

*На правах рукописи*

Рокотов Николай Викторович



**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ НАМОТОЧНЫХ  
МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАННЫМИ  
СВОЙСТВАМИ И СТРУКТУРАМИ**

Специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы  
(текстильная и легкая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург  
2018

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

Научный консультант: **Марковец Алексей Владимирович**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», заведующий кафедрой машиноведения.

Официальные оппоненты: **Панин Иван Николаевич**, доктор технических наук, профессор, общество с ограниченной ответственностью «Нефтегазовые технологии МИФИ», г. Димитровград, генеральный директор.  
**Рудовский Павел Николаевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет», профессор кафедры теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин.  
**Кулида Николай Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет», и.о. директора института текстильной индустрии и моды, профессор кафедры технической кибернетики и радиоэлектроники.

Ведущая организация: Акционерное общество «НПО Стеклопластик», Московская область.

Защита состоится 18 декабря 2018 года в 11<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д.212.236.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, ауд. № 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», [www.sutd.ru](http://www.sutd.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 года

Ученый секретарь диссертационного совета  Васильева  
Елизавета Константиновна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Технологический процесс получения изделий методом намотки широко используется в различных областях техники и получает все большее распространение благодаря ряду положительных качеств. Технология намотки относительно просто реализуется, не требует, как правило, сложного дорогостоящего оборудования, обладает высокой производительностью и образует минимум отходов. В каждой области техники технология намотки обладает многими положительными качествами и выдвигает ряд требований. Традиционными областями промышленности, в которых наиболее широко применяется технология наматывания, являются: текстильная и легкая промышленность, производство химических волокон, электротехническая промышленность. Следует отметить, что возрастает роль технологии наматывания и в других отраслях промышленности, например, в производстве изделий из композиционных материалов, фильтрационной технике, в авиа-, ракетостроении и др.

Наиболее широкое распространение получили намоточные изделия, имеющие структуру, образованную при наматывании одной нити (пучка нитей), при этом расстояние и угол между соседними нитями остается практически постоянным во всем теле намотки (моноструктурная намотка). Примерами таких изделий являются паковки нити с малым углом намотки, вырабатываемые при прядении. В последнее время, особенно в производстве фильтров, возникает задача получения намоточных изделий с помощью мульти- и полиструктурной намоток. При мультиструктурной намотке паковку образует одна нить, при этом в теле паковки присутствуют зоны с различными структурами. Примером таких изделий могут служить многослойные намоточные фильтрующие элементы. Полиструктурная намотка представляет собой структуру, образованную при одновременном наматывании двух и более нитей, при этом каждая из нитей образует в теле намотки собственную структуру. Для получения этой структуры необходимо использовать, как правило, прецизионные намоточные механизмы с двумя и более нитераскладчиками.

Если для моноструктурной намотки существует достаточно много разновидностей намоточных механизмов, которые во многом до сих пор требуют своего теоретического изучения, то для мульти- и особенно полиструктурной намоток, потребность в которых возникла в последнее время, как правило, отсутствуют как сами намоточные механизмы, так и теоретические основы их проектирования. Исходя из сказанного разработка методов анализа и синтеза структур намоточных изделий и теоретических основ проектирования намоточных механизмов, позволяющих осуществлять моно-, мульти- и полиструктурную намотку является важной и актуальной задачей.

**Цель и задачи работы.** Целью диссертационной работы является разработка методов анализа и синтеза структур намоточных изделий, теоретических основ проектирования намоточных механизмов и их узлов для формирования моно-, мульти- и полиструктурных намоточных изделий с заданными свойствами.

Для достижения данной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработка методического, математического, алгоритмического и программного обеспечения для проектирования намоточных механизмов, позволяющих получать моно-, мульти- и полиструктурные намоточные изделия заданной структуры.

2. Разработка механизмов высокоскоростной раскладки нитей, позволяющих получать намоточные изделия с заданной структурой и свойствами.

3. Математическое моделирование распределения нити в объеме паковки, анализ процессов формирования уплотнений в зоне торцев паковки и жгутообразования, разработка механизмов для разуплотнения торцев и устранения жгутообразования.

4. Анализ натяжения нити в процессе формирования паковок заданной структуры; разработка механизмов, обеспечивающих стабилизацию силы натяжения нити в зоне наматывания.

5. Разработка методов анализа и синтеза структур намоточных изделий, получаемых способами прецизионной и ступенчатой прецизионной намоток и разработка механизмов для их формирования.

6. Разработка теоретических основ получения в процессе прецизионной намотки мульти- и полиструктурных намоточных изделий;

7. Разработка механизмов для формирования намоточных изделий получаемых способами моно-, мульти- и полиструктурной намоток.

