

Альшибли Али Абдулзахра Гатеа

**АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ НАМОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С РАВНОМЕРНО
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ НАМОТКИ**

Специальность:

2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Научный руководитель: **Рокотов Николай Викторович**,
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», профессор кафедры машиноведения

Официальные оппоненты: **Медведев Александр Викторович**,
доктор технических наук, АО «НПО Стеклопластик», старший научный сотрудник лаборатории кремнеземных материалов,
Московская область, г. Солнечногорск

Волков Владимир Васильевич,
кандидат технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», профессор кафедры автоматизации и управления
Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»,
г. Москва

Защита диссертации состоится 24 сентября 2024 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.2.385.04 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, ауд. № 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 190068, Санкт-Петербург, Вознесенский пр., д. 46 и на сайте <http://www.sutd.ru>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.385.04
кандидат технических наук

Антонова Ирина Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время технология намоточного процесса и оборудование, его осуществляющее, претерпевает значительные изменения и совершенствования. Это связано в первую очередь с проникновением технологии намотки в различные отрасли промышленности благодаря ряду положительных качеств, к которым можно отнести сравнительную простоту технологического процесса и оборудования для его реализации, практическое отсутствие отходов производства, высокую производительность, возможность автоматизации и другие. Это обстоятельство приводит к необходимости дополнительного исследования процессов и оборудования для наматывания, с учетом вновь появляющихся дополнительных требований. Следует отметить, что существенное развитие и широкое применение получили электроприводы с возможностью цифрового компьютерного управления и точного позиционирования рабочих органов. Наблюдается тенденция широкого применения такого типа приводов в технологических машинах, в том числе для реализации сложных законов движения рабочих органов исполнительных механизмов машин с целью получения требуемых характеристик изделия.

В первую очередь это относится к равномерности или заданной неравномерности структуры и плотности получаемого намоточного изделия

Исходя из сказанного, разработка методов анализа и совершенствования оборудования для получения намоточных изделий с заданными характеристиками является важной и актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Технологии намотки и соответствующее оборудование позволяют получать намоточные изделия с новыми свойствами для использования в различных областях техники (например, высокоэффективные фильтры, емкости различного назначения, композитные материалы, конструкционные элементы).

Исследованиями в области анализа и синтеза намоточных структур и их влияния на свойства текстильных паковок занимались в разное время такие авторы как Гордеев В.А., Прошков А.Ф., Регельман Е.З., Панин И.Н., Палочкин С.В., Рудовский П.Н, их ученики и последователи.

Методы анализа и синтеза намоточных структур, разработка оборудования для их получения востребованы в таких областях промышленности как фильтрационная техника, композиционные материалы, переработка химических волокон, авиа- и космическая техника и другие.

Цели и задачи работы. Цель диссертации – разработка методики, математических моделей и алгоритмов для совершенствования намоточных механизмов и выбора их оптимальных параметров, обеспечивающих получение намоточных изделий с равномерной плотностью.

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

1) Проанализировать влияние конструкций механизмов раскладки нити на технологический процесс намотки и проанализировать существующие способы борьбы с жгутообразованием и уплотнением на краях паковки.

2) Разработать методику, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для анализа распределения нити вдоль оси вращения паковки.

3) Разработать методику, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для анализа влияния параметров механизма разуплотнения торцев паковки на распределения нити вдоль оси вращения паковки.

4) Выполнить анализ факторов, влияющих на интенсивность жгутообразования и критериев для количественной оценки параметров жгутообразования.

5) Разработать методику, математические модели и алгоритмы для моделирования процесса жгутообразования и анализа влияния конструктивных особенностей и параметров механизма устраняющих жгутообразование.

6) Выполнить экспериментальное исследование влияния параметров процесса наматывания на сокращение длины паковки.

7) Разработать инженерные рекомендации по выбору конструктивных параметров нитераскладочных механизмов для формирования намоточных изделий свободных от уплотнения на торцах и жгутов.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы использовались методы математического анализа, нелинейной механики, динамики машин, математического и компьютерного моделирования.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и соответствует следующим его пунктам:

1. Разработка научных и методологических основ, технических и технологических требований к проектированию и созданию новых машин, агрегатов и технологических процессов;

2. Разработка параметрических рядов машин на основе унификации и оптимизации отдельных узлов и агрегатов и оптимизационного синтеза производственных систем на их базе;

3. Исследование с учетом эксплуатационных условий технологических процессов, динамики машин, агрегатов, узлов и их взаимодействия с окружающей средой.

Научная новизна диссертационной работы заключается, в том, что:

– разработана математическая модель и алгоритм для исследования сокращения длины намоточного изделия и связанного с ним уплотнения на торцах, определена его зависимость от основных параметров наматывания;

– разработана математическая модель и алгоритм для исследования влияния параметров закона изменения размаха нитеводителя на величину и характер уплотнений на торцах паковки;

– разработана математическая модель и алгоритм для компьютерного моделирования процесса жгутообразования в среде компьютерной математики MATLAB;

– обосновано использование среднеквадратического отклонения количества нити от средней величины на поверхности паковки в качестве критерия оценки степени жгутообразования;

– предложены критерий степени жгутообразования и разработана математическая модель и алгоритм для анализа процесса жгутообразования;

– разработана математическая модель и алгоритм для исследования процесса жгутообразования и выбора наиболее эффективного способа борьбы с ним при учете конструктивных параметров намоточного механизма.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что:

– разработаны методы проектирования нитераскладочных механизмов, позволяющих получать намоточные изделия с минимальными уплотнениями на торцах и не подверженных жгутообразованию при постоянной скорости наматывания;

– выполнены всесторонние теоретические исследования механизма раскладки нити и формирования намоточной структуры;

– выполненные исследования доведены до практической реализации в виде инженерных рекомендаций по выбору параметров механизма разуплотнения торцев паковки и механизма для устранения жгутообразования исходя из требований к намоточному изделию.

Теоретическая и практическая значимость подтверждена путем проведения натурального эксперимента на разработанном экспериментальном стенде.

Предложена конструкция нитераскладочного механизма, позволяющего реализовать получение намоточного изделия с равномерно распределенной плотностью намотки.

