri obrabotke kozhi // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2019, № 2. P. 20...22.

3. Bakhir V.M. Elektrokhimicheskaya aktivatsiya: izobreteniya, tekhnika, tekhnologiya. – М.: Viva-Star, 2014.

4. Bakhir V.M. Elektrokhimicheskaya aktivatsiya: klyuch k ekologicheski chistym tekhnologiya vodo-podgotovki // Zhurnal vodosnabzheniya i kanalizatsii. – 2012 Vyp. 1–2. P. 89...104.

5. Bakhir V.M. Teoreticheskie osnovy elektrokhimicheskoy aktivatsii. – М., "Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy i ispytatel'nyy institut meditsinskoy tekhniki", 1999.

6. Bakhir V.M. Elektrokhimicheskaya aktivatsiya. Ch.2. – М.: VNIИ med. tekhniki, 1992.

7. Yusupov D.R., Berkinov E.Kh., Murodov R.N. Elektrokhimicheskaya aktivatsiya vodnykh sred // Vestnik Nauki i Tvorchestva. – 2018, № 2(26). P. 48...51.

8. Bakhir V.M. i dr. Elektrokhimicheskaya aktivatsiya: ochildka vody i poluchenie poleznykh rastvorov. – M.: Marketing Support Servisiz, 2001.
9. Shlykova A.N., Pankina I.A. Perspektivy ispol'zovaniya elektro-khimicheskii aktivirovannoy vody pri prorashchivanii semyan zernobobovykh kul'tur // Sb. tez. VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: Pishchevye innovatsii i biotekhnologii, Kem-GU. Kemerovo. – 2018. P. 164...166.
10. Thorn RM, Lee SW, Robinson GM, Greenman J, Reynolds DM. Electrochemically activated solutions: evidence for antimicrobial efficacy and applications in healthcare environments. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* – 2012, 31. P.641...653.
11. Hand S, Cusick RD. Electrochemical Disinfection in Water and Wastewater Treatment: Identifying Impacts of Water Quality and Operating Conditions on Performance. *Environ Sci Technol.* 2021 Mar 16;55(6):3470-3482.
12. Danylkovych A.G., Lishchuk V.I., Romaniuk O.O. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials. Springerplus. – 2016.
13. Suvorov O.A., Kuznetsov A.L., Shank M.A., Volozhaninova S.Yu., Pugachev I.O., Pasko O.V., Babin Yu.V. Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies As A Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies // *Int.J. Pharm. Res. Allied Sci.* – 7(2), 2018. P.43...52.
14. Durai G., Rajasimman M. Biological Treatment of Tannery Wastewater // *Journal of Environmental Science and Technology.* – V. 4, № 1, 2011. P. 1... 17.
15. Evteeva N.G., Dormidontova O.V., Chursin V.I. Changes in the structure of the dermis in catholyte solutions // *Tez. report 73 Intrauniversity scientific. Student Conf.: Young Scientists - Innovative Development of Society (MIR-2021).* Part 3, p. 79-79, - M.: FGBOU VO "Russian State University named after A.N. Kosygin", 2021.
16. Evteeva N.G., Dormidontova O.V., Chursin V.I. Changes in the structure of the dermis in catholyte solutions. Innovative development of equipment and technologies in industry // *Sat. mat. All-Russian scientific conf. young researchers with international participation.* Part 1. - M.: FGBOU VO "RSU named after A.N. Kosygin", 2021. P. 178 ... 182.
17. Evteeva N.G., Dormidontova O.V., Chursin V.I. Influence of ashing with the use of catholyte on the elastic-plastic properties of the hide // *Sat. mat. Vseros. scientific conf. young researchers with international participation: Innovative development of equipment and technologies in industry (IN-TEKS-2020), dedicated to the Anniversary Year at the Russian State University.* A.N. Kosygin. Part 1, p. 184 ... 189, - M.: FGBOU VO "Russian State University named after A.N. Kosygin", April 14-16, 2020
18. Evteeva N.G., Dormidontova O.V., Chursin V.I. Reagent-free technology of preparatory processes of leather production using electroactivated solutions // *Sat. poster presentations young scientists and students: International Kosygin Forum "Modern tasks of engineering sciences" (October 29-30, 2019).* - M.: FGBOU VO "RGU named after A.N. Kosygin", 2019.
19. Evteeva N.G., Dormidontova O.V. Investigation of the possibility of using electrochemically activated solutions in the preparatory processes of leather production // *Sat. abstract IV Intern. scientific-practical correspondence seminar: Innovative materials and technologies of leather and fur production.* - Kyiv: KNUTD, 2018. P.9 ... 10.
20. Evteeva N.G., Dormidontova O.V., Chursin V.I. Investigation of the possibility of using anolyte in the process of soaking raw hides // *Sat. Art. XV Intern. scientific-practical conf. with elements of a scientific school for students and young scientists: New technologies and materials for light industry.* In 2 parts, Kazan, May 15–19, 2019. - Kazan: Kazan National Research Technological University, 2019. P. 91 ... 94.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 25.10.21.

**DYEING THE COTTON WITH EXTRACT OF ONION PEELS,  
WALNUT SHELL AND (TANACETUM) TANSY**

**КРАШЕНИЕ ХЛОПКА ЭКСТРАКТАМИ ЛУКОВОЙ ШЕЛУХИ,  
СКОРЛУПЫ ГРЕЦКОГО ОРЕХА И ПИЖМЫ**

*S.SH. SABYRKHANOVA<sup>1</sup>, O.B. BEHZAT<sup>2</sup>, G.K. YELDIYAR<sup>3</sup>*

*С.Ш. САБЫРХАНОВА<sup>1</sup>, О.Б. БЕХЗАТ<sup>2</sup>, Г.К. ЕЛДИЯР<sup>3</sup>*

*(M.Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan,  
Ege University, Bomova Izmir Turkiye,  
Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Republic of Kazakhstan)*

*(Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,  
Эгейский университет, Турция,  
Международный казахско-турецкий университет  
имени Х.А. Ясави, Республика Казахстан)*

E-mail: sveta577@mail.ru

*Natural dyes are attracting increasing attention around the world due to the impact of synthetic dyes on the environment. In this study, 100% cotton fabric was dyed with rich extracts of onion peel, walnut shell and (tanacetum) tansy and combined with some mordants. The coloring of natural dye and the effect of various mordants during simultaneous dyeing with natural dyes were researched. The results showed that natural dyes gave light tones to the fabrics without mordant except onion peel, while the mordanted samples with copper, aluminum-potassium, acetic acids change the colors of the fabric. These extracts, which grow in a large volume in the southern region of Kazakhstan, can be considered as viable alternatives instead of artificial coloring agents. In this study, the experiment was carried out at a temperature of 50-100°C using a minimum amount of mordant with an extract of natural dyes.*

*Натуральные красители привлекают все большее внимание во всем мире из-за воздействия синтетических красителей на окружающую среду. В этом исследовании 100%-ная хлопчатобумажная ткань была окрашена экстрактами луковой шелухи, скорлупы грецкого ореха и (tanacetum) пижмы, в сочетании с некоторыми протравами. Были исследованы окраски натурального красителя и влияние различных протрав при одновременном крашении с натуральными красителями. Результаты показали, что натуральные красители дали тканям светлые тона без протравы, исключая луковую кожуру, в то время как протравленные образцы с медью, алюмокалиевыми квасцами, уксусными кислотами меняют окраски цвета ткани. Эти растения, произрастающие в большом объеме в южном регионе Казахстана, можно рассматривать как жизнеспособные альтернативные варианты вместо искусственных красящих агентов. В настоящем исследовании окрашивание проводилось при температуре 50...100°C с использованием минимального количества протравы с экстрактом натуральных красителей.*

**Keywords:** textile materials, mordants, natural dyes, tansy extract, cotton fabric, medicinal properties, onion peel, walnut shell, light industry.

**Ключевые слова: текстильные материалы, протравы, натуральные красители, экстракт пижмы, хлопчатобумажная ткань, лечебные свойства, луковая шелуха, скорлупа грецкого ореха, легкая промышленность.**

### *Introduction*

In modern light industry, synthetic dyes are used to a greater extent to give the fabric color. Today, synthetic dyes were replaced from the practice of dyeing with natural dyes. The production of the use of synthetic dyes creates environmental problems and risks, since synthetic dyes themselves, being mutagenic and allergic, have different levels of toxicity. Due to the deteriorating environmental situation in the world, humanity is forced to return to natural dyes again. Many natural resources that are wasted or thrown away as waste contain useful dyes and pigments [1...4].

Materials of plant origin were used for dyeing the fabric: tree bark, leaves, fruits, flowers, roots. Natural dyes allow us to give an original beautiful color to the textile material. Research on the use of plants as raw materials for dyes and tanning agents continues all over the world [5...8].

In Kazakhstan, which is characterized by a wide variety of soil and climatic conditions and has a rich and unique flora, since many species of dye-bearing plants grow here, many of which are used in medical practice, food and light industry, harmless to humans and nature. Well-known scientists on the use of natural dyes for cotton knitted fabrics, wool and silk fabrics made a contribution [9], [10].

The purpose of this work is to investigate the ecological efficiency of natural dyes obtained from onion waste, tansy plants and walnut shells for textile materials. In this study, a natural dye isolated from the waste of onion peel, walnut shell and tansy flower was successfully applied to cotton fabrics treated and untreated with mordants.

### *Experimental methods*

The experimental work requires a gas burner, an electric oven, manual drying, electronic scales, cotton fabric was woven 3 up 1 down. The fabric was scoured with vanish liquid stain remover and fabric bleach at 40° C for 30 min and then thoroughly rinsed and dried at room temperature. The scoured material was

soaked in clean water for 30 min prior to dyeing or mordanting.

Dyestuff extraction. The walnut shell, (tanacetum) tansy and onion peel extracts had already been dried and powdered. When the coloring material is crushed, it is mixed with water and heated on a gas burner to extract the dye. Dry onion peels, walnut shells and (tanacetum) tansy powders were heated in water at 90-100°C in water bath, liquor ratio 1:10, 1:20 and 1:30 (100 g of dye raw materials is extracted in water with a volume of 1,2,3 liters) for extraction of the colorant about 30, 60, 90 minutes respectively, then were filtered.

Dyeing of fabrics. Per 100 g of fabric, 4 liters of dye broth are usually used, the bath module is 1 :40. Dye the fabric at a slow boil (100°C) for 30 minutes, 60 minutes and 90 minutes in different dye bath modules, respectively. The fabric must be completely immersed. When dyeing, it is necessary to constantly mix the fabric. After dyeing, slightly pressed fabrics are hung out in a place protected from the sun, for "maturing" the dye on the fiber. To intensify the dyeing process, improve the brightness and juiciness of the fabric colors, as well as expand the range of their colors, traditionally used mordants were used - acetic acid, copper sulfate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), aluminum-potassium alum ( $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) this salt does not distort the color of the dye, also neutralized with sodium bicarbonate. The bath process, dyeing and mordanting are done together in one bath. Mordanting is carried out from three methods (before, simultaneously and subsequent) and one of them gives the best result. The solution of the mordant is made at the rate of 10 g per 1 liter of water (1%). The solution of aluminum-potassium alum requires neutralization with soda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . To do this, a 10% solution of sodium bicarbonate soda is poured into a 1% solution of alum while stirring a little.

### *Results and discussion.*

The samples processed with the use of an aqueous extract of plant raw materials and

mordants were dyed and compared for color. With natural dyes, the selected cotton fabric was dyed at home at a temperature of 50,70 and 100°C, with different durations of 30, 60, and 90 minutes, as well as in three dye baths 1:10, 1:20 and 1:30. The samples were compared without the use of mordants. Dyeing with onion peel gives different shades of

brown, as well as a rich brown color will turn out with an increase in the dyeing time in the bath of 1:20. The dye treated with various solutions leads to the appearance of various shades of orange color at different intervals of time. The obtained samples are shown in Tables 1, 2.

Table 1

Bath module	Time 30 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
1:30			
1:20	Time 60 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
1:10	Time 60 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C

Table 2

Types of mordants	Temperature 100°C	
	Bath module 1:20	
	30 minutes	60 minutes
Copper sulfate 1%		
Aluminum-potassium alum		
Aluminum-potassium alum neutralized with sodium bicarbonate		

An experiment conducted using a tansy flower showed different shades of yellow. To obtain a rich yellow, we were also treated with traditional mordants, as a result we will see a

new color. The same natural dye can give different colors when treated with different mordants at different time intervals. The most optimal module of the dyeing bath is 1:20 when



dyeing cotton fabric with mordants in the in-

terval of 30 minutes. The results of the experiment are shown in Table 3, 4.

Table 3

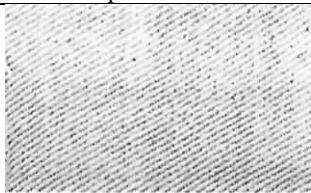


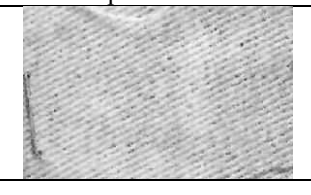
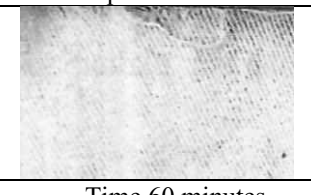
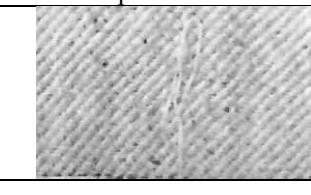
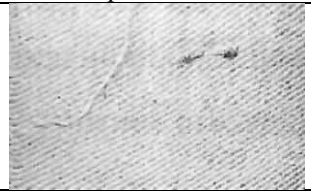
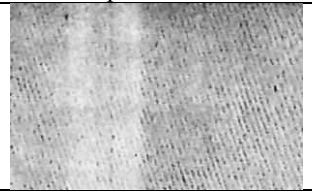
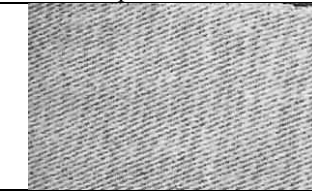
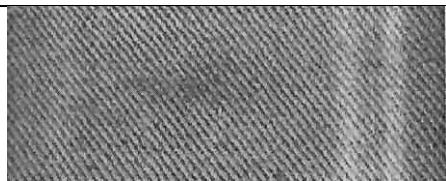
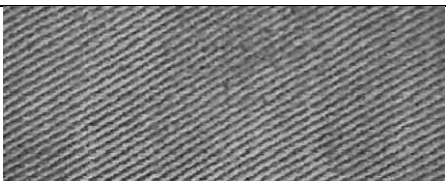
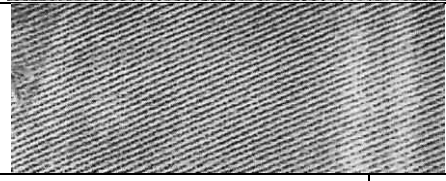
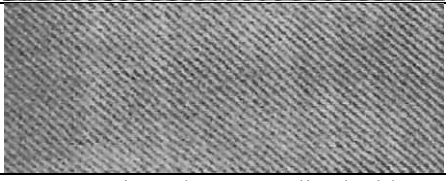
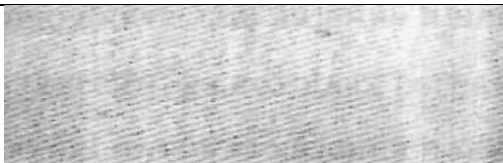
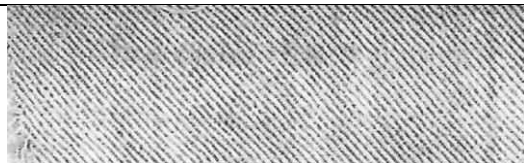
Bath module	Time 30 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
1:30			
1:20	Time 60 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
			
1:10	Time 60 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
			

Table 4

Types of mordants	Temperature 100°C	
	Bath module 1:20	
	30 minutes	60 minutes
Copper sulfate 1%		
Copper sulfate 2%		
Aluminum-potassium alum		Aluminum-potassium alum neutralized with sodium bicarbonate
		

For the practical consolidation of the studied theoretical material on dyeing fabric with natural waste, a number of experiments were carried out with and without mordants in different time intervals in three modules of the

bath. As part of the experiment, an experiment was obtained that at 90 minutes, the dye will turn the fabric gray in the 1:10 bath module. With the use of mordants, shades of beige and gray appeared on the fabric. The results of the

study show that the waste from the walnut can be used as an effective dye for cotton materials

Table 5, 6.