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

**Научная новизна.** Новизна диссертационной работы заключается в том, что:

- на основе разработанных динамических и математических моделей процесса наматывания нити разработаны методы проектирования высокоскоростных намоточных механизмов для получения намоточных изделий с моно-, мульти- и полиструктурной намоткой;

- выполнены исследования и разработаны методы проектирования высокоскоростных нитераскладочных механизмов на основе предложенных динамических моделей процесса и механизмов высокоскоростной раскладки нити;

- выполнены исследования и разработаны методы проектирования механизмов разуплотнения торцев паковки на основе разработанных в диссертации математических моделей процесса образования уплотненных участков на краях паковки и механизмов разуплотнения торцев паковки;

- разработана математическая модель, описывающая процесс жгутообразования при застилистой намотке; модель учитывает линейную плотность наматываемой нити, закон изменения соотношения скоростей нитераскладчика и паковки, плотность формируемой паковки; на основании проведенных исследований с использованием этой модели разработаны требования к разрабатываемым механизмам устранения жгутообразования;

- разработана и исследована математическая модель натяжения упругой движущейся нити в намоточных механизмах; проведено исследование процесса снижения колебаний натяжения нити при наматывании за счет введения упругого

компенсатора натяжения; предложены другие пути снижения колебаний натяжения нити при наматывании;

- разработаны теоретические основы анализа структур паковки прецизионной намотки с использованием заранее заданной последовательности шагов витков нити в теле намотки; проведены исследования и даны рекомендации для различных характерных типов намотки;

- разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для построения 3D моделей тел намотки при прецизионном наматывании, разработанные модели использованы при исследованиях основных намоточных структур;

- разработана методика анализа и синтеза структуры прецизионной намотки на основе аппарата цепных дробей; выполнены исследования различных структур тел намотки при прецизионном наматывании.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы.**

Теоретическая значимость, выполненных в диссертационной работе исследований заключается в том, что разработаны теоретические основы проектирования намоточных механизмов, позволяющих получать моно-, мульти- и полиструктурные намоточные изделия. Выполнены теоретические исследования механизмов устранения жгутообразования, разуплотнения торцев паковки, снижения колебаний натяжения нити в зоне наматывания. Обосновано применение аппарата цепных дробей для анализа, синтеза и получения заданной структуры паковки при прецизионной намотке.

Выполненные в диссертационной работе исследования доведены до практической реализации:

1) разработаны конструкции намоточных механизмов, позволяющих получать изделия с заданной структурой и свойствами для решения конкретных технических задач (получение паковок на высокоскоростных намоточных механизмах со скоростями намотки до 100 м/с; сокращение габаритов нитераскладочного механизма; получение двухконусных паковок; формирования спирального ребра композитной арматуры; формирование многослойного намоточного фильтрующего элемента; формирование полиструктурного фильтрующего элемента);

2) разработаны конструкции нитераскладочных механизмов, обеспечивающих разуплотнение торцев паковки;

3) определены требования для проектирования механизмов, позволяющих устранять жгутообразование при застиистой намотке;

4) разработаны конструкции намоточных механизмов, позволяющие уменьшить колебания нити при наматывании;

5) с использованием разработанной методики анализа и синтеза прецизионной намотки спроектированы конструкции механизмов для получения моноструктурной, мультиструктурной и полиструктурной намоток;

6) на основе практических рекомендаций по проектированию новых намоточных механизмов разработаны конструкции и изготовлены физические модели намоточных механизмов, выполнены экспериментальные исследования, подтверждающие получение паковок заданной структуры.

Предложенные в результате выполненных исследований конструкции механизмов, их узлов и получаемых с их помощью намоточные изделия защищены авторскими свидетельствами и патентами на изобретения. В процессе работы над диссертацией автором получено 20 патентов (авторских свидетельств) на намоточные механизмы и их узлы.

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 15.06.01 – «Машиностроение» (образовательная программа «Машины, агрегаты и процессы (текстильная и легкая промышленность)»).

**Апробация работы.** Основные результаты работы прошли положительную апробацию на международных научно-технических конференциях: Всесоюзная научно-техническая конференция (г. Чернигов) 1979 г., 1982 г., 1987 г.; 3 Международный симпозиум по химическим волокнам. (г. Калинин) 1981 г.; Всесоюзная научно-техническая конференция (г. Пенза) 1981 г., 1985 г., 1988 г.; Всесоюзная конференция «Современная техника и технология хлопчатобумажного пр-ва и перспективы развития отрасли». г. Иваново) 1984 г.; Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2013 г., 2014 г., 2015 г.) ИМАШ РАН; Межвузовская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция. – Иваново: ИВГПУ, 2018. Практическая значимость подтверждена актами апробации ООО «Ленкон», ООО «Киришская производственная база».

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 71 работа, в том числе 21 статья в журналах, входящих в «Перечень ...» ВАК РФ, 20 патентов (авторских свидетельств) РФ на изобретения, 18 тезисов докладов, 3 депонированные рукописи, 1 монография.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка использованных источников из 160 наименований. Работа выполнена на 326 страницах, включая 129 рисунков, 12 таблиц.

## ОСНОВНОЕ 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 анализ существующих конструкций намоточных механизмов (НМ) и входящих в них узлов. Можно выделить три их основные разновидности, отличающиеся по способу сообщения паковке вращательного движения: фрикционные, бесфрикционные и с комбинированным приводом.

В случае фрикционных НМ паковка приводится во вращение от фрикционного цилиндра, который в свою очередь соединен с приводным двигателем. Нитераскладчик получает чаще всего движение от собственного двигателя и перемещает наматываемую нить вдоль оси паковки.

В бесфрикционных НМ паковка приводится во вращение от собственного двигателя, нитераскладчик получает движение от двигателя и перемещает нить вдоль оси паковки. В этом случае необходимо управление скоростью приводного электродвигателя от датчика натяжения нити или датчика диаметра паковки, возможно также и программное управление скоростью.