Материалы диссертации, разработанное алгоритмическое и программное обеспечение используется в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна на кафедре машиноведения при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 15.03.02 и 15.04.02 – «Технологические машины и оборудование», а также, при подготовке аспирантов, обучающихся по направлению 2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы.

Положения, вынесенные на защиту:

1. Математические модели распределения нити вдоль оси вращения паковки с учётом закона движения нитеводителя.

2. Математические модели процесса жгутообразования с учётом параметров работы механизмов устраняющих жгутообразование.

3. Принцип устранения жгутообразования за счёт изменения длины раскладки нити.

Степень достоверности результатов подтверждается натурным экспериментом, обоснованным применением методов математического моделирования, аналитического и численного решения математических моделей, применением классических положений механики машин.

Апробация работы. Основные результаты работы прошли положительную апробацию на Всероссийской научно-технической конференции, Кострома, Костромской государственной университет, 2024.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 3 научных статьи, в том числе 2 статьи в изданиях из «Перечня ВАК». Также по

теме диссертационного исследования получено 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 80 источников и 4 приложения. Основное содержание работы изложено на 120 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведено обоснование актуальности темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, определена научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе выполнен обзор областей применения намоточных технологий, рассмотрены основные дефекты намотки, приведены основные понятия теории наматывания. Установлено, что основными дефектами намоточных изделий, затрудняющих проведение последующих операций являются уплотнения на краях паковки, вызванные сменой направления движения нитеводителя и, в случае случайной намотки, образование жгутов на определенных диаметрах паковки. Выполнен сравнительный анализ основных способов намотки: случайной, прецизионной и ступенчатой. Показаны их достоинства и недостатки. Изучению процессов наматывания нити, дефектов, возникающих при наматывании, посвящены работы следующих авторов: Гордеев В.А., Прошков А.Ф., Ефремов Е.Д., Регельман Е.З., Рокотов Н.В., Панин И.Н., Рудовский П.Н. и их учеников. На основании проведенного анализа патентов и результатов исследовательских работ сформулированы задачи исследования.

Во второй главе рассматривается задача уменьшения уплотнений на краях паковки. В работе показано, что величина уплотнения паковки на торцах связана с сокращением длины паковки. Выполнен анализ влияния параметров наматывания на сокращение длины паковки. Рассмотрены два случая: смена направления движения нитеводителя происходит мгновенно (при этом обеспечивается минимальное сокращение длины паковки при заданном угле наматывания); смена направления движения нитеводителя происходит плавно, по закону постоянного ускорения (этот закон близок к закону, выполненному по дуге окружности).

На рисунке 1 представлена расчетная схема наматывания нити, где: 1 – паковка, 2 – нитеводитель; 3 – нить, C – глазок нитеводителя; D – точка набегания нити на паковку; OXY – система координат, ось OX которой совпадает с осью вращения паковки. При постоянной скорости движения нитеводителя 2 нить на участке CD образует угол α с плоскостью, перпендикулярной к оси вращения паковки, этот угол равен углу подъема винтовой линии. Движение точки D происходит по прямой линии параллельной линии движения нитеводителя 2 , расстояние между которыми равно L .

Уравнение наматывания, то есть уравнение, связывающее между собой движения нитеводителя 2 и точки набегания D нити на паковку вдоль оси OX , представляет собой обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка и для цилиндрической паковки 1 при движении нитеводителя 2 по прямой, параллельной образующей паковки 1 , имеет вид:

$$\dot{x} = \frac{\omega R}{L} (\xi_i(t) - x) \text{ или } \dot{x} + px = p\xi_i(t), \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

где: x – координата точки набегания нити на паковку вдоль оси OX ; ω – угловая скорость паковки; R – радиус паковки; $\xi_i(t)$ – координата глазка нитеводителя вдоль оси OX , $i = 1$ – случай мгновенного реверса, $i = 2$ – реверс с постоянным ускорением; $p = \omega R/L$.

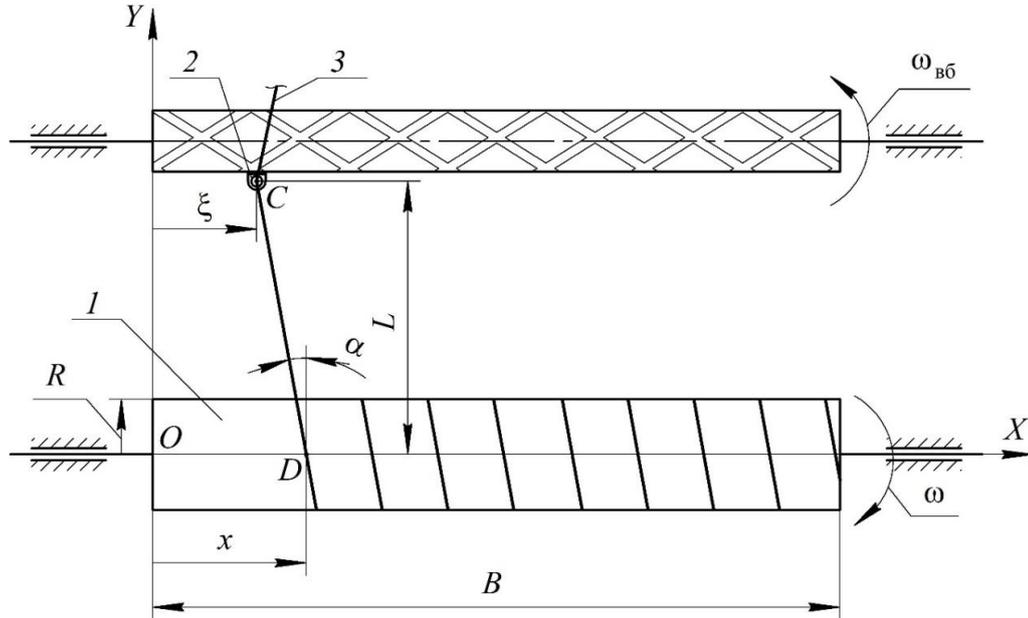


Рисунок 1 - Схема наматывания нити

Зависимости $\xi_i(t)$, $i = 1, 2$ имеют вид:

$$\xi_1(t) = \begin{cases} -v_r(t - 0,5t_r) & \text{при } 0 \leq t < 0,5t_r, \\ v_r(t - 0,5t_r) & \text{при } t \geq 0,5t_r, \end{cases} \quad (2)$$

$$\xi_2(t) = v_r(t_r^{-1}(t - 0,5t_r)^2 + 0,25t_r), \quad (3)$$

где $v_r = \text{const}$ – скорость движения нитеводителя, t_r – время реверса нитеводителя, $t_r = \varphi_r / \omega_{вб}$, φ_r – угол реверса нитеводителя, $\omega_{вб}$ – угловая скорость винтового барабанчика.