Table 5













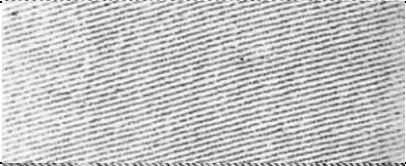


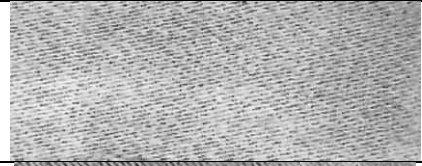
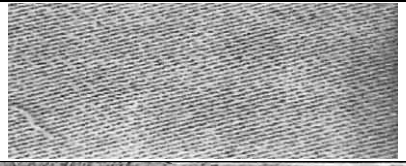
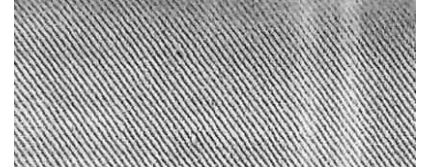
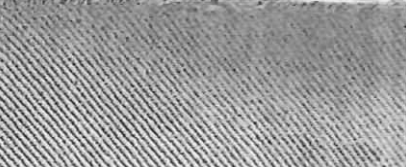
Bath module	Time 30 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
1:30			
1:20	Time 60 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
			
1:10	Time 60 minutes		
	Temperature 50°C	Temperature 70°C	Temperature 100°C
			

Table 6

Types of mordants	Temperature 100°C	
	Bath module 1:20	
	30 minutes	60 minutes
Acetic acid 70%		
Acetic acid 9%		
Copper sulfate 1%		
Copper sulfate 1%	Bath module 1:30	
	30 minutes	60 minutes
		
Aluminum-potassium alum		

## CONCLUSION

The use of available material for dyeing by conventional dyeing reduces the cost of natural dyeing and increases the productivity of resources and reduces the amount of waste. This makes onion waste, nut waste and wild flower waste one of the easily accessible materials for the natural dyeing industry. These dyes are safe for humans, are not environmentally harmful also have some medicinal properties for health. This article demonstrates new possibilities for obtaining shades of natural dye, and opens up good prospects for alternatives to synthetic dyes for the textile industry.

## REFERENCE

1. *Tashmukhamedova Ph.R. I dr.* Modiphicirovannyi sposob krasheniya khlopchatobumazhnykh tkanei ekstraktom marenny krasilnoi // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2020, №. 2. С. 93...100.
2. *Mirzakhmedova M.Hk. I dr.* Vliyanie prirody aktivnykh krasitelei na kachestvo otdelki I okraski shelkovykh tkanei v sovmeshennom sposobe // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2017, №. 1. С. 139...142.
3. *Shagina N.A.* Razrabotka ekologichnoi tekhnologii ispolzovaniya prirodnykh krasitelei rastitel'nogo proiskhozhdeniya v kolorirovanii tekstilya: diss, na PhD: 05.19. 02.- Moskva 2015.

4. *Smirnov R.IU., Ryzhuk V.A.* Naturalnyi krasitel iz otkhodov okorki temnokhvoinyx rastenii // *Nauchnaiya diskussiya sovremennoi molodezhi: aktualnye voprosy, dostizheniya i innovacii.* - 2020. S. 43...48.

5. *Krichevskiy G.E.* Vozrozhdenie prirodnykh krasiteley. – M.: Publitrprint, 2017.

6. Atav R., Karabulut I. Issledovanie okrashivaiemosti khlopchatobumazhnykh trikotazhnykh poloten razlichnymi krasiyashimi rasteniyami v prisutstvii pro-travy sulphata kaliya aliuminiya // *Mezhdunarodnaiya konferencia po inzhenernym tekhnologiyam I innovaciyam, Sbornik materialov konferencii,* s. 57-64, Saraevo-Boaniya I Gercgovina, 2017.

7. *Turok T.V., Sutugina V.S., Novikova K.A.* Okrashivaniya khlopchatobumazhnoi tkani naturalnymi krasiteleyami // *Dostizheniya vuzovskoi nauki 2021.* – 2021. S. 35...38.

8. *Kutzhanova A.Zh., Toktasynova A.Zh.* Prime-nenie rastitelnykh krasitelei v kolorirovanii tekstilnykh materialov // *Internauka.* – 2019. T. 22, №104 chast 2. S. 21.

9. *Makoveckaiya E.P., Rasheva O.A.* Effekty okrashivaniya naturalnykh tekstilnykh materialov prirodnyimi krasiteleyami // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2019. T. 45, №. 3. S. 77...81.

10. *Teslenko V.P. I dr.* Ispolzovanie prirodnykh krasitelei v processakh ruchnogo kolorirovaniya khlopchatobumazhnykh materialov s celiu ikh oblagorazhivaniya // *Physiko voloknistykh materialov: struktura, svoistva, naukoemkie tekhnologii I materialy (SMARTEX).* – 2020, №. 1. S. 409...412.

Поступила 12/11/21.

**CHEMICAL NICKEL PLATING OF COTTON FABRICS  
WITH THE USE OF COPPER-CONTAINING REDUCING AGENTS\***

**ХИМИЧЕСКОЕ НИКЕЛИРОВАНИЕ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ**

*M. SATAEV, SH. KOSHKARBAEVA, K. AMANBAEVA, P. ABDURAZOVA,  
YE. RAIYIMBEKOV, D. URAZKELDIEVA*

*M. САТАЕВ, Ш. КОШКАРБАЕВА, К. АМАНБАЕВА, П. АБДУРАЗОВА,  
Е. РАЙЫМБЕКОВ, Д. УРАЗКЕЛДИЕВА*

(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan)

(Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Республика Казахстан)

E-mail: abdurazova-p@mail.ru

*To activate the surface of cotton fabrics before chemical nickel plating, it is proposed to use physical and chemical processes occurring in thin layers of solutions of copper (II) chloride under the influence of electromagnetic solar rays of the visible spectrum. It is shown that cellulose, which is the main component of the fabric, undergoes photo-oxidation in the presence of copper (II) chloride. As a result of this interaction, well-bonded copper monochloride is formed. When further processing of the fabric with phosphine gas, copper monochloride is transformed into copper and copper phosphide. Copper phosphide is a catalyst for the chemical nickel plating process. This makes it possible to obtain an electrically conductive nickel-phosphorus coating on the surface of the fabric in conventional electrolytes of chemical nickel plating. It is also found that when screening individual sections, the processes leading to the formation of copper monochloride do not occur. This allows selective metallization of the fabric.*

*Для активирования поверхности хлопчатобумажных тканей перед химическим никелированием предлагается использовать физико-химические процессы, протекающие в тонких слоях растворов хлорида меди(II) под воздействием электромагнитных солнечных лучей видимого спектра. Показано, что целлюлоза, являющаяся основным компонентом ткани, в присутствии хлорида меди(II) подвергается фотоокислению. В результате этого взаимодействия образуется хорошо сцепленная с тканью однохлористая медь. При дальнейшей обработке ткани газообразным фосфином однохлористая медь трансформируется в медь и фосфид меди. Фосфид меди является катализатором для процесса химического никелирования. Это позволяет получить на поверхности ткани электропроводное никель-фосфорное покрытие в обычных электролитах химического никелирования. Также установлено, что при экранировании отдельных участков процессы, приводящие к образованию однохлористой меди, не происходят. Это позволяет провести избирательную металлизацию ткани.*

---

\* This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08956891).

**Keywords: cotton fabric, copper (II) chloride, cellulose photo-oxidation, copper monochloride, activation, copper phosphide, chemical nickel plating.**

**Ключевые слова: хлопчатобумажная ткань, хлорид меди (II), фотоокисление целлюлозы, монохлорид меди, активация, фосфид меди, химическое никелирование.**

### *Introduction*

The acceleration of technological progress poses new challenges to the industry within the field of cloth production. One among them is that the creation of metalized fabrics that perform a particular function. A prominent place among them is occupied by nickel-plated fabrics. Nickel may be a relatively inexpensive metal with high chemical resistance and good appearance.

Nickel coating gives fabrics the subsequent functions that allow the utilization of textiles within the relevant industries:

- decorative appearance, electrical conductivity, which provides fabrics antistatic properties [1];
- creation of a lively catalytic layer on the material surface of the required layer necessary for chemical current sources and devices for producing hydrogen [2], 3];
- giving fabrics a particular electric resistance allows them to be used as flexible conductive elements, clothing with heating elements [4];
- shielding of electromagnetic wave and use in various protective devices [5...7];
- radio-absorbing properties that are widely utilized in modern industry and, especially, in products of the vested interest [8].

Depending on the aim of cloth materials, the subsequent methods of applying nickel films are used.

To obtain thin surface nickel films on synthetic fabrics, ion-plasma sputtering [1] or vacuum sputtering [9] of the nickel layer is employed. Processes are administered on special installations. Such fabrics have good decorative properties and high electrical conductivity, which allows them to be used as flexible conductive elements and when creating smart textiles [4].

By combining the most threads of the material with nickel or nickel-containing polymer threads, a textile material is obtained which

will function a shield of electromagnetic wave [5...7]. It's obvious that during this case the difficulties related to the creation of additional threads.

To obtain special-purpose textile materials, chemical metallization methods also are used. Thus, chemical gas-phase metallization is performed by pumping nickel tetracarbonyl metal vapors through a woven or non-woven material during a shallow vacuum. The source material is heated to the temperature of the start of vapor decomposition, and a metal coating is applied over the whole thickness of the majority material [5]. The disadvantage of the method is that the difficulty in obtaining nickel tetracarbonyl and implementing the method.

The most commonly used method of chemical metallization of dielectrics in engineering is that a reaction of formation of catalytic metal ions is administered on a surface sensitized with divalent tin. Treatment is administered in solutions of precious metals, mainly palladium. Adsorbed on the surface of the dielectric ions are tin ions restore the palladium. Compounds of germanium (II), iron (II), titanium (III), silicon halides, lead salts, and a few dyes also are offered as sensitizers. Additionally to palladium, silver, gold, rhodium, ruthenium also are mentioned as catalyst metals [10]. The disadvantage of this method is that the use of pricy salts of those metals.

A number of works are dedicated to palladium-free activation of the dielectric surface with the assembly of dispersed copper particles using chemical reducing agents [11...13]. The resulting films don't have sufficient electrical conductivity for the electroplating process, and aren't catalysts for chemical nickel plating. This needs the next application of a layer of chemical copper, on which the electroplated nickel is then deposited.

It should be noted that photochemical methods also can be went to activate the dielectric surface. Thus, treatment with solar rays

results in the reduction of silver from its halides [14], [15].

These data show that there are still unsolved problems in existing methods of nickel plating of materials, therefore the creation of latest alternative technologies has relevancy.

#### *Materials and Methods*

Cotton gauze cloth (article No. AA010278), widely used for medical purposes, was used for research. So as to get rid of industrial contamination, the material was pre-prepared by holding it for half-hour in hot (70°C) water. Then, after washing and drying, the samples were cut out. The obtained samples were wetted by dipping for a couple of minutes in  $\text{CuCl}_2$  solution. Then, the sample was placed on a glass or polymer surface and smoothed with a glass stick. The quantity of  $\text{CuCl}_2$  solution introduced into the material was about 0.5 ml/dm<sup>2</sup>. Then, the samples were dried under the influence of sunlight. Sunlight is an electromagnetic ray that features a wavelength from 400 to 700 nm. Light waves also can undergo solid bodies, but their intensity decreases. A crucial characteristic of the rays is that the density of the radiation flux [16]. To work out this value, the SM206-SOLAR radiation meter was used. Studies of the method were administered during a laboratory room, where the temperature was maintained at 25-30°C.

To conduct experiments, the samples were placed perpendicular to the sun's rays and exposed until completely dry. The colour of the sample changed from green (the color of  $\text{CuCl}_2$  solutions) to black. Black color is typical for fine metal particles formed during chemical reduction.

Moreover, the intensity of the black color of the film depends on the concentration of the first  $\text{CuCl}_2$  solution during which the material was wetted. Therefore, the degree of blackening of the film is often used as an indicator of the content of reduced metal particles within the resulting film. Quantitative characteristics of the intensity of black film samples are often determined employing a computer by finding the degree of brightness of the drawing within the work with drawing window. To try to this, photos of samples obtained at various stages of the method were placed on white book and

brightness was added for every sample until the image of the drawing disappeared completely. This added brightness was the degree of blackness (as a percentage) of the film on the sample. For instance, the degree of blackness within the computer's color palette was 100%.

After photochemical treatment, the samples were washed with water to get rid of the reaction byproduct (HCl) and excess  $\text{CuCl}_2$ , and dried at temperature for half-hour. The marginally moistened fabric contained only copper chloride (I). In some experiments, a part of the material surface was shielded with a black polymer washer with a thickness of two mm, which prevents the sun's rays from penetrating the material.

This sample was then placed during a sealed chamber for treatment with phosphine gas ( $\text{PH}_3$ ). Phosphine may be a strong reducer and, when interacting with the surface film, reduces copper (I) chloride to elemental copper and copper phosphide [17]. Additionally, phosphine contributes to the formation of copper phosphide within the surface film, which provides it catalytic properties that allow it to get a chemical nickel coating of the specified thickness that's immune to atmospheric conditions [18].

The structure and composition of films at separate stages of the process were studied using a raster electron microscope ISM-6490-LV (JEOL, Japan). The device allows you to get an electronic image of particles with a size of tens of nanometers, the element composition and the percentage of elements in the surface layers of the film.

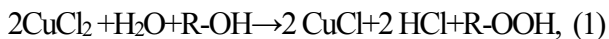
#### *Results and Discussions*

To apply nickel coatings to fabrics, the subsequent basic operations are required:

- creating an indelible layer of copper chloride (I) on the surface of the fabric;
- transformation of chloride (I) to copper phosphide;
- obtaining a metal coating by chemical nickel plating.

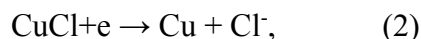
The creation of an indelible layer of copper monochloride on the surface of the material was administered by exposure to radiation on the surface of the material, previously moistened with an answer of  $\text{CuCl}_2$ . The cellulose

that creates up the material contains three alcohol hydroxyl, which in certain cases are often subjected to oxidation. When drying such a cloth under the influence of sunlight, cellulose is photo-oxidized by reaction 1. During this case, the role of the oxidizer is performed by  $\text{CuCl}_2$ .



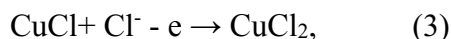
where R – the elementary unit of cellulose.