При наматывании нити с высокой скоростью возрастает аэродинамическое сопротивление вращению паковки, особенно при большом диаметре паковки. Это вызывает необходимость передачи значительной мощности через контакт фрикционный цилиндр-паковка. Возникает опасность травмирования наматываемой нити. Такое же явление возникает и при наматывании нити с большим натяжением. Для устранения этого недостатка предложен НМ с комбинированным приводом. В этом механизме в дополнение к механизму фрикционного наматывания введен дополнительный привод паковки от двигателя. Двигатель может иметь мягкую характеристику или соединяться с паковкой через муфту, которая обеспечивает проскальзывание.

Различают НМ формирующие застилистую (дикую) и прецизионную намотки. В первом случае отсутствует связь между вращением паковки и движением нитераскладчика. Как правило в этом случае паковка приводится во вращение фрикционным или комбинированным способом, а нитераскладчик не изменяет частоты своего движения в течение всего периода намотки. При этом формируется паковка с постоянным углом наматывания, а шаг намотки увеличивается по мере роста диаметра намотки.

В механизмах, формирующих прецизионную намотку движение нитеводителя, перемещающего нить в осевом направлении и вращение паковки жестко связаны между собой, например за счет зубчатых или зубчатоременных передач. В последнее время широкое распространение получил отдельный привод для паковки и нитераскладчика от высокоточных двигателей с компьютерным управлением. Точность поддержания скоростей, как будет показано ниже, имеет для намотки решающее значение.

Соотношение частот вращения паковки и возвратно-поступательного движения нитеводителя определяет структуру получаемой паковки. Это соотношение может выдерживаться в течение всего периода намотки, или выдерживаться постоянным в течение ограниченного времени, а затем скачкообразно изменяться. Второй тип намотки называется ступенчатая прецизионная намотка. Для свободного и плавного вращения паковки во время намотки служит бобинодержатель.

Основной проблемой при проектировании высокоскоростных бобинодержателей намоточных механизмов является снижение их виброактивности. С этой целью разработаны конструкции, имеющие в своем составе упругие элементы для перемещения критических скоростей в безопасные зоны.

В процессе формирования паковки одна из осей (паковки либо нитераскладчика) должна быть неподвижна, а вторая должна иметь возможность перемещаться в соответствии с ростом диаметра паковки. Подвижная часть намоточного механизма крепится на специальное устройство, которое называется подвес.

Конструкция нитераскладочных механизмов зависит от конкретных условий работы: физико-механических свойств наматываемой нити, скорости наматывания, длины, формы и структуры паковки. В работе проведена классификация конструкций нитераскладочных механизмов, отмечены достоинства, недостатки и применимость для различных условий наматывания.

Исследованию НМ и процесса наматывания нитевидных материалов посвящены труды многих российских и зарубежных исследователей. Среди основополагающих работ в области проектирования НМ в различных областях техники следует отметить работы А.Ф. Прошкова, Е.З. Регельмана, Л.С. Мазина, И.И. Матюшева, М.Г. Парнеса, К. Hasegava, G. Schubert. В этих работах на современном уровне разработаны подходы к исследованию и проектированию НМ и их отдельных узлов. Исследованию высокоскоростных нитераскладочных механизмов и процессов наматывания и раскладки нити на паковке посвящены работы А.П. Минакова, В.А.Гордеева, А.Ф. Прошкова, Е.З.Регельмана, И.И. Матюшева, И.И. Вульфсона, Е.Д. Ефремова, К. Hasegava и их учеников. Исследованию высокоскоростных бобинодержателей посвящены работы А.И. Коритыцкого, Е.З. Регельмана, Л.С. Мазина, Н. Kauderer, К. Nakajima и их учеников. Рассмотрены различные конструктивные схемы узлов НМ, их математические и динамические модели.

Усилие прижима паковки к фрикционному цилиндру при фрикционной намотке оказывает большое влияние на плотность и стабильность получаемой паковки. Исследованию усилия прижима в НМ посвящены работы, в которых исследовано влияние параметров подвеса на усилие прижима и проведен синтез параметров соответствующих механизмов. В результате вращения расположенной на подвесе несбалансированной паковки при наматывании может возникать периодическое изменение силы контактного взаимодействия между паковкой и фрикционным цилиндром. В некоторых случаях это может приводить к отрывам паковки от фрикционного цилиндра, проскальзыванию паковки относительно фрикционного цилиндра. Схожее явление может возникать при наматывании паковки с отклонением от цилиндричности. Исследованию этих явлений и разработке способов борьбы с ними посвящены работы Л.С. Мазина и его учеников. В процессе наматывания на краях паковки возникают зоны с повышенным содержанием нити, что в некоторых случаях приводит к появлению так называемых «губ паковки», что является большим недостатком.

При наматывании нити фрикционным способом по мере роста диаметра паковки последний проходит критические значения. При этом за один двойной ход нитераскладчика паковка совершает целое число оборотов. Возникает так называемая жгутовая намотка, которая является серьезной проблемой при проведении последующих операций. Схожие проблемы возникают при так называемых ленточной и сотовой намотках. Чрезвычайно важную роль, как для осуществления процесса наматывания, так и для правильного формирования наматываемой паковки играет натяжение нити.