Решение (1) с учетом (2) и (3) соответственно, имеет вид:

$$x_1(t) = \begin{cases} v_r(p^{-1} - (t - 0,5t_r)) & \text{при } 0 \leq t < 0,5t_r, \\ v_r((t - 0,5t_r) - p^{-1}(1 - 2\exp(-p(t - 0,5t_r)))) & \text{при } t \geq 0,5t_r. \end{cases}$$

$$x_2(t) = \frac{v_r}{p^2 t_r} (2(1 - \exp(-pt)) + p^2 t^2 - (pt_r + 2)(pt - 0,5pt_r)).$$

Момент времени $t = t_{mi}$, соответствующий крайнему положению точки набегания нити, определяется исходя из условия: $\dot{x}_i(t_{mi}) = 0$. При $i = 1$ одностороннее сокращение длины паковки определяется равенством $S_{m1} = v_r L \ln 2 / \omega R$. В случае $i = 2$, момент времени t_{m2} определяется в результате решения уравнения:

$$1 - \exp(-pt_{m2}) + 0,5pt_r - pt_{m2} = 0. \quad (4)$$

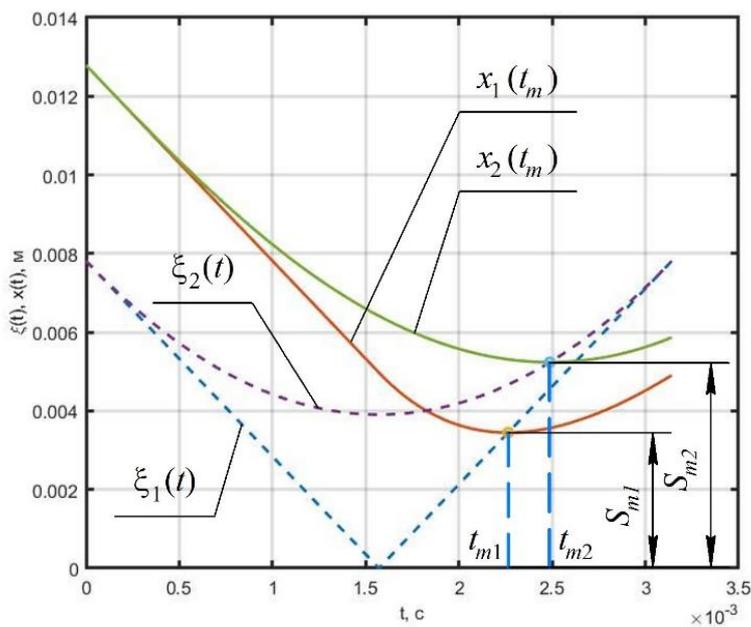


Рисунок 2 – Зависимости $\xi_i(t)$, $x_i(t)$, $i = 1, 2$

Решение (4) осуществляется численным методом. После чего определяется одностороннее сокращение длины паковки как величина $S_{m2} = x_2(t_{m2})$. На рисунке 2 представлены зависимости $\xi_i(t)$, $x_i(t)$, $i = 1, 2$, полученные с помощью разработанной в среде MATLAB программы при: $L = 0,01$ м, $v_{\text{лин}} = 10$ м/с, $\varphi_r = \pi/2$, $\omega_{\text{вб}} = 500$ с⁻¹. Как видно из рисунка 2 величины t_{m1} и S_{m1} в случае мгновенного реверса нитеводителя меньше аналогичных значений, полученных для случая движения нитеводителя на участке реверса с постоянным ускорением. Значение S_{m1} в случае мгновенного реверса прямо пропорционально величинам L и v_r (а, следовательно, и $\omega_{\text{вб}}$) и обратно пропорционально линейной скорости $v_{\text{лин}}$ приема нити на паковку.

С использованием разработанной программы выполнен анализ зависимостей $S_{m2}(\omega_{\text{вб}})$. Установлено, что при малых значениях L зависимость $S_{m2}(\omega_{\text{вб}}) \approx \text{const}$. С увеличением L зависимость $S_{m2}(\omega_{\text{вб}})$ существенно возрастает с ростом угловой скорости $\omega_{\text{вб}}$ винтового барабанчика.

Далее в главе выполнен анализ связи между радиусом дуги, по которой располагается нитевидный материал (НМ), и уплотнением паковки на торце. В первом приближении принято, что на крайних участках паковки НМ расположен по дуге окружности радиуса r . Рассмотрено два варианта сечения НМ: 1) окружность радиуса R ; 2) прямоугольник (лента) шириной δ и толщиной e . Первый вариант описывает НМ типа моноплетель, пряжа и т.п., второй лучше описывает комплексную нить, состоящую из многих филаментов. Выполнено исследование зависимости степени уплотнения витка нити $\mu(x) = m(x)/m_0$, где $m(x)$ – зависимость, характеризующая распределение массы витка нити вдоль сечения Ox паковки. Установлено, что в случае 1, наибольшее уплотнение выражается формулой: $m_{\text{max}}/m_0 = \sqrt{rR^{-1}} \sin \alpha$, а в случае 2 – $m_{\text{max}}/m_0 = \sqrt{2r\delta^{-1}} \sin \alpha$.