Monovalent copper chloride is a binary semiconductor, so when photons are exposed to electromagnetic rays of sunlight, some of the electrons passes into the conduction band and acquire the ability to restore monovalent copper

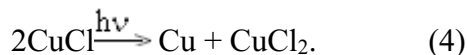


where  $E^0$  – the standard potential of the electrochemical reaction

After that, vacancies remain in the semiconductor, for which only  $\text{CuCl}$  and a water molecule can be used as electron donors. If we consider that the oxidation of water molecules at a pH of less than 7 requires a potential of more than 0.8 V, then the preferred electron donors will be  $\text{CuCl}$  molecules.



The electromotive force of the reaction 2 and 3 is -0.401 V. Therefore, the additional energy received from the sun's rays must provide a real voltage in the system exceeding this value. In this case, a photochemical reaction will occur.



Moreover,  $\text{CuCl}_2$ , when the surface film dries, crystallizes and loses its activity, which is an additional factor contributing to the reaction 4.

The resulting particles of elemental copper give the film a black color characteristic of metals obtained from salt solutions using various reducing agents.

Figure 1 shows photos of a fabric sample before (a) and after (b) applying a photo-

chemical copper film. Measurements of the degree of blackness according to the above method showed that for the original fabric, this value is 22%, and after applying the film, 65%. The formation of a black film on the surface of the tissue shows the possibility of reaction 4.

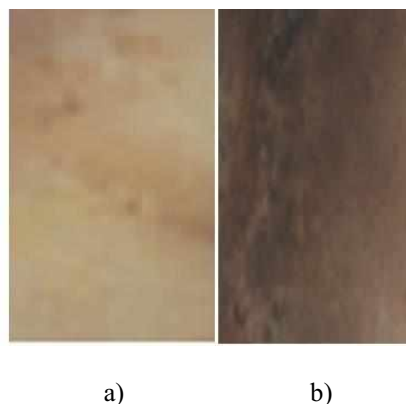


Fig. 1

During subsequent washing with water, the non-reacting 1 part of the original  $\text{CuCl}_2$  is removed. In addition, this leads to the disappearance of the black color of the fabric. Therefore, the secondary  $\text{CuCl}_2$  formed by reaction 4 is not removed during washing, but remains in the structure of the binary semiconductor. Under the influence of water, it is activated again and contributes to the flow of reaction 4 from right to left. This is confirmed by the fact that if the washed fabric is dried again under the sun, the black film appears again. Moreover, the degree of blackness is practically unchanged. Thus, as a result of photochemical processes, a layer of elemental copper (if the fabric is dry) or a layer of monochlorous copper (if the fabric is moistened) is formed on the surface of the fabric.

Electromagnetic rays of the sun can partially penetrate the fabric material, and the oxidation process begins at the surface of the fiber, and then gradually moves to deeper layers, while first the amorphous part is oxidized, and then the crystalline sections. This leads to the fact that the formation of  $\text{CuCl}$  occurs both in the surface and deep layers of the fabric. As a result, there is a good connection between the copper, it and the fabric. Perhaps chemisorption is taking place here.

After treatment with phosphine, the fabric acquired a stable dark color, which did not

change when washed with water. The dark color is characteristic of copper phosphide  $\text{Cu}_3\text{P}$ . Elemental analysis also showed the appearance of phosphorus in the surface film. The analysis also showed the presence of chlorine in the surface film. This may be due to the partial oxidation of copper, which leads to the formation of insoluble basic copper chloride. Moreover, this compound does not affect the process of chemical nickel plating.

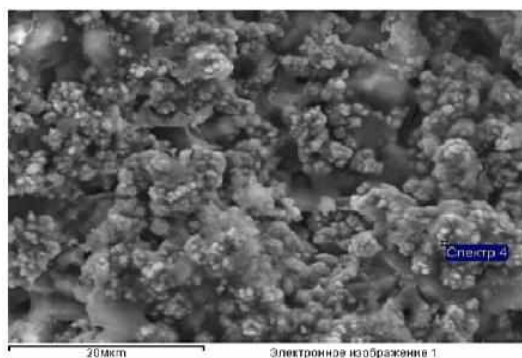


Fig. 2

Chemical nickel plating in the electrolyte usually used in practice made it possible to obtain an electrically conductive film on the fabric without much difficulty. The process was

performed at room temperature for 1 hour. At a loading density of  $2 \text{ dm}^2/\text{l}$ , an electrically conductive coating ( $\rho=7 \times 10^{-7} \text{ Om} \times \text{m}$ ) was obtained (Fig. 2). Visual comparison of the diameters of the outer threads of the fabric in Figure 5 showed an increase of 1.3-1.6 microns. At the same time, high electrical conductivity was both illuminated by the sun's rays, and the reverse side of the fabric.

Spectral analysis of the surface layer showed that the film has a composition characteristic of coatings obtained by chemical nickel plating. At the same time, the fabric has a soft neck, air and moisture permeability, and retains its strength characteristics (Fig. 3, Table 1).

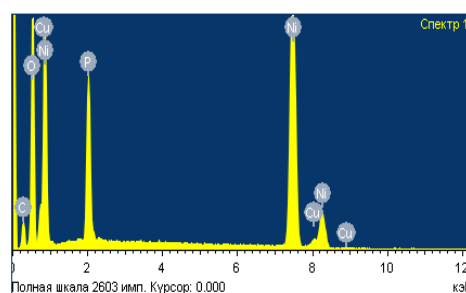


Fig. 3

Table 1

Element	Weight, %	Atomic, %
C	10.35	24.58
O	21.71	38.70
P	8.66	7.98
Ni	57.96	28.15
Cu	1.32	0.59
Total	100.00	

## CONCLUSIONS

The following basic processes were used for nickel plating of cotton fabrics. Pre-soaked in a solution of dichloride of copper were dried by exposure to sunlight. At the same time, due to the influence of electromagnetic waves of solar radiation, cellulose (the main component of the fabric) was oxidized and copper monochloride was formed. The permeability of electromagnetic waves leads to the formation of copper monohydrate on both sides of the fabric. Moreover, copper monochloride is

strongly bound to the fabric and can withstand numerous washings.

## REFERENCES

1. Official web-site of BStudy Education portal. Available online: [https://bstudy.net/675952/meditsina/ekraniruyuschie\\_tkani\\_zaschity\\_elektromagnitnyh\\_izlucheniya](https://bstudy.net/675952/meditsina/ekraniruyuschie_tkani_zaschity_elektromagnitnyh_izlucheniya); URL (accessed on 05 May 2021).
2. Official web-site of Chemical Components Factory "Ekotec". Available online: <https://www.ekotec.ru/product/5158819/>; URL (accessed on 05 May 2021).
3. Morozova A., Selivanov P. Ispol'zovanie nikelirovannogo uglerodnogo volokna v kachestve osnovy oksidno-nikelevogo jelektroda [in Russian: Using



nickel-plated carbon fiber as the base of a nickel oxide electrode]. *Jelektrohimičeskaja jenergetika*. – 3(10), 2010. P.133...136.

4. *William S.* Smart Textile Coatings and Laminates: 2nd Edition, Cambridge, Woodhead Publishing, 2018, 290.

5. Uehl'skij A., Syrkin V., Grebennikov A., Chernyshev E. 2001, Russian Federation Patent No. 2171858.

6. Mareichev A., Kapitonov V., Popov G. 1993, Russian Federation Patent No. 2000680.

7. Official web-site of Ebay. CYBER Faraday Fabric EMF RF RFID Shielding Nickel Copper - 50" x 1' Roll. Available online: <https://www.ebay.com/itm/CYBER-Faraday-Fabric-EMF-RF-RFID-Shielding-Nickel-Copper-50-x-1-Roll-/131893315404> : URL (accessed on 05 May 2021).

8. Official web-site of "RT-Tehnologii". Radar absorbing materials, absorbers of microwave energy for the series ZIPSIL RPM made in Russia. Available online: <https://www.rttex.ru/microwave-absorbers-series/> : URL (accessed on 05 May 2021).

9. *Gapparov Kh., Khomidov I., Fayzieva G.* Vidy i sposoby metallizirovanija tekstil'nyh materialov dlja poshiva special'noj odezhdy [in Russian: Types and methods of metallized textile materials for sewing special clothing]. *Molodoj učenij*. – 11, 2016, 310-313.

10. *Kapitsa M.* Aktivacija poverhnosti dijelektrika [in Russian: Activation of the dielectric surface]. *Tehnologii v jelektronnoj promyšlennosti*. – 5, 2005, 22-25.

11. Pavljukhina L., Zajkova T., Odegova G. 1997, Russian Federation Patent No. 2074536.

12. *Ryashentseva G., Lomovskiy O.* Katalitičeskaja aktivnost' mednyh chastic v reakcii himičeskogo mednenija [in Russian: Catalytic activity of copper particles in the chemical copper plating reaction], *Zhurnal prikladnoj himii*, 71(2), 1998, 264-267.

13. Finaenov A., Zakirova S., Rakhmetulina L., Krasnov V., Nevernaya O. 2016, Russian Federation Patent No. 2588918.

14. *Abdurazova P.A., Nazarbek U.B., Bolysbek A.A., Sarypbekova N.K., Kenzhibayeva G.S., Kambarova G.A., Sataev M.S., Koshkarbaeva Sh.T., Tleuova A.B., Pern, S., Prokopovich P.* Preparation of photochemical coatings of metal films (copper, silver and gold) on dielectric surfaces and studying their antimicrobial properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 532, 2017, 63-65.

15. *Sataev M.S., Koshkarbayeva S.T., Abdurazova P.A., Abzhalov R.S., Nazarbek U.B., Issaeva R.A.* Photochemical Method of Depositing Silver Films on the Surface Cotton Fabrics, *Orient J Chem*, 34(6), 2018, 2755-2761.

16. *Melnikov V.* Vozobnovljaemye istočniki jenerгии. Učebnye materialy dlja lic, primimajushhij reshenija v stranah Central'no-Aziatskogo regiona [in Russian: Renewable energy source. Training materials for decision makers in the Central Asian region], Almaty, UNESCO Central Asian office, 2011, 225.

17. *Sataev M.S., Syrmanova K.K., Salybaev A.S.* Mehanizm himičeskogo nikelirovanija osnov, pokrytyh med'-fosfornymi plenkami [in Russian: Mechanism of chemical nickel plating of bases covered with copper-phosphorous films], "Khimiya i himičeskaja tehnologija" *Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology*, 47(4), 2004, 70-71.

18. *Sataev M.S., Koshkarbaeva S.T., Tleuova A.V., Perny S., Aidarova S.V., Prokopovich P.* Novel process for coating textile materials with silver to prepare antimicrobial fabrics, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 412, 2014, 146-151.

Поступила 18.01.22.

---

УДК 613.48:687.1

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_224

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЯСНОГО РЕМНЯ  
НА ТЕПЛОВУЮ ЗАЩИТУ ЧЕЛОВЕКА В ПУХОВОЙ ОДЕЖДЕ**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF A WAIST BELT  
ON THERMAL PROTECTION OF A PERSON IN DOWN CLOTHES**

*С.А. КОЛЕСНИК, М.А. ГОНЧАРОВА, И.Ю. БРИНК*

*S.A. KOLESNIK, M.A. GONCHAROVA, I.YU. BRINK*

(Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)  
Донского государственного технического университета,  
Государственный региональный центр стандартизации,  
метрологии и испытаний в Ростовской области)

(Institute of Service and Entrepreneurship (branch) of Don State Technical University,  
State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Rostov Region)

E-mail: kolesnik\_sa@mail.ru gonch;1985@yandex.ru; brink.ivan@mail.ru

*Эффективную защиту от экстремально низких отрицательных температур активно действующему человеку, альпинисту или промышленному альпинисту обеспечивает комбинезон. Заложенный в конструкцию производителями поясной ремень, надеваемый поверх для фиксации изделия, сжимает пакет в области талии, уменьшая его толщину на 80...90%, и снижает теплозащитные характеристики комбинезона. Для исследования влияния поясного ремня на тепловую защиту человека в пуховой одежде использован метод математического моделирования процесса теплообмена человека с окружающей средой. Задача сведена к расчету тепловых потерь с идеализированного участка модели тела человека, сечение которой представлено цилиндром с коаксиальным слоем, сжатого или не сжатого поясным ремнем в средней части фигуры. Результаты показали зависимость изменения объема тепловых потерь с поверхности тела человека от толщины пакета материалов, сдавливаемого поясным ремнем, и от ширины сжатого участка.*

*Overalls provide effective protection against extremely low negative temperatures for an active person, climber or industrial climber. The waist belt put into the design by the manufacturers, put on over to fix the product, squeeze the bag in the waist area, reducing its thickness by 80-90%, and reduce the heat-shielding characteristics of the overalls. To study the effect of a waist belt on the thermal protection of a person in down-filled clothing, the method of mathematical modeling of the heat exchange process between a person and the environment was used. The problem is reduced to calculating heat losses from an idealized section of a human body*

*model, the section of which is represented by a cylinder with a coaxial layer, compressed or not compressed by a waist belt in the middle part of the figure. The results showed the dependence of the change in the volume of heat losses from the surface of the human body on the thickness of the materials squeezed package by the waist belt and on the width of the compressed section.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, тепловые потери, защита от низких температур, пуховая одежда, комбинезон, сжатие пакета материалов, толщина пакета материалов.

**Keywords:** mathematical modeling, heat loss, protection from low temperatures, down clothing, overalls, compression of a package of materials, thickness of a package of materials.

### *Введение*

Возросший научный интерес к комплексному анализу зимней одежды в общей системе материальных и духовных ценностей северных народов обусловлен не только историко-культурологическим аспектом, но и желанием перенести функционально-декоративные и конструктивные элементы в современную одежду для защиты от холода в связи с интенсивным освоением северных территорий [1]. В настоящее время известны обстоятельные исследования историко-этнографического, искусствоведческого и культурологического характера, посвященные анализу структурно-семантических и художественно-конструктивных особенностей традиционной зимней одежды северных народов с целью реконструкции комплекса средств индивидуальной защиты от холода [2]. В традиционной одежде народов Севера поясной ремень являлся функциональным конструктивно-декоративным элементом [3], [4], который обеспечивал достаточно места для хранения ценных вещей, таких как кошелек, табак и трубка, нож, что являлось необходимым ввиду отсутствия карманов. В настоящее время поясной ремень утратил свою утилитарную функцию и может присутствовать в зимней одежде как декоративный аксессуар. Р.Ф. Афанасьева [5] указывала на негативное влияние пояса, утягивающего одежду для защиты от холода в районе талии. Такой пояс снижает величину теплопереноса в пододежном пространстве конвективными потоками

воздуха, но уменьшает толщину пакета в области талии.

Эффективную защиту от низких отрицательных температур, в том числе экстремальных, активно действующему человеку, альпинисту или промышленному альпинисту, обеспечивает комбинезон. Его толщина рассчитывается с учетом оптимального распределения наполнителя по участкам тела. По сравнению с комплектом, состоящим из куртки и брюк, в комбинезоне отсутствует дублирование деталей, что положительным образом отражается на его массе, кроме того, комбинезон имеет максимально закрытую конструкцию, что обеспечивает стабильную тепловую защиту человека в любых ситуациях.



Рис. 1

На рынке представлен достаточно широкий круг комбинезонов для экстремально низких температур, которые можно подразделить на 2 типа: с поясным ремнем или кулисой (рис. 1) и без поясного ремня (рис. 2).