В последнее время в связи с широким использованием намоточной технологии в различных отраслях промышленности появилось довольно много работ

посвященных влиянию параметров наматывания нити на свойства получаемой паковки, представляющей из себя готовое изделие или полуфабрикат для изготовления изделия. Здесь в первую очередь следует отметить работы И.Н. Панина и его учеников. Разработке методов и средств контроля параметров паковок посвящены работы С.В. Палочкина и П.Н. Рудовского.

Решающее влияние на свойства паковки оказывает ее структура. Получение заданной структуры возможно только при заданном и контролируемом соотношении скоростей нитеводителя и паковки, то есть при прецизионном наматывании нити. Наряду с задачей получения разных структур при прецизионной намотке важным является синтез механизмов, формирующих заданную структуру. Много возможностей открывается при формировании так называемой мультиструктурной намотки, когда в паковке формируются слои нити, обладающие различной структурой и различными свойствами. Большого внимания заслуживает новое направление изучения формирования и свойств паковок с полиструктурной намоткой. При этом тело намотки формируется за счет наматывания двух и более нитей, каждая из которых имеет в теле паковки свою собственную структуру.

**Во второй главе** рассматриваются математические модели процесса раскладки нити и даются рекомендации по разработке высокоскоростных нитераскладочных механизмов. В паковке можно выделить три зоны, различающиеся по структуре намотки (рисунок 1). Зона II, расположенная в средней части паковки, чаще всего характеризуется крестовой структурой намотки, причем угол наматывания нити  $\alpha$  в этой части паковки практически не изменяется и близок к номинальному значению угла наматывания  $\alpha_0$ . Зоны I и III,

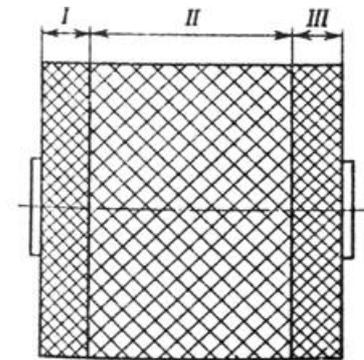


Рисунок 1 – Зоны намотки

расположенные на краях паковки, характеризуются переходом структуры от крестовой на границах с зоной II к параллельной на краях паковки, где угол наматывания  $\alpha$  меняется в пределах от  $\alpha_0$  до 0. Плотность паковки из-за этого в зонах I и III увеличена (в этих зонах время нахождения нитераскладчика больше чем в зоне II) и характеризует неравномерность распределения нити в паковке в осевом направлении.

В работе предложено аналитическое описание неравномерности распределения массы нити вдоль оси паковки (отдельно для средней части и краев паковки). В результате выполненных исследований показано, что для получения равномерной плотности паковки в ее средней части расположение витков нити вдоль оси  $x$  в зависимости от направления движения нитеводителя должно удовлетворять зависимостям:

$$x = \begin{cases} \left( -k_2 + \sqrt{k_2^2 + 2k_1 s} \right) / k_1, & \text{прямое направление;} \\ B - \left( -k_2 + \sqrt{k_2^2 + 2k_1 (s - s_0)} \right) / k_1, & \text{обратное направление;} \end{cases}$$

где  $k_1 = 2(\operatorname{tg}(\alpha(0)) - \operatorname{tg} \alpha_0) / (B \operatorname{tg}(\alpha(0)) \operatorname{tg} \alpha_0)$ ,  $k_2 = \operatorname{tg}^{-1}(\alpha(0))$ ,  $s$  - координата развертки паковки,  $\alpha_0$  - номинальный угол наматывания,  $s_0 = 0,5k_1 B^2 + k_2 B$ ,  $B$  - длина паковки.

На краях паковки (в зонах I и III) уплотнение нити можно определить по формулам:

$$\frac{\gamma_{\max}}{\gamma_0} = \begin{cases} 1, & \text{при } \delta < \delta_1, \\ 0,5 + (0,5 + \delta b^{-1}) \cos \alpha_0, & \text{при } \delta_1 \leq \delta \leq \delta_2, \\ \sqrt{2\delta \cos \alpha_0 (1 + \cos \alpha_0) b^{-1}}, & \text{при } \delta > \delta_2, \end{cases}$$

где  $\delta$  - разница между теоретической и фактической длиной паковки,  $b$  - ширина нити (ленты из элементарных нитей),  $\gamma_0$  - плотность в средней части паковки,  $\gamma_{\max}$  - максимальная плотность на краю паковки,  $\delta_1 = 0,5b(1 - \cos \alpha_0) / \cos \alpha_0$ ,  $\delta_2 = 0,5b(1 + \cos \alpha_0) / \cos \alpha_0$ .

Для исследования распределения нити вдоль образующей паковки разработан метод численного моделирования процесса раскладки нити на ЭВМ. Метод заключается в том, что непрерывное поступление нити в зону намотки заменяется дискретным поступлением элементарных масс нити через фиксированные малые промежутки времени. Паковка разбивается по длине на кольца равной ширины. С использованием предложенной методики произведено исследование влияния параметров намоточного механизма на неравномерность распределения нити вдоль паковки. Исследована эффективность работы механизмов разуплотнения торцев паковки для различных законов изменения длины раскладки. Даны практические рекомендации для выбора закона изменения длины раскладки.