При наматывании НМ вследствие контакта паковки и фрикционного цилиндра (прикаточного валика) происходит “прикатывание” краев паковки (рисунок

3). С достаточной для практических целей точностью можно принять, что в результате “прикатывания” одного витка нити в зоне реверса величина m_{\max} уменьшается вдвое и распространяется на всю длину участка h_2 , т.е. $h_2 \approx h_1 \approx h$.

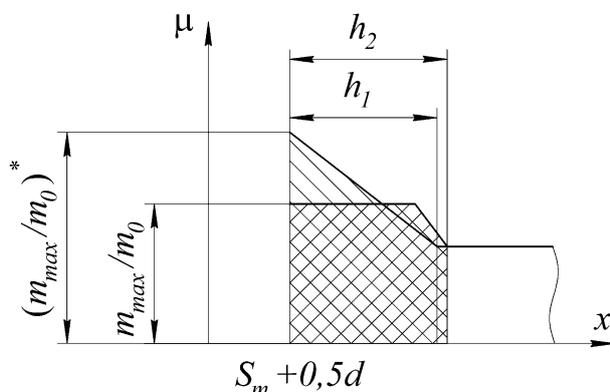


Рисунок 3 - Деформация зон уплотнения

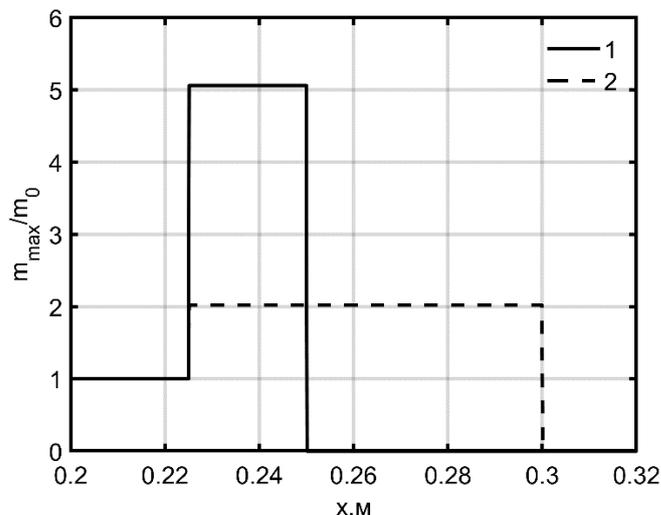


Рисунок 4 – Уплотнение на краю паковки

При сделанных предположениях максимальное уплотнение на участке определяется из выражения: $m_{\max}/m_0 = 0,5 \sin \alpha \sqrt{rR^{-1}}$. Указанное равенство отражает неравномерность распределения массы НМ вдоль оси вращения паковки для одного витка. Множество намотанных витков нити формирует аналогичную неравномерность паковки в осевом направлении.

Уменьшить уплотнения на торцах паковки можно, например, путем создания дополнительного осциллятивного или иного периодического изменения длины раскладки. При этом уплотнение на торце паковки “размывается” вследствие того, что точка реверса непрерывно перемещается. На рисунке 4 представлено уплотнение витка на краю паковки (график 1), рассчитанное при: $\alpha = 5^\circ$, $S_m = 0,025$ м, $\delta = 0,001$ мм, $m_{\max}/m_0 = 5,06$.

С учетом работы механизма разуплотнения распределение массы витка НМ можно описать следующей зависимостью:

$$\frac{m(x, f(t))}{m_0} = \begin{cases} 1, & \text{при } x < x_0 + f(t), \\ m_{\max}/m_0 & \text{при } x_0 \leq x \leq x_0 + f(t) + h_1, \\ 0 & \text{при } x > x_0 + f(t) + h_1, \end{cases}$$

где $x_0 = S_m + 0,5d$ – координата начала уплотненного участка, $f(t)$ – функция, характеризующая перемещение зоны уплотнения с течением времени.

Суммарное уплотнение в любой точке по длине паковки имеет вид:

$$\frac{m_{\max}^*(x)}{m_0} = \int_0^T \frac{m(x, f(t))}{m_0} dt,$$

где T - период изменения функции $f(t)$, $m_{\max}^*(x)$ - итоговое максимальное уплотнение витка после воздействия механизма разуплотнения торца.

С использованием разработанного в среде MATLAB алгоритма и программы выполнено сравнительное исследование эффективности разуплотнения торцев для четырех вариантов функции $f(t)$, показанных на рисунке 5. Рассмотрены следующие законы (см. рисунок 5, а): пилообразный (1), гармонический (2), трапецевидный (3) и кусочно-линейный (рисунок 5, б).

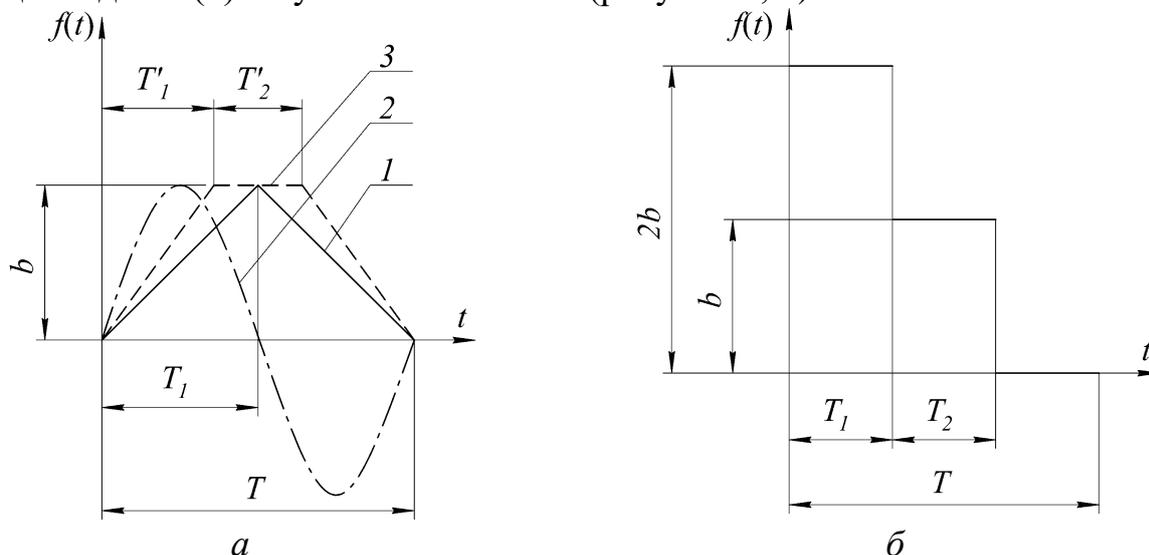


Рисунок 5- Зависимости $f(t)$

В результате моделирования установлено, что наилучшие результаты дает кусочно-линейный закон (рисунок 4, график 2) при: $T = 17,0$ с, $T_1 = 7,0$ с, $T_2 = 5,5$ с.