Рис. 2

Можно привести примеры комбинезонов фирм Сивэра "Азь Сивер" и БАСК "Баск Ultimate", ТЗК 14, "Звезда", прилегание в области талии которых обеспечивается за счет эластичной широкой тесьмы (рис. 1 – а, б, в) или за счет ремня, фиксирующего на талии нижнюю часть комбинезона, фирма Bergans Ehpedition Down (рис. 1 – г). Данные конструктивные элементы, заложенные в конструкцию производителями, сжимают пакет в области талии и тем самым понижают эффективность тепловой защиты. На рис. 1 места сжатия пакета выделены черными прямоугольниками.

Ряд фирм представляют для экстремально низких температур комбинезоны прямого силуэта без дополнительного жесткого прилегания в области талии (рис. 2).



Рис. 3

Red Fox Extreme, Black Yak, Marmot предлагают экспедиционные комбинезоны для высотного альпинизма из мембранной ткани, заполненные гусиным пухом, которые не имеют поясного ремня. Чтобы не зат-

руднять движения человека, возможно, нижняя часть комбинезонов снабжена внутренней системой поддержки, как это выполнено у фирмы Сивэра (рис. 3).

Комбинезон со стороны изнаночной части оснащен поясным ремнем с кулисой и бретелями, поддерживающими брюки и не позволяющими пакету изделия сползть вниз.

Индустрия для активных путешествий представляет одежду с пуховым наполнителем, который является очень легким и мягким материалом [6]. Благодаря своим физико-механическим свойствам пух заполняет весь объем пакета, и в одежде, заполненной пухом, практически отсутствует воздушная прослойка между внутренними слоями и телом человека. Поэтому пояс или эластичная тесьма, сдавливающие талию, не влияют на внутренний конвективный теплоперенос, но уменьшают термосопротивление пакета на сдавленных участках и при этом несут только конструктивную функцию – поддержать нижнюю часть комбинезона.

Цель настоящей статьи – выяснить, в какой мере поясной ремень может влиять на тепловую защиту человека.

#### Методы

Для достижения поставленной цели использован метод математического моделирования процесса теплообмена человека с окружающей средой. Данные методы широко применяются для моделирования теплообмена в системе "человек-одежда-окружающая среда" [7], [8]. В [7] представлены методики расчета процессов теплообмена и определения локальных теплофизических параметров системы "человек – тепловая защита – окружающая среда", в которых учтены возможности пассивной и активной тепловой защиты человека, а также теплофизических и геометрических свойств расчетных элементов одежды в широком диапазоне параметров окружающей среды. В [8] представлен метод оптимизационного математического моделирования, который был успешно применен авторами при проектировании одежды с пуховым наполнителем для защиты от холода. Математическое моделирование позволяет получить прог-

нозное представление параметров системы, при этом сократив большое количество дорогостоящих экспериментов. Последовательность расчета тепловой защиты человека в РФ основывается на ГОСТ Р 12.4.303–2016 [9].

В представленном исследовании разработана имитационная модель теплообмена "человек – одежда – окружающая среда", которая позволяет моделировать тепловые процессы на геометрической модели человека в области талии при надетом пояском ремне, и позволяет установить основные зависимости тепловых потерь, обусловленных шириной поясного ремня и степенью сдавленности под ним пакета одежды. Снижение тепловой защиты может происходить у человека за счет сжатия пакета в зонах прилегания поясного ремня, плотно надетого поверх комбинезона. Толщина пакета может уменьшаться в зонах прилегания ремня на 80...90%, что снижает термосопротивление сжатого участка одежды и в целом оказывает влияние на общее тепловое состояние человека.

В результате проведенного исследования мы должны ответить на следующие вопросы.

1. На какую величину возрастает поток тепла с тела человека под сдавленным участком пакета по сравнению с аналогичным несдавленным пакетом?
2. На сколько процентов увеличиваются общие тепловые потери человека в комбинезоне, сдавленном поясным ремнем по сравнению с несдавленным?
3. Какова зависимость тепловых потерь человека от ширины сдавленного участка одежды?
4. Какова зависимость тепловых потерь от толщины сдавленного участка одежды под ремнем?

Для определения сравнительных характеристик тепловой защиты одежды с несжатым и сжатым в области талии пакетом необходимо задаться величиной теплопродукции человека  $Q$ , которая будет принята за базовую, для которой рассчитывается средняя толщина одежды  $\delta$ , с учетом заданной отрицательной температуры окружаю-

щей среды  $T_b$ , и заданной средней комфортной температуры кожи человека  $T_k$ , по методике [9] (рис 4-а).

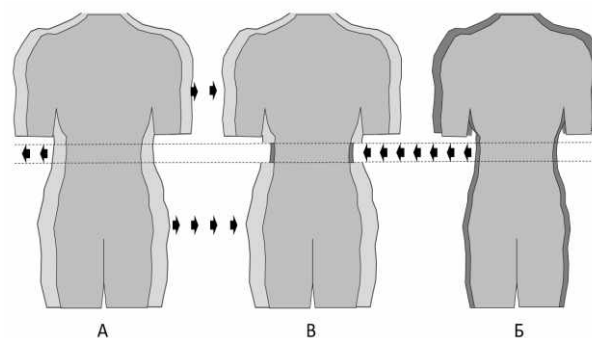


Рис. 4

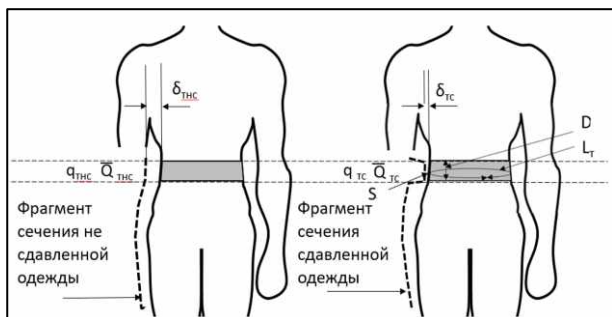
На рис. 4 показано фронтальное сечение тела человека в одежде: А – в несдавленном поясным ремнем одежде; Б – в одежде, имеющей толщину участка, сдавленного поясным ремнем участком; В – в одежде с поясным ремнем, сдавливающим участок одежды на талии.

После этого решается обратная задача, аналогично методике, изложенной в [11], определяется теплопродукция человека  $Q_c$ , необходимая для поддержания заданной температуры кожи для средней толщины одежды, равной толщине сжатого под ремнем пакета  $\delta_{сж}$ , для той же температуры окружающей среды (рис. 4-б).

Затем из двух моделей комбинируется модель 4-в, в которую входят соответствующие участки моделей 4-а и 4-б, с соответствующими долями тепловых потоков с поверхности тела человека. Затем определяется теплопродукция человека, которая будет необходима в одежде в сдавленном ремнем состоянии  $Q_{сс}$ , и будет обеспечивать среднюю заданную температуру кожи человека (рис. 4-в).

Иными словами, мы из модели тела человека А (рис. 4) вырезаем участок талии с несдавленным пакетом, вычитая долю теплопродукции, относящуюся к этому участку, и вместо него вставляем участок модели Б с толщиной сжатого пакета, соответственно с долей теплопродукции, относящейся к этому участку. Общая теплопродукция будет равна сумме теплопродукций.

При таком расчете делается допущение об аддитивности теплофизических параметров модельного представления и считается, что коэффициент теплопроводности пакета пренебрежимо мало изменяется при сжатии.



а) б)  
Рис. 5

На рис. 5 схематично представлено фронтальное сечение фигуры человека с фрагментом сечения одежды с поясным ремнем шириной  $D$ , надетым на талию с обхватом  $L_{\text{т}}$ , который сжимает пакет в области талии, уменьшая тепловую защиту тела в данной области на площади  $S$ , и детализированы переменные, которые будут использоваться при построении алгоритма расчета тепловых параметров модели тела человека в комбинезоне, сжатого и не сжатого поясным ремнем (а – не сдавленной поясным ремнем; б – сдавленной поясным ремнем):  $S$  – площадь участка под поясным ремнем,  $\text{м}^2$ ;  $D$  – ширина поясного ремня,  $\text{м}$ ;  $L_{\text{т}}$  – обхват участка под поясным ремнем на талии,  $\text{м}$ ;  $\delta_{\text{тнс}}$  – средняя толщина не сдавленного пакета одежды на талии,  $\text{м}$ ;  $q_{\text{тнс}}$  –

удельная плотность теплового потока с поверхности тела человека в области талии в не сдавленном пакете одежды,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $Q_{\text{тнс}}$  – потери тепла в не сдавленном пакете одежды на талии,  $\text{Вт}$ ;  $\delta_{\text{тс}}$  – средняя толщина сдавленного пакета одежды на талии,  $\text{м}$ ;  $q_{\text{тс}}$  – удельная плотность теплового потока с поверхности тела человека в области талии в сдавленном пакете одежды,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $Q_{\text{тс}}$  – потери тепла в сдавленном пакете одежды на талии,  $\text{Вт}$ .

С учетом вышесказанного задача будет сводиться к расчету тепловых потерь с идеализированного участка модели тела человека, сечение которой представляется цилиндром с коаксиальным слоем, сжатого или не сжатого поясным ремнем в средней части фигур – рис. 6 (идеализированное представление фрагмента геометрической модели части тела в области талии, сжатого и не сжатого поясным ремнем).

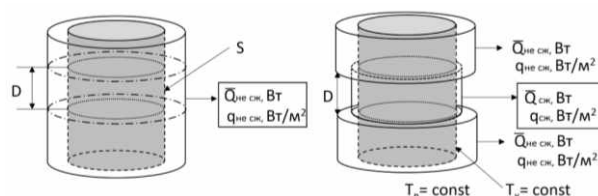


Рис. 6

В модельном представлении обхват участка под поясным ремнем на талии принят  $0,84 \text{ м}$  согласно среднему значению размера  $176-100-88$  по классификации типовых фигур мужчин по [10], что соответствует значению радиуса горизонтального сечения человека в области талии,  $r_{\text{т}} = 0,134 \text{ м}$ , в идеализированном представлении туловища человека в виде цилиндра.

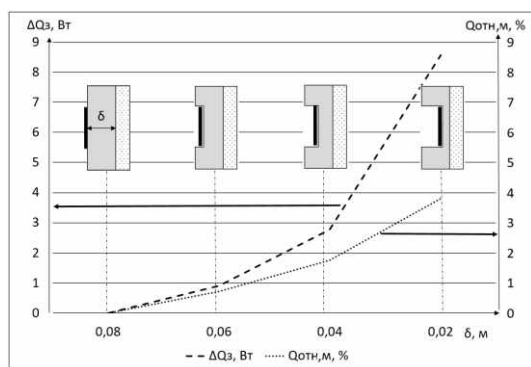


Рис. 7

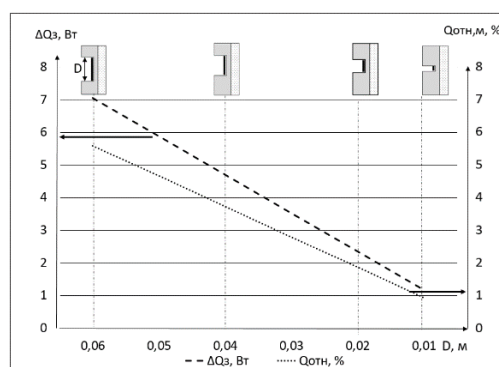


Рис. 8

Для математической модели принято следующее обобщение. В качестве объекта использован мужчина, возрастом 30 лет, с параметрами фигуры, приближенной к условно-типовой с размерами 176-100-88, занимающийся физической деятельностью с величиной общих энергозатрат, равной 200-210 Вт.

#### *Результаты и обсуждения*

На рис. 7 (абсолютное  $\Delta Q_3$ , Вт, и относительное  $\Delta Q_{отн}$ , %, изменение тепловых потерь с поверхности тела человека в зависимости от толщины пакета под поясным ремнем) и рис. 8 (абсолютное  $\Delta Q_3$ , Вт, и относительное  $\Delta Q_{отн}$ , %, изменение тепловых потерь с поверхности тела человека в зависимости от ширины поясного ремня) представлены графики, которые показывают степень увеличения теплового потока с поверхности тела человека в абсолютном (Вт) и в относительном (%) выражениях в зависимости от толщины пакета в области сжатия поясным ремнем и в зависимости от ширины поясного ремня, сдавливающего пакет.

Сила стягивания поясного ремня влечет за собой уменьшение толщины пакета материалов, расположенного под ремнем, а соответственно увеличение теплопотерь с поверхности рассматриваемого участка тела человека (рис. 7). В результате установлено, что при сдавливании пакета общие потери тепла с поверхности тела человека растут экспоненциально и могут увеличиваться по сравнению с несдавленным пакетом толщиной 0,08 м до 8-9 Вт, что соответствует увеличению общих теплопотерь на 4%.

Анализ графика, представленного на рис. 8, демонстрирует зависимость тепловых потерь от ширины сдавливающего ремня при неизменной толщине пакета под ремнем, принятой в расчетах равной 0,02 м. Согласно графику тепловые потери изменяются линейно в зависимости от ширины ремня. При ширине сдавливающего поясного ремня, равной 6 см, общие теплопотери увеличиваются на 7Вт или на 5,5%. При уменьшении ширины ремня до 1 см они увеличиваются соответственно на 1,2 Вт или 1%.

Но величина общих теплопотерь может варьироваться в условиях изменения исходных данных – величины энергозатрат (вида деятельности), пола, возраста, роста и веса объекта.

## ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования показали зависимость изменения общих тепловых потерь с поверхности тела человека от толщины пакета материалов, сдавливаемого поясным ремнем, и от ширины сжатого участка. Такая зависимость позволяет прогнозировать теплозащитные свойства одежды с пуховым наполнителем при расширении ассортиментного ряда выпускаемой продукции путем применения разнообразных конструктивных вариантов и различного использования параметров аксессуаров.

Таким образом, установлено, что необходимую защиту от теплопотерь может обеспечить конструкция комбинезона с минимальным сдавливанием пакета в области талии – с разницей в толщине от 0 до 0,02м между средневзвешенной толщиной пакета и участком в области талии, а также минимально возможная ширина поясного ремня. Необходимо подбирать такие конструктивные элементы в районе талии, которые смогут обеспечить посадку комбинезона без стягивания в области талии. В этом случае целесообразно формирование конструктива пухового изделия в области талии таким образом, чтобы пата, либо локальная кулиса с эластичной тесьмой, либо поясной ремень располагались в пододежном пространстве комбинезона, не сдавливая пакет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. King J.C.H., Pauksztat B., Storrie R. Arctic Clothing of North America-Alaska, Canada, Greenland. Copyright Date: 2005 Published by: McGill-Queen's University Press. Pages: 160. Доступно по ссылке: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt9qf392>
2. Pokatilova S., Petrova Y., Andreeva A., Afanasev N. Traditions of the Yakut winter clothing, Traditions of the Yakut winter clothing. International Conference on Man-Power-Law-Governance: Interdisciplinary Approaches (MPLG-IA 2019) Atlantis Press. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.2991/mplg-ia-19.2019.31>

3. Tom G. Svensson. Clothing in the Arctic: A Means of Protection, a Statement of Identity. Arctic Vol. 45, No. 1 (Mar., 1992). P. 62...73. Доступно по ссылке <https://doi.org/10.14430/arctic1374>

4. Hochstrasser-Petit Ch., Romanova L., Duchesne Sylvie, Melnichuk O., Gérard P. Yakut clothes of the 17th and 18th centuries, archaeology and restitution // Vestnik arheologii, antropologii i etnografii, Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 2020 (4), pp.131 - 147. Доступно по ссылке: <http://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-51-4-12>

5. Афанасьева Р.Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода. – М.: Легкая индустрия, 1977.