Серьезной проблемой при проектировании нитераскладочных механизмов является возрастание динамических нагрузок, действующих на нитеводитель в моменты смены им направления движения при увеличении скорости наматывания нитей. Динамические нагрузки, действующие на нитеводитель в моменты смены направления движения, зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются: вид закона сопряжения винтовых канавок барабанчика,  $\varphi_{\text{рад}}$  - угол реверса, при котором происходит изменение направления движения нитеводителя;  $\omega$  - угловая скорость винтового барабанчика (ВБ) нитераскладчика; конструкция нитеводителя; масса и податливость отдельных его деталей или частей;  $\Delta s$  - размер зазоров и люфтов в кинематической цепи нитераскладчика; погрешность изготовления. Влияние указанных факторов может проявляться в различной степени в зависимости от условий работы нитераскладчика. Динамические нагрузки, действующие на нитеводитель, пропорциональны его массе. Для исследования динамики нитераскладочного механизма разработаны его динамические модели (рисунок 2), в которых винтовой барабанчик и нитеводитель считаются абсолютно твердыми телами. На рисунке 2 обозначено:  $\varphi$  - угол поворота ВБ;  $\omega$  - угловая скорость ВБ;  $z$  - координата паза ВБ;  $P(\varphi)$  - функция положения;  $c$  - коэф-

фициент жесткости податливых элементов нитеводителя;  $\psi$  - коэффициент поглощения;  $\Delta s$  - величина зазора между пазом ВБ и нитеводителем;  $y$  - координата нитеводителя;  $q$  – деформация упругих элементов в зоне контакта;  $m$  - масса нитеводителя;  $F(t)$  - внешняя нагрузка. Анализируются случаи: без учета податливости между нитеводителем и пазом винтового барабанчика (см. рисунок 2, а); с учетом податливости между нитеводителем и пазом винтового барабанчика (см. рисунок 2, б); с учетом податливости и зазора между нитеводителем и пазом винтового барабанчика (см. рисунок 2, в). Рассмотрены границы применимости указанных моделей и проведен сравнительный анализ законов сопряжения канавок ВБ.

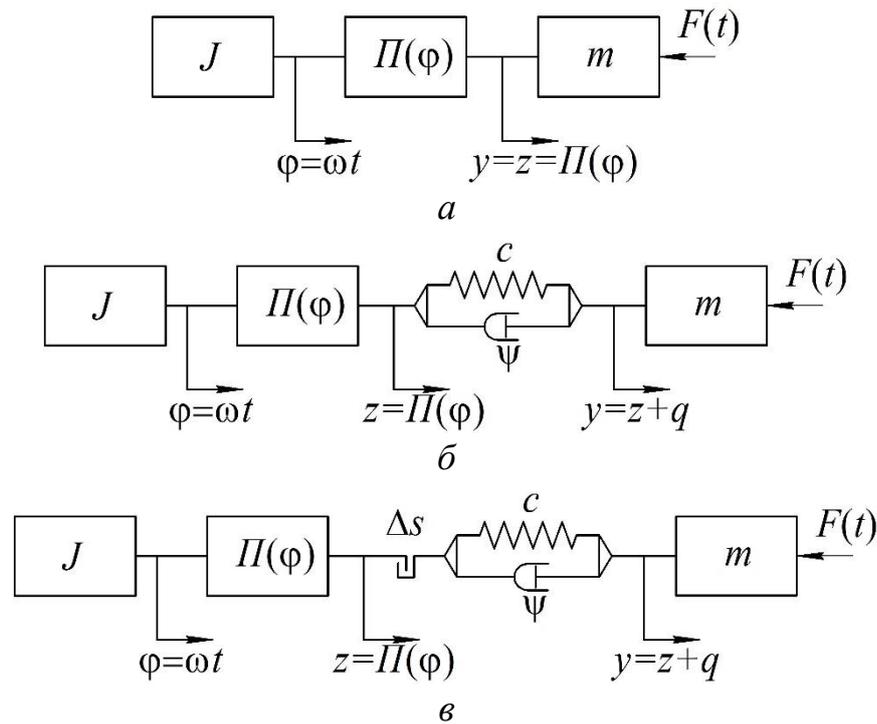


Рисунок 2 – Динамические модели нитераскладочных механизмов

Установлено, что решающее влияние на возникающие динамические нагрузки оказывает величина зазора между лодочкой и пазом ВБ. Даны практические рекомендации по снижению величин динамических нагрузок. Предложены конструктивные схемы и проведены исследования нитераскладочных механизмов, позволяющих существенно уменьшить или практически избежать повышенных динамических нагрузок при реверсе нитеводителя. К ним относятся нитераскладчик с поворотным нитеводителем и нитераскладчик с дополнительным перемещением нитеводителя на участках реверса. Предложенные конструктивные схемы крыльчатого нитераскладчика и нитераскладчика комбинированного типа позволяют кроме снижения динамических нагрузок уменьшить колебания натяжения нити при наматывании. Даны рекомендации по применению разработанных конструктивных схем.