В третьей главе выполнено теоретическое исследование процесса жгутообразования, предложен критерий для описания степени неравномерности распределения нити. Образование жгутовой намотки, зависит от соотношения между частотой возвратно-поступательного движения нитеводителя и частотой вращения паковки. Это соотношение называется намоточным отношением WR и выражает количество оборотов паковки за один двойной ход нитеводителя. Когда значение этого отношения становится равным целому числу, возникает жгутовая намотка. При этом последующий виток нити попадает в точности, на ранее уложенный. Намоточное отношение может быть определено как отношение $WR = T_{\text{нр}}/T_{\text{пак}}$, где $T_{\text{нр}}$, $T_{\text{пак}}$ – период одного двойного хода нитеводителя и одного полного оборота паковки соответственно. Указанные величины связаны с параметрами наматывания следующими равенствами: $T_{\text{нр}} = 2B/V_g$, $T_{\text{пак}} = 2\pi/\omega_{\text{пак}}$, где B – величина хода нитеводителя; V_g – скорость движения нитеводителя; $\omega_{\text{пак}}$ – угловая скорость вращения паковки. Таким образом, намоточное отношение определяется формулой

$$WR = B\omega_{\text{пак}}/\pi V_g. \quad (5)$$

Правая часть равенства (5) непрерывно изменяется в результате плавного и непрерывного уменьшения $\omega_{\text{пак}}$, вызванного непрерывным увеличением диаметра паковки. При моделировании рассматривается процесс распределения массы нити по поверхности развертки паковки в течение заданного промежутка времени.

Для анализа жгутообразования разобьем поверхность паковки на равные прямоугольные площадки. В каждом прямоугольнике определяется плотность паковки, рассчитываемая как масса нити, заключенная в элементарном объеме, ограниченном размерами площадки и начальным и конечным радиусами RB и RF . При достаточно мелком делении набор чисел, отражающих плотность паковки на всех площадках, характеризует распределение плотности в выделенном слое. Неравномерность этого распределения можно оценить при помощи среднеквадратического отклонения σ плотности от среднего значения.

Как правило, устранение жгутообразования производят за счет периодического изменения $\omega_{\text{пак}}$ и V_g (см. (5)). В работе выполнено исследование влияния на жгутообразование двух вариантов закона изменения скорости V_g :

— гармонический закон:

$$V_g = \omega_{\text{вб}}^0 h (1 + \delta \sin(\omega_{\text{в}} t)) / 2\pi ;$$

— пилообразный закон:

$$V_g = \begin{cases} \omega_{\text{вб}}^0 h (1 + \delta T^{-1} t) / 2\pi & \text{при } u \cdot T < t \leq (u + 1)T, \\ \omega_{\text{вб}}^0 h / 2\pi & \text{при } t = u \cdot T, u = 0, 1, \dots, \infty; \end{cases}$$

где: $\omega_{\text{вб}}^0$ - средняя угловая скорость винтового барабанчика нитераскладчика; h - шаг винтовой канавки барабанчика; δ - амплитуда изменения угловой скорости барабанчика; $\omega_{\text{в}}$ - параметр, характеризующий изменение скорости нитеводителя; T - период изменения скорости.

Исследование эффективности этих методов выполнено с использованием разработанной в среде MATLAB алгоритма и программы. В процессе моделирования анализировалось влияние параметров рассматриваемых законов на величину среднеквадратического отклонения σ . В результате моделирования установлено, что при гармоническом законе изменения скорости при $\delta = 0,01 \cdot V_g$ величина $\sigma = 0,889$, а при $\delta = 0,02 \cdot V_g$, $\sigma = 0,858$. В случае пилообразного закона при $\delta = 0,01 \cdot V_g$ имеем $\sigma = 1,18$, а при $\delta = 0,02 \cdot V_g$ — $\sigma = 0,921$ и при $\delta = 0,03 \cdot V_g$ — $\sigma = 0,823$.

В работе предложен новый способ борьбы с жгутообразованием, основанный на изменении хода нитеводителя за каждый цикл (двойной ход) при сохранении постоянной скорости V_g приема нити на паковку. Для моделирования этого способа борьбы со жгутообразованием была разработана программа в среде MATLAB. В этом случае ход нитеводителя имеет три значения B_1 , B_2 и B_3 . При постоянной скорости нитеводителя период одного двойного хода будет составлять T_1 , T_2 и T_3 . Кроме этого, движение нитеводителя происходит порциями, например один двойной ход с размахом B_1 , затем два двойных хода с размахом B_2 и наконец один двойной ход с размахом B_3 . После чего цикл раскладки повторяется. Количество двойных ходов в цикле с размахом B_1 обозначим N_1 , с размахом B_2 — N_2 и с размахом B_3 — N_3 . Таким образом, цикл раскладки нити может быть записан как $N_1-N_2-N_3$. Результаты моделирования представлены на рисунках 6, 7.

Для моделирования приняты следующие исходные данные: ход нитеводителя $B_1=0,3$ м; $B_2=0,29$ м; $B_3=0,28$ м; $WR=4$. Как видно из представленных графиков, устранение жгутообразования происходит более эффективно, чем при изменении скорости нитеводителя.