6. Fuller M.E. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry/ School of Design The University of Leeds Under the supervision of Dr Ningtao Mao, Dr Mark Taylor, Professor Stephen Russell. – April 2015.

7. Чичиндаев А.В., Хромова И.В. Теплообмен в системе "Человек-одежда-окружающая среда" в условиях низких температур. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018.

8. Бринк И.Ю., Богданов В.Ф., Колесник С.А. Основы проектирования тепловой защиты аутдор-снаряжения. ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты. – Новочеркасск: Лик, 2016.

9. Одежда специальная для защиты от пониженных температур: ГОСТ Р 12.4.303–2016. – [Введен в действие от 2019-07-01]. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2016. – (Межгосударственный стандарт).

10. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Фигуры мужчин типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. Технические условия: ОСТ 17-325–86. [Введен в действие от 1987-07-01]. М.: ЦНИИТЭИглегпром, 1987.

11. Баквалов Ю.А., Горбатенко Н.И., Гречихин В.В. Обратные задачи электротехники. // Изв. вузов. Электромеханика. – Новочеркасск, 2014.

## REFERENCES

1. King J.C.H., Pauksztat B., Storrie R. Arctic Clothing of North America-Alaska, Canada, Greenland. Copyright Date: 2005 Published by: McGill-Queen's University Press. Pages: 160. Dostupno po ssylke: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt9qf392>

2. Pokatilova S., Petrova Y., Andreeva A., Afanasev N. Traditions of the Yakut winter clothing, Traditions of

the Yakut winter clothing. International Conference on Man-Power-Law-Governance: Inter-disciplinary Approaches (MPLG-IA 2019) Atlantis Press. Dostupno po ssylke: <https://doi.org/10.2991/mplg-ia-19.2019.31>

3. Tom G. Svensson. Clothing in the Arctic: A Means of Protection, a Statement of Identity. Arctic Vol. 45, No. 1 (Mar., 1992). P. 62...73. Dostupno po ssylke <https://doi.org/10.14430/arctic1374>

4. Hochstrasser-Petit Ch., Romanova L., Duchesne Sylvie, Melnichuk O., Gérard P. Yakut clothes of the 17th and 18th centuries, archaeology and restitution // Vestnik arheologii, antropologii i etnografii, Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 2020 (4), pp.131 - 147. Dostupno po ssylke: <http://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-51-4-12>

5. Afanas'eva R.F. Gigienicheskie osnovy proektirovaniya odezhdy dlya zashchity ot kholoda. – М.: Legkaya industriya, 1977.

5. Afanas'eva R.F. Hygienic principles of designing clothing for protection against the cold. – М.: Light industry, 1977.

6. Fuller M.E. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry/ School of Design The University of Leeds Under the supervision of Dr Ningtao Mao, Dr Mark Taylor, Professor Stephen Russell. – April 2015.

7. Chichindaev A.V., Khromova I.V. Heat transfer in the system "Man-clothing-environment" at low temperatures. - Novosibirsk: From NSTU, 2018.

8. Brink I.Yu., Bogdanov V.F., Kolesnik S.A. Fundamentals of designing thermal protection for outdoor equipment. ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty. - Novocherkassk: Lik, 2016.

9. Special clothing for protection against low temperatures: GOST R 12.4.303–2016. – [Effectuated on 2019-07-01]. - М.: Publishing house Standartinform, 2016. - (Interstate standard).

10. Sewing, knitted, fur products. Figures of men are typical. Dimensional signs for designing clothes. Specifications: OST 17-325-86. [Put into effect on 1987-07-01]. М.: TsNIITEIlglegprom, 1987.

11. Bakhvalov Yu.A., Gorbatenko N.I., Grechikhin V.V. Inverse problems of electrical engineering. // Izv. universities. Electromechanics. – Novocherkassk, 2014.

Статья опубликована по материалам Смартекс. Поступила 29.11.21.



**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ  
ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПУТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ОКАНТОВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

**IMPROVEMENT OF LIGHT INDUSTRY PARTS  
PROCESSING METHOD BY FRINGING OPERATIONS AUTOMATION**

*А.С. КОЗЛОВ, С.Ю. КИСЕЛЕВ,  
А.А. КУЛАКОВ, Н.А. МАКАРОВА, Д.В. ГОРЯЧКИН*

*A.S. KOZLOV, S.YU. KISELEV,  
A.A. KULAKOV, N.A. MAKAROVA, D.V. GORYACHKIN*

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: askozlov53@mail.ru; kiselev s u@mail.ru; akulakov-07@yandex.ru;  
d212sovet@mail.ru; 52025rotaohrani@mail.ru

*В статье рассмотрены принципы и способы обработки краев/срезов деталей изделий легкой промышленности, представлены наиболее часто используемые виды швов для проведения окантовки деталей, приспособления и устройства, позволяющие осуществлять окантовочные операции. Одним из существенных недостатков рассмотренных окантовывателей является их неуниверсальность, а также проблема, связанная с несинхронным продвижением окантовочной полоски и обрабатываемой детали, что влияет на равномерность длины стежка, а следовательно, на качество получаемой строчки.*

*В связи с этим целью данной статьи является усовершенствование способа продвижения окантовочной полоски и обрабатываемой детали, достижение равномерности длины стежка для обеспечения постоянства качества строчки, расширение технологических возможностей устройств для окантовывания краев/срезов обрабатываемых деталей за счет использования окантовочных материалов различных структур и свойств, включая материалы с высокой поверхностной плотностью.*

*В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи: анализ приспособлений, применяемых для окантовочных операций, выявление их принципиальных недостатков; рассмотрение причин, затрудняющих проведение окантовочных операций; усовершенствование способа обработки краев/срезов деталей изделий; разработка приспособления с расширенными технологическими возможностями для повышения качества проведения окантовки деталей изделий.*

*The article discusses principles and methods of processing edges/cuts of light industry products parts, presents the most commonly used types of seams for edging parts, devices and devices that allow for edging operations. One of the significant disadvantages of the edging elements discussed is their non-versatility, as well as the problem associated with the unsynchronous advancement of the edging strip and the workpiece, which affects the uniformity of the stitch length, and therefore the quality of the resulting stitch.*

*In this regard, the purpose of this article is to improve the method of advancing the fringing strip and the workpiece, to achieve uniformity of stitch length to ensure consistent stitch quality, to enhance the processing capabilities of the edge/slice edging devices of the workpiece by using fringing materials of various structures and properties, including materials with high surface density.*

*In accordance with the set goal, the following tasks are solved in the work: analysis of devices used for fringing operations, identification of their fundamental shortcomings; Consideration of the reasons that make fringing operations difficult; improved method of processing edges/cuts of parts of articles; development of accessory with extended technological capabilities to improve quality of part edging.*

**Ключевые слова:** способ, край/срез, деталь, окантовочная полоска, тесьма, устройство, приспособление, окантовочные операции, универсальность, длина стежка, равномерность длины стежка, качество строчки, усилие транспортировки, сила трения.

**Keywords:** way, edge/cut, detail, edging strip, tape, device, adaptation, edging operations, universality, stitch length, uniformity of length of a stitch, quality of a line, transportation effort, friction force.

При обработке деталей изделий швейной и обувной промышленности большинство операций, например, таких, как направление заготовок при прошивании, подгибка краев деталей, прокладывание окантовочной ленты и т.п., выполняется в ручном режиме. Большой процент таких операций относится к обработке срезов деталей изделий.

Для предотвращения осыпания открытых срезов деталей, улучшения внешнего вида и повышения прочности края широко применяется окантовывание [1].

Окантовывание заключается в обработке края/среза детали полоской/тесьмой из материалов различных структур, плотности, толщины, фактуры лицевой поверхности, таких как искусственная, синтетическая или натуральная кожи, ткани, полимерные пленки. Обрабатываемый край обстрачивают окантовочной полоской/тесьмой челночным стачивающим стежком. Длина стежка может составлять от 2 до 5 мм, ширину окантовочной полоски/тесьмы подбирают в зависимости от вида и материала изделия [2].

Для обработки низа юбок и брюк, горловин, пройм, краев накладных карманов могут применяться различные виды окантовочных швов [3], примеры изображений которых представлены на рис. 1.

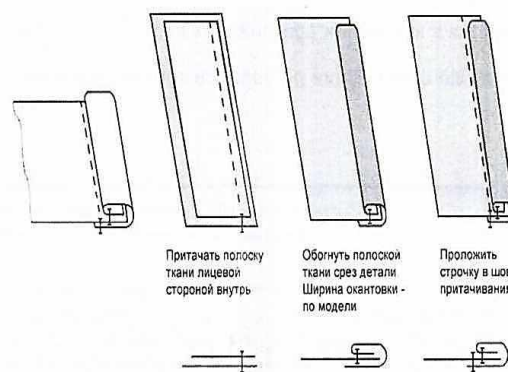


Рис. 1

Вопросам обработки краев/срезов деталей начали уделять внимание с 80-х гг. Советскими изобретателями было разработано приспособление для крепления окантовывателя на швейной машине. Отличительной особенностью приспособления являлось наличие пяти регулировок. Такая система регулировок позволяла проводить окантовывание срезов деталей, используя ткани различных структур, при их раскрое под различными углами, а также расширять технологические возможности применяемого оборудования. Регулировки осуществлял механик, учитывая особенности окантовывающей полоски и того, как она проходит через окантовыватель.

Другое приспособление для окантовки полоской ткани срезов деталей позволяло

окантовывать срезы/края деталей изделий за один прием. Оператор через фиксатор проводил полоску хлопчатобумажной или шелковой ткани шириной 30 мм в рабочую зону приспособления и через паз в основании принудительно смещал ее к формирующей головке. Конфигурация, размеры и взаимное расположение деталей (уклон охватываемой направляющей не более 30°) обеспечивал требуемую деформацию полоски, ее подгибку и подачу в зону стежкообразования.

При использовании данного приспособления уменьшалось усилие протягивания ткани, количество вспомогательных операций, упрощалась конструкция приспособления, его крепление на швейной машине.

Приспособление для окантовки срезов деталей, содержащее корпус, на котором смонтирована формирующая головка, две прижимные подпружиненные пластины, верхний и нижний ограничители, позволяло улучшить качество обработки срезов/краев деталей за счет асимметричной заправки полоски ткани. Это достигалось тем, что одна из прижимных пластин имела боковые кромки, загнутые внутрь. Конфигурация, размеры, взаимное расположение ограничителей и прижимных пластин обеспечивали качественное выполнение процесса подгибки окантовочной полоски и ее подачи в зону стежкообразования [4], [5].

Недостатком перечисленных приспособлений, а также подобных устройств является их ограниченность применения, то есть при проведении окантовочных операций возможно использовать окантовочную полоску только из одного материала. При этом невозможно обеспечить высокое качество окантовки, так как при изменении типов окантовочных тканей происходит деформация окантовочных полосок, особенно при использовании полосок из эластичных тканей или толстых материалов, например, таких как кожи. При этом продвижение окантовочной полоски в формователе не регулируется в соответствии с продвижением обрабатываемой детали изделия, что приводит к неравномерной окантовке и перекашиванию окантовочной полоски, тем самым не обеспечивается равно-

мерность длины стежка, а следовательно, не обеспечивается получение качественной строчки.

Для обеспечения постоянной длины стежка транспортирующие органы швейной машины должны преодолеть силы трения, возникающие при транспортировке детали и протягивания тесьмы из окантовывателя [6].

В рассмотренных выше устройствах [4], [5] процесс транспортировки детали и окантовочной тесьмы происходит одновременно зубчатой рейкой после выхода иглы из материала. При этом усилие транспортировки  $F_{\text{трансп}}$  должно преодолеть силы трения  $F_{\text{тр}}$ , возникающие при перемещении детали относительно прижимной лапки машины  $F_1$  и силы трения  $F_2$ , которая возникает при контакте тесьмы с рабочими поверхностями окантовывателя:

$$F_{\text{трансп}} \geq F_{\text{тр}} \geq F_1 + F_2, \quad (1)$$

$$F_1 = N\mu + T_1, \quad (2)$$

где  $N$  – давление прижимной лапки на деталь;  $\mu$  – коэффициент трения между деталью и рейкой;  $T_1$  – сопротивление перемещению детали относительно платформы машины;  $F_2$  – сила трения окантовочной тесьмы с окантовывателем, зависящая от количества поверхностей контакта тесьмы с окантовывателем и физико-механических свойств материала тесьмы.

С целью уменьшения  $F_{\text{трансп}}$  транспортировку детали и окантовочной тесьмы целесообразно смещать по фазе.

Авторами [7] предложен способ транспортировки детали рейкой после выхода иглы из материала, а вытягивание тесьмы из окантовывателя – во время нахождения иглы в материале при движении рейки под игольной пластиной на работника.

На рис. 2 представлена конструктивная схема устройства для установки окантовывателя на швейной машине, где 1, 13, 14 – валы; 2, 3 – опоры; 4 – окантовыватель; 5 – кронштейн; 6 – паз; 7 – ползун; 8 – палец; 9, 18, 19 – винты; 10 – рычаг; 11 – вилка; 12 – рейка; 15, 17 – коромысла; 16 – ползун; 20 – игольная пластина.

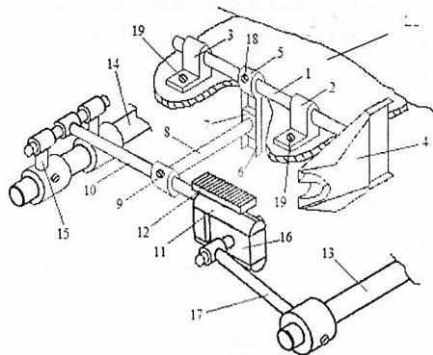


Рис. 2

Приспособление для установки окантовывателя на швейной машине состоит из вала 1, перемещающегося возвратно-поступательно в опорах 2, 3, винтами 19 закрепленных на платформе 20 швейной машины. На конце вала 1 жестко закреплен окантовыватель 4, в котором заправлен материал для обработки края детали (окантовочный материал и обрабатываемая деталь на схеме не показаны).

На валу 1 винтом 18 закреплен кронштейн 5 с прямолинейным пазом 6, по которому перемещается ползун 7, шарнирно соединенный с пальцем 8. Палец 8 винтом 9 крепится на рычаге 10 с вилкой 11, на которой закреплена рейка 12. Рычаг 10 с рейкой 12 получают движение по эллипсу от валов 13 и 14 механизма перемещения материала швейной машины, через коромысло 17, ползун 16, вставленный в вилку 11 и коромысло 15.

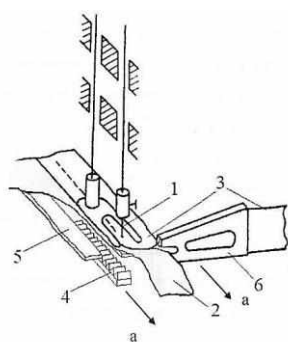


Рис. 3

В процессе работы швейной машины, когда игла 1 (рис. 3 – схема движения звеньев устройства во время вытягивания тесьмы из окантовывателя: 1 – игла; обрабатываемый материал; 3 – окантовочная

тесьма; 4 – рейка; 5 – игольная пластина) прокалывает обрабатываемый материал 2 с окантовочной тесьмой 3, рейка 4 опускается ниже игольной пластины 5 и перемещается на работника (стрелка "а").