**В третьей главе** проведено исследование натяжения нити при наматывании и влиянии на него параметров намоточного механизма. При движении нити в намоточном механизме на движущуюся нить можно оказывать воздействие двумя

способами. Можно выделить из всего многообразия конструктивных элементов, контактирующих с нитью, два основных элемента, первый из которых задает нити определенную скорость в заданной точке, а второй воздействует на нить с заданной силой в заданной точке. Из рассмотренных элементов можно составить три простейшие схемы транспортирования, показанные на рисунке 3, где:  $F_0$  - начальное натяжение нити,  $F$  - натяжение нити в зоне транспортирования  $ab$ ,  $F_{тр}$  - сила трения,  $V_n$  - скорость подачи нити в зону  $ab$ ,  $V_n$  - скорость удаления нити из зоны  $ab$ ;  $l$  - длина зоны транспортирования  $ab$ .

На рисунке 3 представлены исследуемые схемы транспортирования нити: с кинематическим заданием натяжения (см. рисунок 3, *а*, соответствует механизмам наматывания нити с принудительной подачей ее в зону намотки, например, при формовании); с силовым заданием натяжения (рисунок 3, *б*, соответствует механизмам наматывания нити на большинстве перемоточных машин); с силовым заданием натяжения (рисунок 3, *в*, соответствует механизмам приема нити с помощью инжекторных устройств в контейнер). Выполнен анализ натяжения нити и влияния на него элемента трения в зоне транспортирования при стационарном режиме.

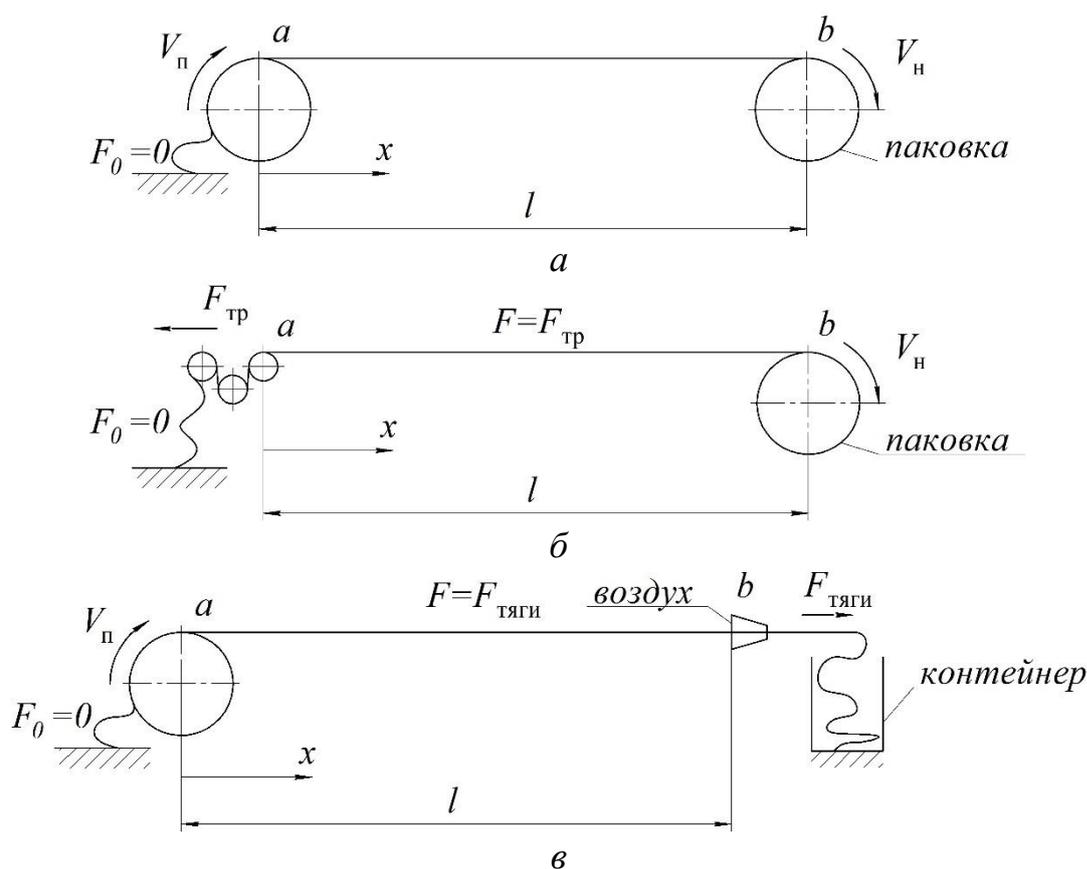


Рисунок 3 – Схемы транспортирования нити

В этой же главе проанализировано натяжение нити в схеме с кинематическим заданием натяжения при учете изменяющихся параметров зоны транспортирования (рисунок 4). Для упругой нити определение натяжения  $F$  может быть сведено к определению ее линейной плотности. Транспортирующее устройство с кинематическим заданием натяжения можно в простейшем случае представить в

виде двух вращающихся шкивов, расположенных на расстоянии  $l(t)$  друг от друга. Питающий шкив 1 подает в зону  $ab$  нить линейной плотностью  $\gamma_l^1(t)$  со скоростью  $v_n(t)$ . Приемный шкив 2 принимает нить со скоростью  $v_n(t)$ . Проскальзывание между шкивами и нитью отсутствует.