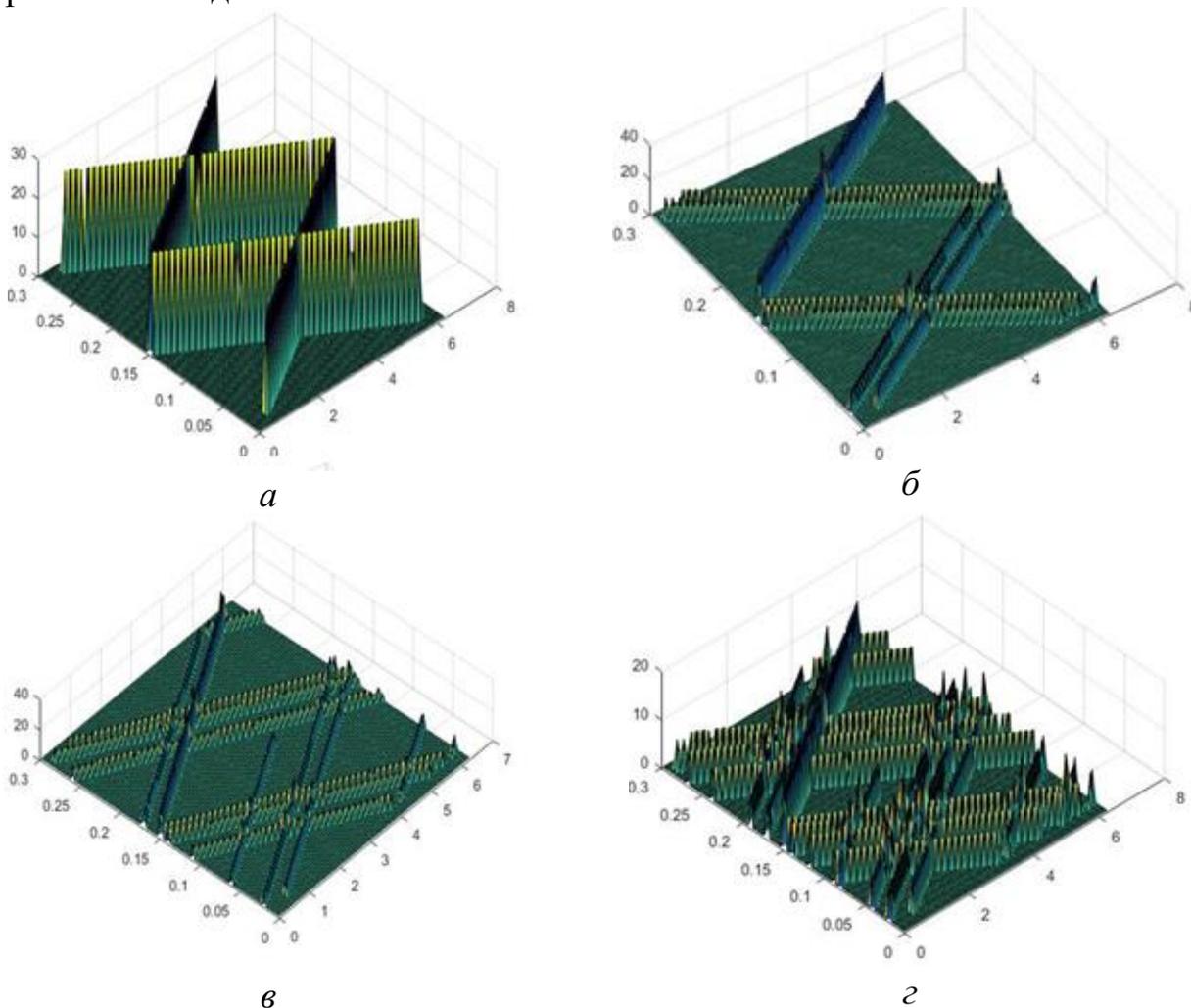


Рисунок 6 – результаты моделирования по программе Ribbon7

- а) $N_1=1, N_2=0, N_3=0, k_c=1, \sigma=4.957$; б) $N_1=1, N_2=1, N_3=0, k_c=1, \sigma=3.81$
 в) $N_1=1, N_2=1, N_3=1, k_c=1, \sigma=2.95$; г) $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=1, \sigma=2.48$

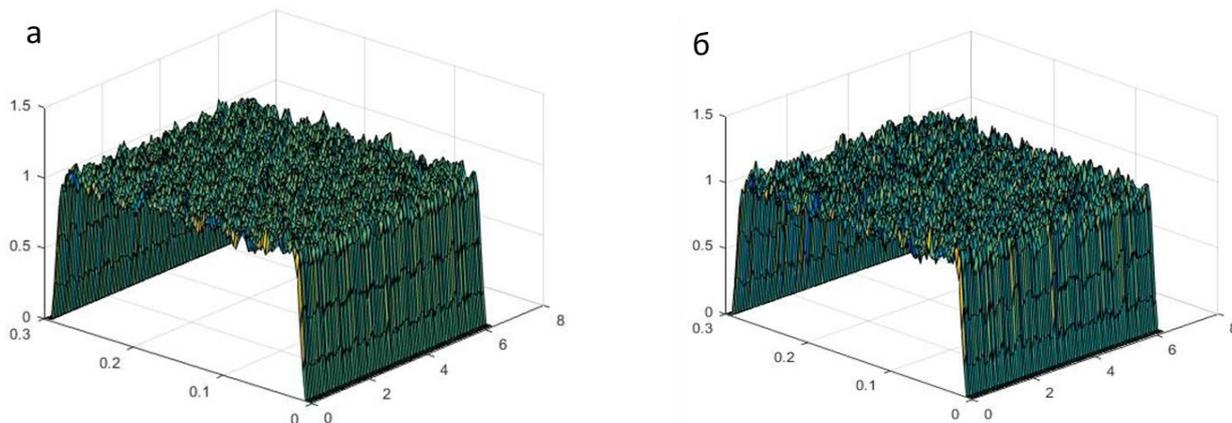


Рисунок 7 – результаты моделирования по программе Ribbon8

- а) $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=50, \sigma=0.142$; б) $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=100, \sigma=0.136$

Четвертая глава работы посвящена экспериментальной проверке положений, лежащих в основе теоретических исследований и реализации предложенного способа получения паковок, имеющих равномерную плотность. Для проведения экспериментальных исследований был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд, кинематическая схема которого представлена на рисунке 8, где: 1 – паковка, 2 – нитераскладчик (винтовой барабанчик), 3 – нитеводитель, 4, 6 – шаговые двигатели Д1 и Д2, соответственно, 5 – управляющий компьютер, 7 – зубчато-ременная передача.