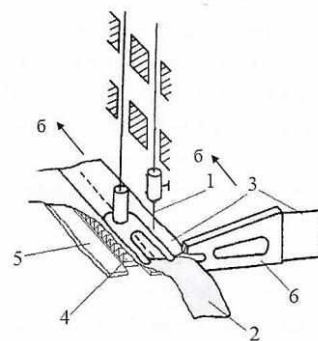


Рис. 4

Вместе с рейкой 4 перемещается окантовыватель 6, что позволяет вытянуть тесьму 3, удерживаемую иглой 1, из окантовывателя. При выходе иглы 1 из материала 2 и тесьмы 3 (рис. 4 – схема движения звеньев устройства во время транспортировки детали и тесьмы: 1 – игла; обрабатываемый материал; 3 – окантовочная тесьма; 4 – рейка; 5 – игольная пластина) рейка 4 начинает перемещаться от работника (стрелка "б") и транспортирует материал 2 с вытянутой из окантовывателя тесьмой 3 на величину стежка.

Это позволяет уменьшить усилие транспортировки материала 2, так как тесьма 3 предварительно вытянута. Таким образом, улучшается качество выполняемой операции за счет обеспечения стабильности длины стежка, особенно при использовании тесьмы с высокой поверхностной плотностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Слюсарева Е.А., Москаленко Н.Г. Начальная обработка деталей швейных изделий (часть 2). – Благовещенск: АмГУ, 2017.
2. Сурикова М.В. Использование технологической оснастки в швейной промышленности. – Иваново: ИГТА, 2010.
3. Бодяло Н.Н. и др. Технология швейных изделий. – Витебск: УО "ВГТУ", 2012.
4. Козлов А.С., Макарова Н.А., Горячкин Д.В. Устройство для обработки краев деталей с расширенными технологическими возможностями // Сб.

мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020. – Часть 2.

5. Edge-folding core penetrating device for garment processing. Int. Class D05B 35/00 Appl. No 201920678084.2 CO., LTD. Inventor YU X1AO11ONG. CN 210262262 - 07.04.2020.

6. Глазунов В.Ф. Математическая модель процесса деформации упругого транспортируемого материала под действием сил трения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 3. С. 223...226.

7. Козлов А.С., Макарова Н.А. Горячкин Д.В. Приспособление для крепления окантовывателя на швейной машине. Патент RU 198 787 U1, D05B 35/06, 2020, бюл. № 22.

#### REFERENCES

1. Slyusareva E.A., Moskalenko N.G. Initial processing of garment parts (part 2). - Blagoveshchensk: AmSU, 2017.

2. Surikova M.V. The use of technological equipment in the clothing industry. - Ivanovo: IGTA, 2010.

3. Bodyalo N.N. etc. Technology of garments. - Vitebsk: EE "VGTU", 2012.

4. Kozlov A.S., Makarova N.A., Goryachkin D.V. Device for processing the edges of parts with advanced technological capabilities // Sat. mat. International scientific-technical conf.: Design, technology and innovation in the textile and light industry (INNOVATION-2020). - M.: RSU named after A.N. Kosygin, 2020. - Part 2.

5. Edge-folding core penetrating device for garment processing. Int. Class D05B 35/00 Appl. № 201920678084.2 CO., LTD. Inventor YU X1AO11ONG. CN 210262262 - 04/07/2020.

6. Glazunov V.F. Mathematical model of the process of deformation of an elastic transported material under the action of friction forces // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. - 2016, № 3. S. 223 ... 226.

7. Kozlov A.S., Makarova N.A. Goryachkin D.V. A device for attaching a binder to a sewing machine. Patent RU 198 787 U1, D05B 35/06, 2020, bul. № 22.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 11.11.21.

УДК 677.014

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_235

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ СПЕЦОДЕЖДЫ ДЛЯ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ\*

### SOLUTION OF PROBLEMS OF WORKWEAR FOR TORCRETING USING ELECTROSTATICS

*В.Я. МИЩЕНКО, А.Л. СЕМЕНОВ, Д.В. ЛОБОДА*

*V.YA. MISHCHENKO, A. L. SEMENOV, D. V. LOBODA*

**(Воронежский государственный технический университет)**

**(Voronezh State Technical University)**

E-mail: ala\_sem@mail.ru

***В технологии индустриального строительства давно и успешно применяется торкретирование. Группой ученых был разработан инновационный метод нанесения торкрет-бетона на ограждающие конструкции с приме-***

\* Работа поддержана проектом № 3.1.1.1 Плана фундаментальных исследований Российской архитектурно-строительной академии на 2021-2023 гг. и Министерства строительства и коммунального хозяйства Российской Федерации. Исследования, результат которых изложен в данной работе, проводились с использованием оборудования ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова ВГТУ, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 075-15-2021-662.

\* This research was supported by Project # 3.1.1.1 within the 2021-2023 Plan of Fundamental Research of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering and Ministry of Civil Engineering and Public Utilities of the Russian Federation. The experimental studies have been carried out using the facilities of the Collective Research Center named after Professor Yu.M. Borisov, Voronezh State Technical University, which is partly supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, Project No 075- 15-2021-662.

*нением технологии электростатического электричества для снижения отскока материала. Есть большой зарубежный и отечественный опыт применения таких методов в лакокрасочном производстве, но с внедрением новой технологии успешный опыт нанесения окрашивающих веществ предлагается перенести в торкретирование ограждающих конструкций. Несмотря на очевидный экономический эффект от использования такого способа нанесения, работа с электричеством сопряжена с рядом опасностей. Так, возникает необходимость в спецодежде, которая бы выполняла роль клетки Фарадея и защищала специалиста как от поражения током, так и от вредного воздействия электромагнитного поля. В статье предлагается использовать инновационные антистатические ткани, в которых мастер по торкретированию мог длительное время безопасно работать в условиях контакта с электростатикой.*

*Shotcrete has been successfully used in industrial construction technology for a long time. A group of scientists has developed an innovative method of applying shotcrete to building envelopes using electrostatic electricity technology to reduce material rebound. There is a large foreign and domestic experience in the application of such methods in paint and varnish production, but with the introduction of a new technology, it is proposed to transfer the successful experience of applying coloring substances to the gunning of enclosing structures. Despite the obvious economic effect of using this method of application, working with electricity is fraught with a number of dangers. So, there is a need for overalls that would perform the role of a Faraday cage and protect a specialist from both electric shock and the harmful effects of an electromagnetic field. The article proposes the use of innovative anti-static fabrics, in which the gunning master could safely work for a long time under conditions of contact with electrostatics.*

**Ключевые слова:** спецодежда, торкретирование, электростатика, трибо-статика, клетка Фарадея, антистатика, скин-эффект, защитная одежда, MXene.

**Keywords:** overalls, gunning, electrostatics, tribostatics, Faraday cage, anti-static, skin effect, protective clothing, MXene.

В настоящее время все большую популярность приобретают технологии набрызга бетона на различные конструкции, откосы, ограждающие сооружения, своды тоннелей. Применение такого способа нанесения смесей связано с довольно высоким отскоком и соответственно с потерей части материала, который повторно уже не используется. Группой ученых был разработан способ предотвращения отскока, увеличения плотности усадки частиц является торкретирование с применением электростатической зарядки распыляемого материала [1], [5], [6].

Электростатическая зарядка материала давно и успешно применяется при электростатической покраске. Между окрашиваемой поверхностью и распыляемой краской создается разность потенциалов, движение частиц осуществляется по возникающим силовым линиям. Частички краски, стремясь компенсировать потенциал, заполняют поверхность окрашиваемого материала, в первую очередь, свободную от краски, тем самым наиболее выгодно компенсируя разность потенциалов. Таким образом, окрашивание осуществляется наиболее ровным и упорядоченным слоем [7].

При торкретировании с применением электростатики задача несколько иная. Разность потенциалов создается в основном за счет зарядки положительным (или отрицательным) зарядом подаваемого раствора в торкрет-форсунке. Поверхность для набрызга заземляется. Заземление осуществляется за счет проливания торкретируемой поверхности водой, связи с металлической арматурой. Эффективность процесса электростатического торкретирования по одному из существенных факторов обусловлена емкостью конструкции к снятию потенциала от заряженных частиц набрызгиваемого торкрет-бетона. Зарядка частиц торкрет-бетона имеет импульсную составляющую. Зарядка происходит в момент прохода торкрет бетона через форсунку с интегрированной изолированной обкладкой заряжающего конденсатора высокого напряжения. Разрядка также имеет максимальное значение в момент контакта заряженной частицы с поверхностью.

Данное распределение заряда объясняется согласно закону Кулона.

Таким образом, изменение вектора движения частички торкрет-бетонной смеси при превышении кинетического порога удержания частички на поверхности гасится обратным импульсным погашением заряда частицы на заземленной поверхности.

Частицы заряжаются на этапе распыления различными способами.

1. Прямой изолированный от внешней среды потенциал различной мощности (от 20 до 150 кВольт), который создает мощное электромагнитное поле и обеспечивает проходящему потоку торкрет-смеси передачу необходимого количества электронов, достаточных для эффективного удержания частиц при их контакте с поверхностью.

2. Ионизированный газ, который заряжается потенциалом ранее и в процессе смешивания, равномерно распределяет заряд по торкрет-бетону.

3. Трибостатическая зарядка, где заряд частички торкрет-бетона получают путем трения при пневмотранспорте сухой смеси и в последующем при вращении в форсунке.

Создаваемый потенциал в торкрет-смеси любым из перечисленных способов при незначительных объемах торкретирования не является критически опасным для жизнедеятельности человека, но может создавать серьезный дискомфорт в работе, что связано с работой с током высокого напряжения, а также накоплением электростатического электричества на одежде.

Таким образом, торкретирование с применением электро- или трибостатики с одной стороны, повысит эффективность работы, снизит потерю материала при отскоке, но, с другой, вызовет необходимость в спецодежде, которая защищала бы не только от загрязнений, но и от воздействия электромагнитных полей.

В настоящее время в РФ действует целый ряд государственных стандартов, которые описывают стандарты работы человека в опасных электромагнитных условиях. Это ГОСТ (12.1.002–84, 12.1.006–84, 12.1.045–84 и др.), различные СанПиН, ориентировочные безопасные уровни воздействия переменных магнитных полей разных частот (ОБУВ), ПДУ и другие нормативные документы в области электробезопасности. Они устанавливают ограничения по продолжительности и уровню воздействия электромагнитного поля на организм человека. Кроме того, регламентируются гигиенические требования и контроль за условиями труда при работе с электроприборами и электрическими полями.



Рис. 1

Существует множество способов защиты от угрозы поражения электрическим

током. Один из самых эффективных – одежда с электростатической защитой, которая может быть сделана по принципу клетки Фарадея (рис. 1). Этот способ достаточно прост. Если в зону действия электрического поля вносится замкнутый контур, обладающий свойствами электропроводности, электроны данного контура начинают двигаться под силой воздействием поля. Противоположные стороны контура заряжаются так, что внутреннее поле компенсирует внешнее.

Однако о таком методе защиты имеет смысл говорить лишь при воздействии электрического или переменного электромагнитного поля. Клетка Фарадея не является экраном от воздействия статического магнитного поля, которое будет проникать внутрь контура и влиять на объект внутри.

Очевидно, что если меняется электрическое поле, меняется и порожденное им электромагнитное. Если оболочка клетки будет блокировать первое поле, второе также не будет воздействовать.

При воздействии волн высокой частоты они отражаются от поверхности клетки. При этом возникают потоки в виде вихрей и затухают в толще контура с потерей тепла.

По мере того, как электромагнитная волна проникает внутрь проводника, ее амплитуда уменьшается (скин-эффект). Ток распределяется в тонком поверхностном скин-слое, не проникая внутрь, а сопротивление вглубь растет.

В результате этого эффекта, например, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется неравномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое. Постоянный ток распределяется в проводнике равномерно.

Способность клетки Фарадея экранировать электромагнитное излучение определяется:

- толщиной материала, из которого она изготовлена;
- глубиной скин-эффекта;
- соотношением размеров проемов в ней с длиной волны внешнего излучения.

В табл. 1 (толщина скин-слоя в меди) приведены данные по частоте электросети в разных регионах Земли.

Т а б л и ц а 1

Частота, Гц	Толщина скин-слоя, мм	Частота электросети
50	9,34	Евразийский регион
50	9,34	Африканский регион
60	8,53	Американский регион

Авторами было учтено, что ток, используемый при торкретировании, создаст электромагнитное поле, а следовательно возникнет и скин-эффект. Толщина скин-слоя для диэлектрика (хлопчатобумажной ткани) стремится к бесконечности, но для идеального проводника (металлических волокон в спецодежде) – к нулю. Таким образом, облучение электромагнитным полем не проникнет внутрь одежды и будет отражаться от ее поверхности, вызывая характерный металлический блеск [11], [12].

Для защиты человека от электростатического напряжения соответственно необходимо разработать защитную одежду, которая бы создавала эффект клетки Фарадея и выполняла роль экрана. Размер ячейки клетки зависит от длины волны излучения (должен быть значительно меньше). Так, например, при длине волны 16 см ячейку в защитной решетке формируют с размером 2 см.

Частота тока в бытовой электросети составляет 50 Гц ей соответствует длина радиоволны 6000 км.

Если длина волны известна заранее, можно без труда рассчитать размеры экрана и расстояние элементов его конструкции друг от друга.

Одежду можно сшить из готовых тканей с интеграцией в их состав металлических сеток. Важнее всего, чтобы ячейки были устроены по расчету, а слои были непроводящими внутри и проводниками – внешне. Внутренний слой обычно делают из диэлектриков.

Форма клетки Фарадея не влияет на эффективность ее работы [13...15].



Проводящий материал не влияет на активность клетки, пока он способен проводить электричество.

Наличие заземления для клетки Фарадея является необязательным, но дополнительным средством безопасности в случае возникновения наэлектризованности токопроводящих материалов клетки. Данная мера безопасности наиболее актуальна в случае промышленного торкретирования с применением электростатики.

Отсутствие влаги – основной критерий, влияющий на безопасность внутри клетки Фарадея и создающий гарантированный защитный эффект. Поэтому торкретирование с применением электростатики должно производиться в непромокаемой спецодежде с антистатическим эффектом. Как уже было сказано, экранирование с помощью клетки Фарадея от постоянного магнитного поля невозможно. Зато переменное магнитное поле отражается без затруднений, и при работе с торкрет-бетоном можно защитить человека как от электрических, так и от электромагнитного воздействия полей.

Многие фирмы выпускают специальные ткани со встроенными антиэлектростатическими нитями. Например, специалисты компании "Чайковский текстиль" применяют способ смешивания нитей со специальной пряжей из волокон нержавеющей стали Bekitex (Бельгия). Такая ткань и после 100 стирок сохраняет свои свойства и обладает высоким удельным сопротивлением [2], [7...9].

Однако отметим, что ткань с антистатическим эффектом на основе никелевого, кобальтового, алюминиевого, цинкового и многих других покрытый не допускают непосредственный контакт с телом человека, повышают вес одежды. В связи с этим желаемого эффекта антистатики стоит добиваться путем непосредственного модифицирования льняной или хлопчатобумажной ткани материалами-проводниками, например, погружением тканей в коллоидные растворы переходных металлов толщиной несколько атомов (MXene), что придаст ткани высокое сопротивление. Ряд исследований свидетельствуют о том, что по-

мимо возникновения эффекта защиты от электрического тока такая ткань будет еще и частично антибактериальной [10], [11].