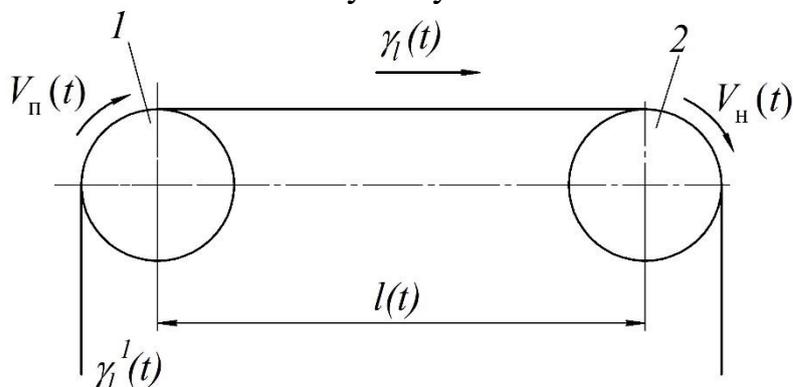


Рисунок 4 – Схема транспортирования с изменяющимися параметрами

Масса нити  $m$ , находящейся в зоне транспортирования  $ab$ , описывается уравнением массового баланса

$$\dot{m} + \frac{v_n(t)}{l(t)} m = v_n(t) \gamma_l^1(t).$$

Это уравнение является линейным неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка относительно  $m$ . Решая его, находим зависимость для определения массы нити в зоне  $ab$ :

$$m(t) = C \exp \left\{ - \int_0^t \frac{v_n(\xi)}{l(\xi)} d\xi \right\} + \exp \left\{ - \int_0^t \frac{v_n(\xi)}{l(\xi)} d\xi \right\} \int_0^t v_n(x) \gamma_l^1(x) \exp \left\{ \int_0^x \frac{v_n(\xi)}{l(\xi)} d\xi \right\} dx,$$

где  $\xi$ ,  $x$  - переменные интегрирования; при  $t = 0$ ,  $C = m(0)$ ;  $\gamma_l(t) = m(t)/l(t)$  – линейная плотность нити в зоне  $ab$ .

На основе полученной математической модели был разработан алгоритм и программа расчета натяжения нити в схеме с принудительной подачей. С ее помощью было исследовано натяжение в зоне наматывания и влияние параметров намоточного механизма на колебания натяжения нити при наматывании.

В результате выполненных исследований установлено, что снижения амплитуды колебаний натяжения можно добиться за счет введения в зону наматывания компенсирующего устройства (КУ), имеющего упругий элемент (см. рисунок 5). В работе составлены расчётная схема и динамическая модель колебательной системы (см. рисунок б), где  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  - обобщенные координаты,  $m$  - приведенная масса КУ,  $c_1$  - коэффициент жесткости КУ,  $b_1$  - коэффициент вязкого трения КУ,  $\Pi$  - функция положения,  $c$  - коэффициент жесткости нити,  $F_{\text{const}}$  - постоянная составляющая натяжения нити.