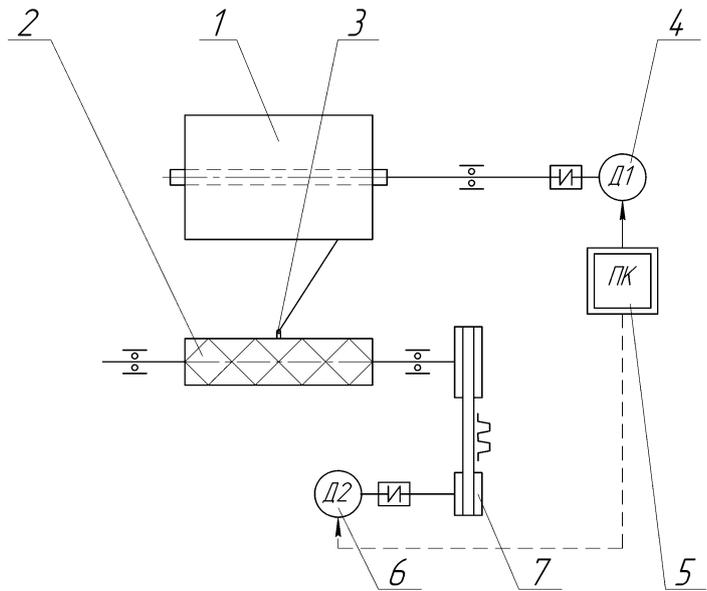


Рисунок 8 – Кинематическая схема экспериментального стенда

В процессе проведения эксперимента варьировалось расстояние L между линией движения нитеводителя и линией набегания нити на паковку в пределах $40 \div 80$ мм. При каждом фиксированном значении L устанавливалась скорость движения нитеводителя путем задания угловой скорости $\omega_{вб}$ и проводилось измерение одностороннего сокращения паковки. Каждое измерение выполнялось пять раз. После отбрасывания выскакивающих значений определялось среднее значение S_{m2} , соответствующая $\omega_{вб}$ и L . На рисунке 9 в качестве примера представлены результаты экспериментальных исследований зависимости $S_{m2}(\omega_{вб})$ для значений $L = 40$ мм (см. рисунок 15, а) и $L = 60$ мм (см. рисунок 15, б) (экспериментальные результаты отмечены точками).

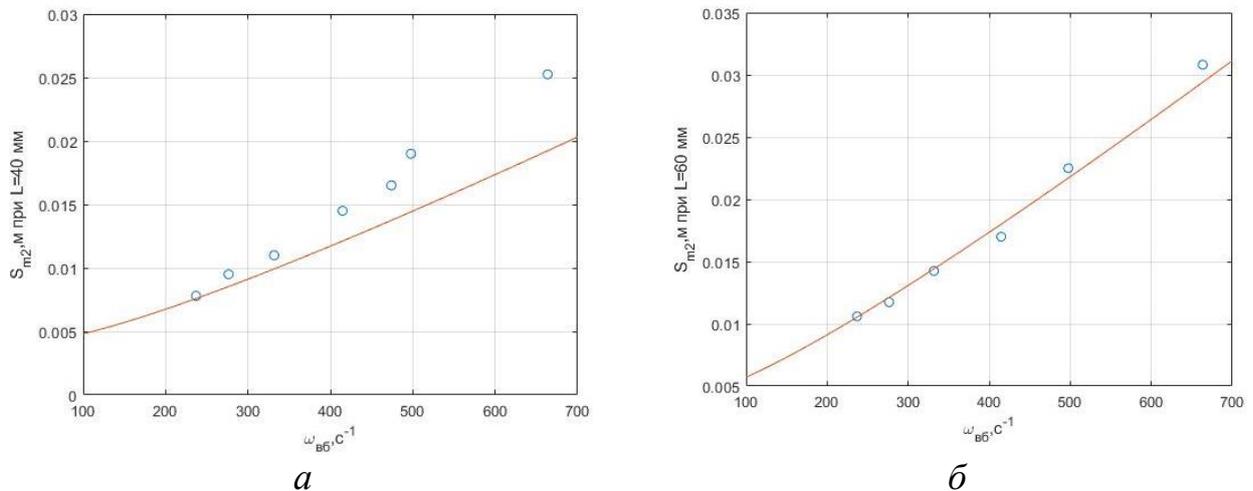


Рисунок 9 – Результаты экспериментальных исследований $S_{m2}(\omega_{вб})$

Как показал анализ полученных результатов, полученные экспериментальные значения $S_{m2}(\omega_{вб})$ достаточно хорошо согласуются с теоретическими. При этом следует отметить, что при малых значениях расстояния L (например, при $L=40$ мм) наблюдается отклонение экспериментальных значений $S_{m2}(\omega_{вб})$ от теоретических. Данное обстоятельство объясняется большими углами наматывания при малых L , что приводит к проскальзыванию нити по поверхности паковки.

Для реализации предложенного в работе метода получения паковок с равномерно распределенной плотностью (с одновременным устранением уплотнений на торцах и жгутообразования при постоянной скорости приема нити на паковку) разработана новая конструкция нитераскладочного механизма, представленная на рисунке 10.

Нитераскладчик установлен на рамке 1, закрепленной на оси 2, которая зафиксирована в подшипниках корпуса намоточного механизма и имеет возможность поворота при возрастании диаметра паковки. Нитераскладчик состоит из приводного шагового двигателя 3 на выходном валу которого закреплен ведущий шкив 4, гибкого органа 5. Гибкий орган 5 огибает два направляющих ролика 6 и приводит в движение прикрепленный к нему нитеводитель 7 содержащий глазок 8, через который проходит наматываемая нить. Нитеводитель 7 соединен с ползуном, расположенном в пазу направляющей планки 9. На рамке нитераскладчика 1 закреплен прикаточный ролик 10, контактирующий с поверхностью паковки (на рисунке не показана). Нитераскладчик работает следующим образом. Двигатель 3 под управлением компьютера совершает вращательные движения на заданный угол в одну и другую сторону. Скорость этих движений, и их амплитуда задаются компьютером по заранее составленной программе. Через гибкий орган 5 это возвратно-поступательное движение передается нитеводителю 7 с закрепленным на нем глазком 8. Таким образом, с помощью такого нитераскладчика можно реализовать кусочно-линейный закон изменения длины раскладки, предложенный и исследованный в главах 2 и 3.