Заземление костюма для электростатики не предусмотрено в связи с тем, чтобы исключить разность потенциалов между одеждой и потоком заряженных частиц.

Конструкция костюма должна иметь целостность проводящих элементов для создания эффекта клетки Фарадея для соответствующего накопления разноименных потенциалов.

Толщина материала костюма должна превышать 1 см, для компенсации скин-слоя, так как применение спецодежды может быть в условиях бытовой электросети с частотой тока 50 Гц. Данное условие необходимо в случае торкретирования с применением электростатики, так как данная технология отличается наличием влажности среды и необходимостью гарантированной защиты от проникновения электростатического напряжения внутрь защитной одежды [3], [4].

Таким образом, существует необходимость разработки специальных тканей для эффективной защиты при торкретировании с применением электро- или трибостатики. Очевидно, что научность этой темы высока, но еще слабо разработана и требует дополнительных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абраменко А.А., Мищенко В.Я., Семенов А.Л., Горбанева Е.П.* Моделирование параметров технологического процесса сухого торкретирования поверхностей строительных конструкций // Известия вузов. Строительство. – 2020, №7. С. 36...46.
2. *Анисович А.Г., Акула П.П., Ласковнев А.П., Маркевич М.И., Чекан Н.М.* Морфология поверхности, магниторезонансные и антистатические свойства ткани с углеродным покрытием, модифицированным кластерами металлов // Литье и металлургия. – 2020, №3. С. 79...83.
3. *Власов В.Б., Умывакин В.М., Добросоцких М.Г.* Методические вопросы измерения экологической опасности продукции текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №5.
4. *Гатиятуллина Р.Ф., Бадрутдинова А.Н.* Влияние относительной влажности воздуха на антиста-

тические свойства текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014, 17 (18). С. 69...70.

5. *Кайтуков Б.А., Степанов М.А.* Выбор технологического оборудования для торкретирования // Механизация строительства. – 2017, №11. С.30...34.

6. *Калашиников В.И.* Перспективы использования реакционно-порошковых сухих бетонных смесей в строительстве // Строительные материалы. – 2009, №7. С.59...62.

7. *Мещерякова О.К., Мищенко В.Я., Мещерякова М.А., Баринов В.Н.* Ресурсосбережение предприятий текстильной промышленности – путь инновационного развития сферы жилищно-коммунального хозяйства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №1. С.67...72.

8. *Мищенко В.Я., Алексеева Д.В., Фомиченко Т.А.* Применение энергоэффективных экологически чистых теплоизоляционных материалов // В сб. научн. тр. Всерос. научн.-практ. конф.: Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. Юго-Западный государственный университет. – 2019. С. 162...165.

9. *Николаев С. Д., Сильченко Е.В.* Защита человека от электромагнитного излучения при помощи тканей // Вестник технологического университета. – 2015, №(18)15. С. 161...166.

10. Сайт "Лакпром" // URL: <https://lkmпром.ru/clauses/tekhnologiya/nanesenie-poroshkovykh-pokrytiy/> (дата обращения: 22.10.2021).

11. *Салимова А.И.* Современные текстильные материалы с комплексом новых потребительских свойств // Вестник технологического университета. – 2015, (18)9. С. 199...201.

12. Энциклопедия АСУ ТП // URL: <https://bhttps://www.bookasutp.ru/Default.aspx/>. (дата обращения: 22.10.2021).

13. *Gretton H., Hartnagel H. and Hutson V.* Faraday cages with transverse magnetic field for microwave tubes // IEEE Transactions on Electron Devices. – Vol. 21, № 1. P. 126...128, Jan. 1974, doi: 10.1109/T-ED.1974.17875.

14. *Pääkkönen R., Farrugia L., Tarao H., Gobba F. and L. Korpinen L.* Possibilities to decrease the extremely low-frequency electric field exposure with a Faraday cage under a 400 kV power line // Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS). – 2016. P.2109...2112, doi: 10.1109/PIERS.2016.7734884.

15. *Tan D. et al.* Carbon Nanotube Based Faraday's Cage for RF Circuit Packaging // IEEE Transactions on Nanotechnology. – Vol. 17, №6, P. 1295...1298, Nov. 2018, doi: 10.1109/TNANO.2018.2874653.

1. *Abramenko A.A., Mishchenko V.Ya., Semenov A.L., Gorbaneva E.P.* Modeling of the parameters of the technological process of dry gunning of surfaces of building structures // Izvestiya vuzov. Construction. – 2020, № 7. P. 36...46.

2. *Anisovich A.G., Akula P.P., Laskovnev A.P., Markevich M.I., Chekan N.M.* Surface morphology, magnetic resonance and antistatic properties of a fabric with a carbon coating modified with metal clusters // Casting and Metallurgy. – 2020, № 3. P. 79...83.

3. *V. B. Vlasov, V. M. Umyvakin, and M. G. Dobrosotskikh,* Acoust. Methodological issues of measuring the environmental hazard of textile industry products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 5.

4. *Gatiyatullina R.F., Badrutdinova A.N.* Influence of relative air humidity on the antistatic properties of textile materials // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2014, 17 (18). P. 69...70.

5. *Kaitukov B.A., Stepanov M.A.* Choice of technological equipment for gunning // Mechanization of construction. – 2017, № 11. P.30...34.

6. *Kalashnikov V.I.* Prospects for the use of reaction-powder dry concrete mixes in construction // Stroitelnye materialy. – 2009, № 7. P.59...62.

7. *Meshcheryakova O.K., Mishchenko V.Ya., Meshcheryakova M.A., Barinov V.N.* Resource saving of textile industry enterprises - the path of innovative development of the housing and communal services // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. P.67...72.

8. *Mishchenko V.Ya., Alekseeva D.V., Fomichenko T.A.* Application of energy-efficient environmentally friendly heat-insulating materials. scientifictr. Vseros. scientific-practical Conf.: Innovative methods for designing building structures of buildings and structures. Southwestern State University. – 2019. P.162...165.

9. *Nikolaev S. D., Silchenko E.V.* Protecting a person from electromagnetic radiation with the help of tissues // Bulletin of the Technological University. – 2015, № (18) 15. P. 161...166.

10. Lakprom website // URL: <https://lkmпром.ru/clauses/tekhnologiya/nanesenie-poroshkovykh-pokrytiy/> (date of access: 10/22/2021).

11. *Salimova A.I.* Modern textile materials with a complex of new consumer properties // Bulletin of the Technological University. – 2015, (18)9. P. 199...201.

12. Encyclopedia of APCS // URL: <https://bhttps://www.bookasutp.ru/Default.aspx/>. (date of access: 22.10.2021).

13. Gretton H., Hartnagel H. and Hutson V. Faraday cages with transverse magnetic field for micro-wave tubes // IEEE Transactions on Electron Devices. – Vol. 21, № 1. P. 126...128, Jan. 1974, doi: 10.1109/T-ED.1974.17875.

14. Pääkkönen R., Farrugia L., Tarao H., Gobba F. and L. Korpinen L. Possibilities to decrease the extremely low-frequency electric field exposure with a Faraday cage under a 400 kV power line // Progress in

Electromagnetic Research Symposium (PIERS). – 2016. P.2109...2112, doi: 10.1109/PIERS.2016.7734884.

15 Tan D. et al. Carbon Nanotube Based Faraday's Cage for RF Circuit Packaging // IEEE Transactions on Nanotechnology. – Vol. 17, № 6, P. 1295...1298, Nov. 2018, doi: 10.1109/TNAN.2018.2874653.

Рекомендована кафедрой технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью. Поступила 17.11.21.

---

УДК 677.057

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_242

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ТРЕНИЯ  
В ДВУХВАЛКОВОМ МОДУЛЕ**

**MATHEMATICAL MODELING OF FRICTION STRESSES  
IN A TWO ROLL MODULE**

*Ш.Р. ХУРРАМОВ, Г.А. БАХАДИРОВ, А. АБДУКАРИМОВ*  
*SH.R. KHURRAMOV, G.A. BAKHADIROV, A. ABDUKARIMOV*

(Ташкентский архитектурно-строительный институт, Республика Узбекистан,  
Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН Республики Узбекистан)

(Tashkent Institute of Architecture and Civil Engineering, Republic of Uzbekistan,  
Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev  
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan)

E-mail: shavkat-xurramov59@mail.ru

*В статье приведены результаты теоретического исследования напряженного состояния в двухвалковом модуле. Разработаны математические модели напряжений трения в двухвалковом модуле, связывающие касательные и нормальные напряжения, распределенные по кривым контакта валков.*

*The article presents the results of a theoretical study of the stress state in a two-roll module. Mathematical models of friction stresses in a two-roll module are developed that relate tangential and normal stresses distributed along the roll contact curves.*

**Ключевые слова:** двухвалковые модули, напряжения трения, математические модели, кривые контакта, касательные и нормальные напряжения.

**Keywords:** two-roll modules, friction stresses, mathematical models, contact curves, shear and normal stresses.

Центральной задачей теории контактного взаимодействия двухвалковых модулей является аналитическое описание закономерностей распределения нормальных и касательных контактных напряжений.

В определении закономерностей распределения контактных напряжений основными факторами являются модели напряжений трения, связывающие касательные и нормальные напряжения, распределенные

по кривым контакта валков [1]. Существует достаточно много математических моделей напряжений трения, полученных теоретическими, экспериментальными или экспериментально-теоретическими методами [2...4]. Из существующих моделей напряжений трения наибольшее распространение получила модель Амонтона [2], [3]. Однако модель Амонтона не имеет достаточного физического обоснования, экспериментально не подтверждена и, естественно, законом не является. Ее можно рассматривать как допущение, используемое только для зон скольжения [1]. А также корректная модель напряжений трения для зоны прилипания в двухвалковых модулях пока не создана. Поэтому модели напряжений трения, используемые в настоящее время в теории контактного взаимодействия двухвалковых модулей, считаются приближенными [1]. По этой причине полученные с использованием их теоретические кривые распределения контактных напряжений рассматриваются как приближенные. Следовательно, они не соответствуют экспериментальным эпюрам и не обеспечивают высокую точность прогнозирования параметров контактного взаимодействия в двухвалковых модулях.

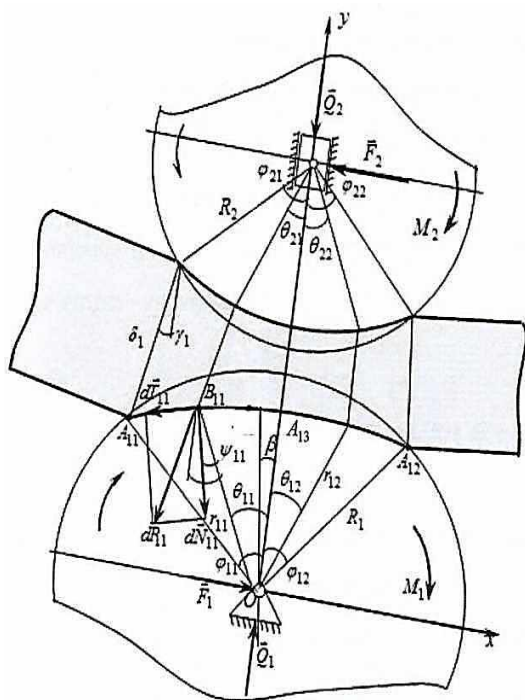


Рис. 1

Целью работы является моделирование напряжений трения в асимметричном двухвалковом модуле. В этом двухвалковом модуле валки расположены относительно вертикали наклоном справа, имеют неравные диаметры и эластичные покрытия из материалов с различными жесткостями, слой материала имеет равномерную толщину и подан наклоном вниз относительно линии центров (рис. 1 – схема сил в двухвалковом модуле).

Анализируем сначала напряженное состояние в контактном взаимодействии слоя материала и нижнего валка, происходящее по кривой контакта  $A_{11}A_{12}$ .

Кривая контакта валка состоит из двух участков  $A_{11}A_{13}$  и  $A_{13}A_{12}$  (рис. 1). На участке  $A_{11}A_{13}$  происходит сжатие слоя материала и покрытия валка, а на участке  $A_{13}A_{12}$  – восстановление. Какая-либо точка  $B_{11}$  участка сжатия  $A_{11}A_{13}$  определяется полярными координатами  $r_{11}$  и  $\theta_{12}$ , а точка  $B_{12}$  участка восстановления  $A_{11}A_{12}$  –  $r_{12}$  и  $\theta_{11}$ .

Согласно рис. 1:

$$-\varphi_{11} \leq \theta_{11} \leq 0, \quad 0 \leq \theta_{12} \leq \varphi_{12}, \quad (1)$$

$\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{12}$  – контактные углы захвата и выхода.

В установившемся процессе взаимодействия на валок действуют: сила давления прижимных устройств  $\vec{Q}_1$ , горизонтальная реакция опор валка  $\vec{F}_1$ , момент сил сопротивления  $M_1$ , элементарные силы нормального давления и трения, действующие по всей кривой контакта валка (рис. 1) [5].

Элементарные силы в зонах сжатия ( $N_{11}$ ,  $T_{11}$ ) и восстановления ( $N_{12}$ ,  $T_{12}$ ) представим отдельно. Тогда, рассматривая валок в равновесии под действием приложенных сил, получаем:

$$\begin{cases} \sum X = N_{1x} + T_{1x} + F_{1x} + Q_{1x} = 0, \\ \sum Y = N_{1y} + T_{1y} + F_{1y} + Q_{1y} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $N_{1x}$ ,  $N_{1y}$ ,  $T_{1x}$ ,  $T_{1y}$  – проекции главных нормальных и касательных сил на осях  $x$  и  $y$ , равные сумме проекций главных нормальных и касательных сил в зонах сжатия

(j = 1) и восстановления (j = 2):

$$N_{1x} = \sum_{j=1}^2 N_{1jx}, N_{1y} = \sum_{j=1}^2 N_{1jy}, \quad (3)$$

$$T_{1x} = \sum_{j=1}^2 T_{1jx}, T_{1y} = \sum_{j=1}^2 T_{1jy}.$$

Считаем

$$F_{1x} = \sum_{j=1}^2 F_{1jx}, F_{1y} = \sum_{j=1}^2 F_{1jy}, \quad (4)$$

$$Q_{1x} = \sum_{j=1}^2 Q_{1jx}, Q_{1y} = \sum_{j=1}^2 Q_{1jy}.$$

$$\begin{aligned} dN_{11x} &= dN_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11}), dN_{11y} = -dN_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11}), dT_{11x} = -dT_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11}), \\ dT_{11y} &= -dT_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11}), dF_{11x} = dF_{11}, dF_{11y} = 0, dQ_{11x} = 0, dQ_{11y} = dQ_{11}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\psi_{11}$  – угол между силой  $dN_{11}$  и радиусом  $r_{11}$ .

С учетом этих выражений из системы (6) для зоны сжатия имеем:

$$\begin{cases} dT_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11}) - dN_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11}) = dF_{11}, \\ dT_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11}) + dN_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11}) = dQ_{11}. \end{cases} \quad (8)$$

или

$$\frac{dF_{11}}{dQ_{11}} = \frac{dT_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11}) - dN_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11})}{dT_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11}) + dN_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11})}. \quad (9)$$

Так как рассматриваем установившийся процесс, то можно считать

$$\frac{F_1}{Q_1} = C_1, \quad (10)$$

где  $C_1$  – постоянная величина.