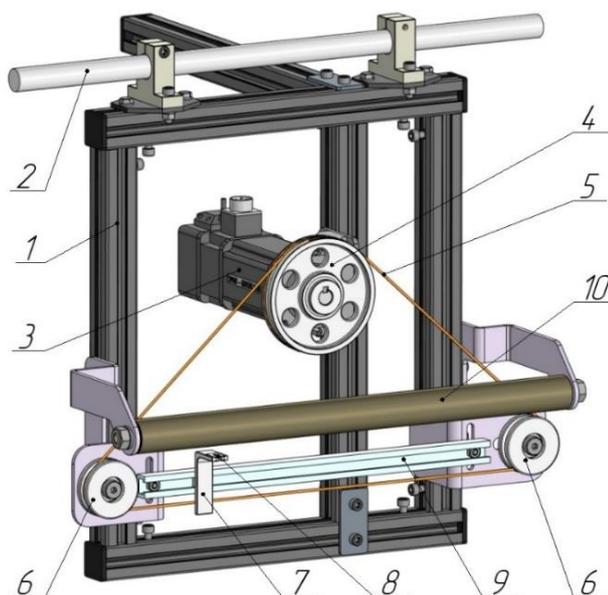


Рисунок 10 – 3D-модель нитераскладочного механизма

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика, математические модели и алгоритмы для анализа и совершенствования намоточных механизмов, обеспечивающих получение намоточных изделий с равномерно распределённой плотностью паковки.

2. Выполнено исследование влияния параметров наматывания и намоточного механизма на сокращение длины паковки. Исследование выполнено для двух

случаев: мгновенного изменения скорости нитеводителя и изменения его скорости по параболическому закону. Показана и определена связь между сокращением длины паковки и величиной максимального уплотнения паковки на краях.

3. Разработана методика, математическое и программное обеспечение для исследования величины максимального уплотнения паковки на краях в процессе намотки с учетом законов движения нитеводителя. Полученная математическая модель может быть использована в дальнейшем для выбора конструктивных параметров приемно-намоточных механизмов, изменяющих длину раскладки с целью снижения уплотнений паковки на краях. В процессе исследования установлено, что наилучшие результаты по снижению максимальных уплотнений среди исследованных законов дает кусочно-линейный закон. Получены оптимальные параметры для этого закона.

4. Разработана методика, математическое и программное обеспечение для моделирования и исследования процесса жгутообразования при случайной намотке. Предложен критерий оценки степени жгутообразования. Рассмотрены и смоделированы основные методы борьбы с возникновением жгутов. Предложен новый способ борьбы с жгутообразованием, основанный на циклическом изменении хода нитеводителя при сохранении его скорости.

5. В результате проведенного компьютерного эксперимента показана эффективность использования циклического изменения хода нитеводителя для устранения жгутообразования. Использование циклического изменения хода нитеводителя позволяет одновременно избавиться от двух основных дефектов паковки: жгутов и уплотнений на торцах.

6. Разработана кинематическая схема, спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд для изучения процесса наматывания нити. Разработана методика экспериментального исследования и проведена серия экспериментов по определению зависимости сокращения длины паковки от параметров наматывания. В результате проведенных экспериментов подтверждены основные допущения, положенные в основу построенных математических моделей.

7. На основании проведенных исследований с учетом полученных результатов разработана конструкция нитераскладочного механизма, который может реализовать предложенные процессы получения паковок с равномерной плотностью. Нитераскладочный механизм интегрирован в конструкцию экспериментального намоточного механизма.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в «Перечень ВАК...»

1. Альшибли, А. А. Г. Компьютерное моделирование работы механизма разуплотнения торцев паковки // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2023. – № 3. – С. 40-44. – DOI 10.46418/2619-0729_2023_3_7.

2. Альшибли А. А. Г., Рокотов Н. В., Гуляев Н. Н., Пономарь А. А. Анализ влияния параметров наматывания на сокращение длины паковки // Вестник

Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2023. – № 2. – С. 45-49. – DOI 10.46418/2619-0729_2023_2_10.

Материалы конференций

3. Экспериментальные исследования влияния параметров наматывания на сокращение длины паковки / А. А. Пономарь, Н. В. Рокотов, А. В. Марковец, А. А. Г. Альшибли // Цифровые технологии в производстве : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Кострома, 21 декабря 2023 года. – Кострома: Костромской государственный университет, 2024. – С. 86-89.

Статьи в научных сборниках и других журналах

4. Альшибли А. А. Г., Пономарь А. А. Обзор машин для производства намоточных изделий // Вестник молодых ученых СПГУТД. – 2022. – № 4. – С. 54-61.

Свидетельства о государственной регистрации программ

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682261 Российская Федерация. Моделирование работы механизма разуплотнения торцев паковки : № 2023681004 : заявл. 11.10.2023 : опубл. 24.10.2023 / Н. В. Рокотов, А. У. Г. Альшибли, А. В. Марковец [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688670 Российская Федерация. Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения длины раскладки («ribbon7») : № 2023686042 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 25.12.2023 / Н. В. Рокотов, А. А. Г. Альшибли, А. В. Марковец [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688671 Российская Федерация. Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения скорости движения нитеводителя : № 2023686043 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 25.12.2023 / Н. В. Рокотов, А. А. Г. Альшибли, А. В. Марковец [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688681 Российская Федерация. Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения длины раскладки («ribbon8») : № 2023686044 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 25.12.2023 / Н. В. Рокотов, А. А. Г. Альшибли, А. В. Марковец [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».