Отсюда имеем:

$$d\left(\frac{F_1}{Q_1}\right) = \frac{Q_1 dF_1 - F_1 dQ_1}{Q_1^2} = 0$$

или

$$\frac{dF_1}{dQ_1} = C_1.$$

С учетом выражений (3) и (4) система уравнений (2) имеет вид:

$$\begin{cases} N_{1jx} + T_{1jx} + F_{1jx} + Q_{1jx} = 0, \\ N_{1jy} + T_{1jy} + F_{1jy} + Q_{1jy} = 0, \end{cases} \quad (5)$$

или

$$\begin{cases} dN_{1jx} + dT_{1jx} + dF_{1jx} + dQ_{1jx} = 0, \\ dN_{1jy} + dT_{1jy} + dF_{1jy} + dQ_{1jy} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Из схемы сил зоны сжатия (рис. 1) находим:

Считая

$$\frac{dF_{11}}{dQ_{11}} = C_{11}, \quad (11)$$

из равенства (9) получим

$$\frac{dT_{11}}{dN_{11}} = \frac{\sin(\theta_{11} - \psi_{11}) + C_{11} \cos(\theta_{11} - \psi_{11})}{\cos(\theta_{11} - \psi_{11}) - C_{11} \sin(\theta_{11} - \psi_{11})}. \quad (12)$$

Элементарные силы связаны с контактными напряжениями соотношениями [5]:

$$dN_{11} = n_{11} \sqrt{r_{11}^2 + r'_{11}{}^2} d\theta_{11}, \quad (13)$$

$$dT_{11} = t_{11} \sqrt{r_{11}^2 + r'_{11}{}^2} d\theta_{11},$$

где  $n_{11} = n_{11}(\theta_{11})$ ,  $t_{11} = t_{11}(\theta_{11})$  – соответственно, нормальные и касательные силы (напряжения), распределенные по зоны сжатия кривой контакта валков.

Подставляем выражения (13) в равенство (12), затем преобразуем согласно выражениям

$$\cos \psi_{11} = \frac{r_{11}}{\sqrt{r_{11}^2 + r'_{11}{}^2}}, \quad \sin \psi_{11} = \frac{r'_{11}}{\sqrt{r_{11}^2 + r'_{11}{}^2}}$$

и получаем зависимости, связывающие касательные и нормальные напряжения в точ-

$$t_{11} = \frac{(\sin \theta_{11} + C_{11} \cos \theta_{11})r_{11} - (\cos \theta_{11} - C_{11} \sin \theta_{11})r'_{11}}{(\cos \theta_{11} - C_{11} \sin \theta_{11})r_{11} + (\cos \theta_{11} + C_{11} \cos \theta_{11})r'_{11}} n_{11}, \quad -\varphi_{11} \leq \theta_{11} \leq 0, \quad (14)$$

Формулу, связывающую касательные и нормальные напряжения в точках зоны вос-

ках зоны сжатия нижнего валка:

становления нижнего валка, получим аналогично.

Она имеет вид:

$$t_{12} = \frac{(\sin \theta_{12} + C_{12} \cos \theta_{12})r_{12} - (\cos \theta_{12} - C_{12} \sin \theta_{12})r'_{12}}{(\cos \theta_{12} - C_{12} \sin \theta_{12})r_{12} + (\cos \theta_{12} + C_{12} \cos \theta_{12})r'_{12}} n_{12}, \quad 0 \leq \theta_{12} \leq \varphi_{12}, \quad (15)$$

Заметим, что в точке кривой контакта, лежащей на линии центров, выполняются граничные условия  $t_{11}(0) = t_{12}(0)$ ,  $n_{11}(0) = n_{12}(0)$ ,  $r_{11}(0) = r_{12}(0) = R_{10}$ ,  $r'_{11}(0) = r'_{12}(0) = 0$ .

Эти условия приводят к равенству  $C_{11} = C_{12}$ . Тогда из выражения (10) и (11)

имеем:

$$C_1 = C_{11} = C_{12} = F_1/Q_1. \quad (16)$$

Следовательно, из уравнений (14) и (15) получим модель напряжений трения для нижнего приводного валка:

$$\begin{cases} t_{11} = \frac{(Q_1 \sin \theta_{11} + F_1 \cos \theta_{11})r_{11} - (Q_1 \cos \theta_{11} - F_1 \sin \theta_{11})r'_{11}}{(Q_1 \cos \theta_{11} - F_1 \sin \theta_{11})r_{11} + (Q_1 \cos \theta_{11} + F_1 \cos \theta_{11})r'_{11}} n_{11}, & -\varphi_{11} \leq \theta_{11} \leq 0, \\ t_{12} = \frac{(Q_1 \sin \theta_{12} + F_1 \cos \theta_{12})r_{12} - (Q_1 \cos \theta_{12} - F_1 \sin \theta_{12})r'_{12}}{(Q_1 \cos \theta_{12} - F_1 \sin \theta_{12})r_{12} + (Q_1 \cos \theta_{12} + F_1 \cos \theta_{12})r'_{12}} n_{12}, & 0 \leq \theta_{12} \leq \varphi_{12}. \end{cases} \quad (17)$$

В рассматриваемом двухвалковом модуле верхний вал – свободный. В этом случае действующие на верхний валок силы  $\vec{F}_2$  и  $\vec{T}_2$  меняют направление [5]. Поэтому в

формулах системы (17) величины  $t_{2j}$  ( $j = 1, 2$ ) и  $F_2$  имеют обратные знаки. В связи с этим модель напряжений трения для верхнего валка имеет вид:

$$\begin{cases} t_{21} = \frac{(Q_2 \sin \theta_{21} + F_2 \cos \theta_{21})r_{21} - (Q_2 \cos \theta_{21} - F_2 \sin \theta_{21})r'_{21}}{(Q_2 \cos \theta_{21} - F_2 \sin \theta_{21})r_{21} + (Q_2 \cos \theta_{21} + F_2 \cos \theta_{21})r'_{21}} n_{21}, & -\varphi_{21} \leq \theta_{21} \leq 0, \\ t_{22} = \frac{(Q_2 \sin \theta_{22} + F_2 \cos \theta_{22})r_{22} - (Q_2 \cos \theta_{22} - F_2 \sin \theta_{22})r'_{22}}{(Q_2 \cos \theta_{22} - F_2 \sin \theta_{22})r_{22} + (Q_2 \cos \theta_{22} + F_2 \cos \theta_{22})r'_{22}} n_{22}, & 0 \leq \theta_{22} \leq \varphi_{22}. \end{cases} \quad (18)$$

Системы уравнений (17) и (18) определяют модели напряжений трения в рассматриваемом двухвалковом модуле. Они устанавливают связь между силами, действующими на валки двухвалкового модуля с напряжениями, распределенными под воздействием этих сил. Анализ этих моделей показал, что они описывают модели напряжений всех частных случаев рассматриваемого двухвалкового модуля.

Преобразуем формулу (14) с учетом выражения  $\operatorname{tg} \psi_{11} = \frac{r'_{11}}{r_{11}}$  и  $C_{11} = C_1$ :

$$t_{11} = \frac{(\operatorname{tg} \theta_{11} + C_1) - (1 - C_1 \operatorname{tg} \theta_{11}) \operatorname{tg} \psi_{11}}{(1 - C_1 \operatorname{tg} \theta_{11}) + (\operatorname{tg} \theta_{11} + C_1) \operatorname{tg} \psi_{11}} n_{11}.$$

Полагая теперь  $C_1 = \text{tg}\xi_{11}$ , перейдем к выражению

$$t_{11} = \text{tg}(\theta_{11} - \psi_{11} + \xi_1)n_{11}. \quad (19)$$

Аналогично преобразуем модели напряжений трения  $t_{12}$ ,  $t_{21}$ ,  $t_{22}$ .

Обобщая их, имеем:

$$t_{ij} = \pm \text{tg}(\theta_{ij} - \psi_{ij} \pm \xi_i)n_{ij}, \quad (20)$$

где  $\psi_{ij} = \arctg \frac{r'_{ij}}{r_{ij}}$ ,  $\xi_{ij} = \arctg \frac{F_i}{Q_i}$ , здесь зна-

ки плюс относятся к приводному нижнему валку ( $i=1$ ), знаки минус относятся к свободному верхнему валку ( $i=2$ ).

Формулы (20) определяют модели напряжений трения валков в рассматриваемом двухвалковом модуле в упрощенном виде.

Разработанные математические модели напряжений трения валков устанавливают связь между нормальными и касательными напряжениями, распределенными по кривой контакта соответствующего валка, как в зонах скольжения, так и в зоне прилипания.

Из формулы (20) следует, что

$$f(\theta_{ij}) = \pm \text{tg}(\theta_{ij} - \psi_{ij} \pm \xi_i), \quad (21)$$

где  $f(\theta_{ij}) = \frac{t(\theta_{ij})}{n(\theta_{ij})}$ .

Если соотношение касательных и нормальных напряжений считаем как коэффициент трения, то  $f(\theta_{ij})$  определяемые формулами (21), означают, что коэффициенты трения двухвалковых модулей величины

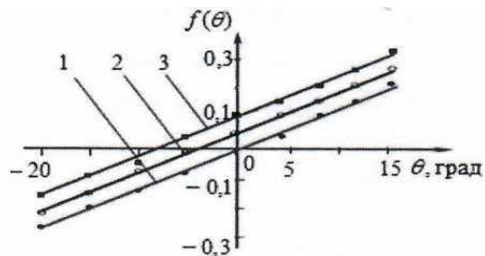


Рис. 3

Для наглядного представления о характере влияния податливости контактирующих тел и внешних сил на рис. 3 (измене-

переменные.

В формулах (21) углы  $\psi_{ij}$  определяют податливости покрытий валков и слоя материала. Они изменяются в пределах  $[0; \theta_{ij}]$ , то есть

$$0 \leq \psi_{ij} \leq \theta_{ij}. \quad (22)$$

Двум предельным положениям угла  $\psi_{ij}$  соответствуют два предельных расположения кривых контакта валков. Когда  $\psi_{ij} = 0$ , тогда покрытие валка не деформируется (рис. 2 – схема расположения угла  $\psi$ ). Поэтому кривые контакта будут частями окружностей с радиусами  $R_i$  и определяются уравнениями  $r_{ij} = R_i$ . Когда  $\psi_{ij} = \theta_{ij}$ , тогда слой материала не деформируется (рис. 2). В этом случае кривые контакта будут частями прямой, являющейся продолжением поверхностей слоя и определяются урав-

$$r_{ij} = \frac{R_i \cos \varphi_{ij}}{\cos \theta_{ij}}.$$

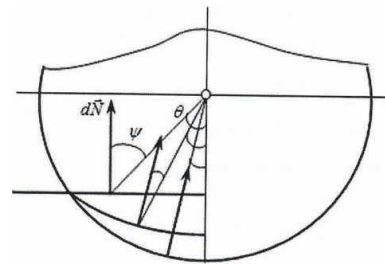


Рис. 2

Таким образом, можно считать  $\psi_{ij} = k_{ij}\theta_{ij}$ , где  $0 \leq k_{ij} \leq 1$ . Тогда из (21) имеем:

$$f(\theta_{ij}) = \pm \text{tg}((1-k_{ij})\theta_{ij} \pm \xi_i). \quad (23)$$

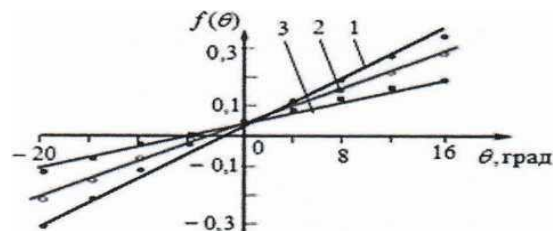


Рис. 4

ние коэффициента трения при различных  $\frac{F}{Q}$ , когда  $k = 0,25$ :  $1 - \frac{F}{Q} = 0$ ;  $2 - \frac{F}{Q} = 0,05$ ;



3 –  $\frac{F}{Q}=0,1$ ) и рис. 4 (изменение коэффициента трения при различных  $k$ , когда  $\frac{F}{Q} = 0,05$ : 1 –  $k=0$ ; 2 –  $k=0,25$ ; 3 –  $k=0,5$ ) представлены изменения коэффициента трения при изменяющихся параметрах  $k$  и  $\frac{F}{Q}$ . В нейтральных точках  $f(\varphi_{i3}) = 0$  или  $(1-k_y)\varphi_{i3} \pm \xi_i = 0$ , где  $\varphi_{i3}$  – нейтральный угол  $i$ -валка. Отсюда имеем:

$$\varphi_{i3} = \pm \frac{\xi_i}{1-k_{ij}}. \quad (24)$$

Эти формулы определяют величины нейтральных углов в рассматриваемом двухвалковом модуле.

По формулам (24) выполнены расчеты нейтральных углов. Результаты расчетов показали, что с увеличением угла  $\xi_i$  угол  $\varphi_{i3}$  линейно увеличивается. Согласно выражению  $\xi_{ij} = \arctg \frac{F_i}{Q_i}$  увеличение  $\xi_i$  означает увеличение силы  $F_i$ . В связи с этим можно сказать, что чем больше силы  $F_i$ , тем левее от линии центров нейтральная точка.

## ВЫВОДЫ

1. Получены модели напряжений трения асимметричного двухвалкового модуля. Эти модели показывают, что между касательными и нормальными напряжениями, распределенными по кривым контакта валков, имеется нелинейная связь, на которую влияют форма кривых контакта валков, геометрические и силовые параметры двухвалкового модуля.

2. Выявлено, что коэффициенты трения в двухвалковом модуле изменяются в зависимости от коэффициента  $k$ , определяющего податливости контактирующихся тел,

и коэффициента  $\frac{F}{Q}$ , определяющего внешние силы, действующие на валки, линейно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Я.Д. Уточнение модели напряжений трения при прокатке// Известия вузов. Черная металлургия. – 2001, №5. С. 1...23.
2. Фомин Ю.Г. Разработка теоретических основ и средств повышения эффективности обработки тканей валковыми модулями отделочных машин: Дис. ...докт. техн. наук. – Иваново: ИГТА, 2001.
3. Alexa V, Ratiu S and Kiss.I. Metall Rolling-Asymmetrical rolling process// IOP Conference Series: Materials Shience and Engineering. – 106(2016)012019.
4. Кожевникова И.А. К вопросу о контактном трении при прокатке// Вестник Череповецкого государственного университета, технические науки. – 2011, №4 (3). С. 18...21.
5. Демидов А.В. Разработка и исследование валкового устройства для повышения эффективности отжима шерсти после промывки: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново: ИГТА, 2005.

## REFERENCES

1. Vasiliev Ya.D. Refinement of the friction stress model during rolling // Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy. - 2001, № 5. P. 1...23.
2. Fomin Yu.G. Development of theoretical foundations and means to improve the efficiency of fabric processing with roller modules of finishing machines: Dis. ... doc. tech. Sciences. - Ivanovo: IGTA, 2001.
3. Alexa V, Ratiu S and Kiss.I. Metall Rolling-Asymmetrical rolling process// IOP Conference Series: Materials Shience and Engineering. – 106(2016)012019.
4. Kozhevnikova I.A. On the issue of contact friction during rolling// Bulletin of the Cherepovets State University, technical sciences. - 2011, № 4 (3). P.18...21.
5. Demidov A.V. Development and research of a roller device to improve the efficiency of wool extraction after washing: Cand. ... cand. tech. Sciences. - Ivanovo: IGTA, 2005.

Рекомендована семинаром "Теории механизмов и машин" ИМСС им. М.Т. Уразбаева АН Республики Узбекистан. Поступила 09.09.21.