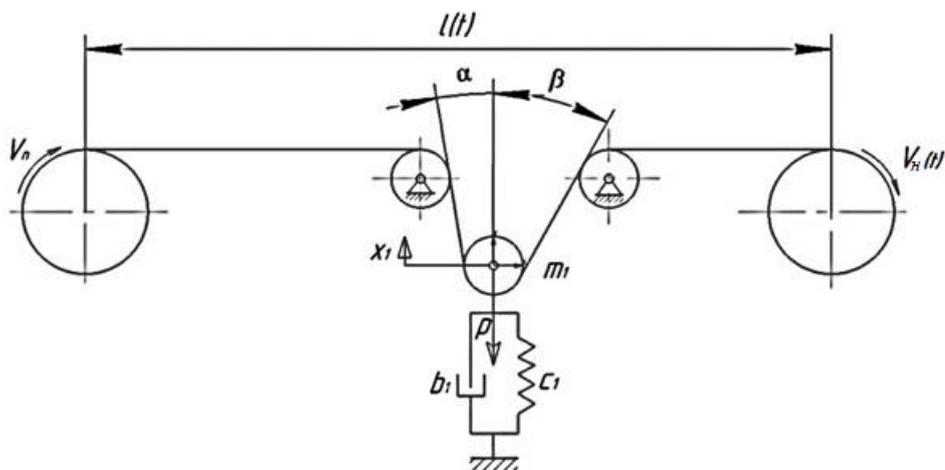


Рисунок 5 – Схема транспортирования с компенсирующим устройством

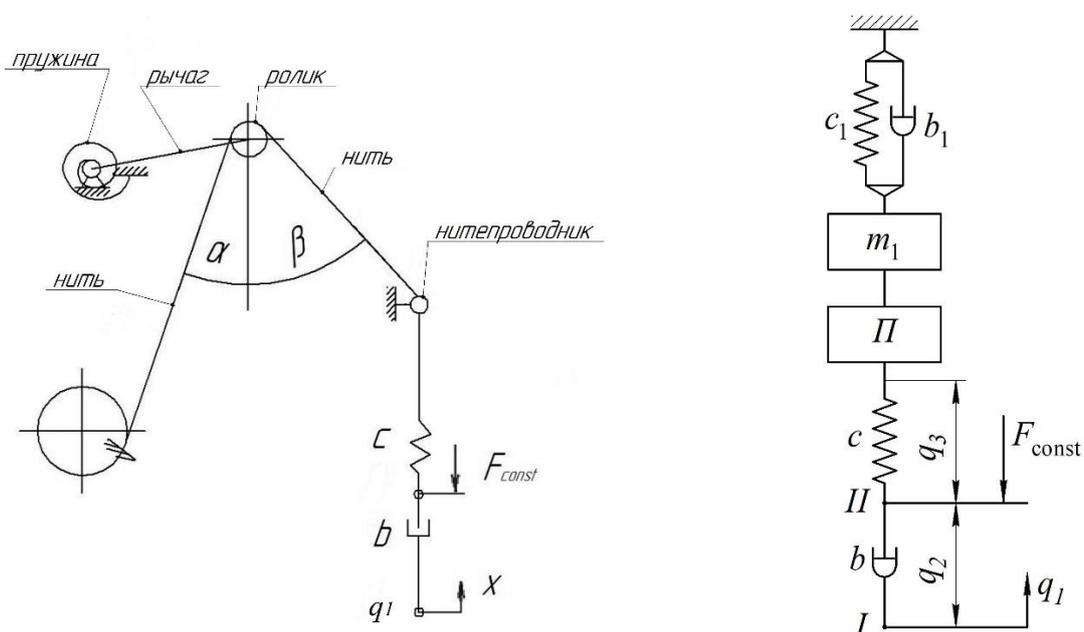


Рисунок 6 – Расчетная схема и динамическая модель

Дифференциальное уравнение, описывающее поведение динамической модели относительно обобщенной координаты  $q_3$ , определяющей переменную составляющую натяжения нити  $F_{var} = cq_3$ , имеет вид

$$\ddot{q}_3 + k_1 \dot{q}_3 + k_2 q_3 = \frac{1}{m_1} \left( -m_1 \ddot{q}_1 - b_1 \dot{q}_1 - c_1 q_1 + \frac{c_1}{b} F_{const} \right),$$

где  $k_1 = c/b + b_1/m_1$ ,  $k_2 = (c\Pi^{-1} + c_1 + b_1cb^{-1})/m_1$ ,  $k_3 = c_1c/(bm_1)$

Полученное дифференциальное уравнение является нелинейным, так как:

$$c = \begin{cases} c & \text{при } q_3 \geq 0, \\ 0 & \text{при } q_3 < 0. \end{cases}$$

Для решения полученного дифференциального уравнения использован метод гармонической линеаризации. Решение дифференциального уравнения представлено в виде  $q_3 = a_3^0 + a_3 \cos(\omega t + \varphi_3)$ , нелинейная часть уравнения имеет вид:

$$g(q_3, \dot{q}_3, \ddot{q}_3) = \frac{c}{b} \ddot{q}_3 + \frac{c}{m_1} (\Pi^{-2} + \frac{b_1}{b}) \dot{q}_3 + c \frac{c_1}{bm_1} q_3.$$

Построены амплитудно-частотные характеристики компенсаторов колебаний натяжения нити. Необходимо отметить, что зона уменьшенных амплитуд колебаний расположена в непосредственной близости от зоны повышенных амплитуд. В связи с этим применение компенсирующих устройств требует тщательной частотной настройки.

Конструкция приемно-намоточного механизма с комбинированным нитераскладчиком позволяет значительно уменьшить колебания натяжения нити при наматывании. Для этого паз пазового барабанчика необходимо выполнить с переменной глубиной таким образом, чтобы скомпенсировать изменение длины нити в зоне наматывания, а также скорости наматывания в процессе раскладки. Выполнено исследование и определены параметры намоточного механизма. Еще одним способом снижения колебаний натяжения нити в зоне наматывания является применение безинерционных крыльчатых раскладчиков нити со специальным профилем направляющей планки.

**В четвертой главе** разработана математическая модель процесса жгутообразования при застилистой намотке. Из объема паковки выделяется слой с внутренним радиусом  $R_{нач}$  и наружным  $R_{кон}$ . При разработке математической модели и моделировании на ЭВМ приняты допущения: плотность паковки в выделенном слое в радиальном направлении принята равномерной, текущий радиус паковки возрастает во времени непрерывно:

$$R(t) = \sqrt{\frac{v_n \gamma_l t}{\pi \gamma_{cp} B} + R_{нач}^2},$$

где  $\gamma_l$  – линейная плотность нити;  $B$  – длина паковки;  $\gamma_{cp}$  – средняя плотность паковки в выделенном слое;  $t$  – время;  $v_n$  – скорость наматывания нити.

Рассматривается на ЭВМ процесс распределения волокна в паковке за время, необходимое для формирования выделенного слоя. Поверхность паковки разбивается на прямоугольные элементарные площадки равной площади (см. рисунок 7).

В каждом прямоугольнике определяется средняя плотность паковки. При достаточно мелком делении набор чисел, отражающих среднюю плотность паковки на всех элементарных площадках, характеризует распределение плотности в выделенном слое. Неравномерность этого распределения оценивается при помощи среднеквадратического отклонения  $\sigma_\gamma$  плотности  $\gamma_{ij}$  от ее среднего значения  $\gamma_{cp}$

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{1}{(IJ - 1)} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\gamma_{ij} - \gamma_{cp})^2},$$

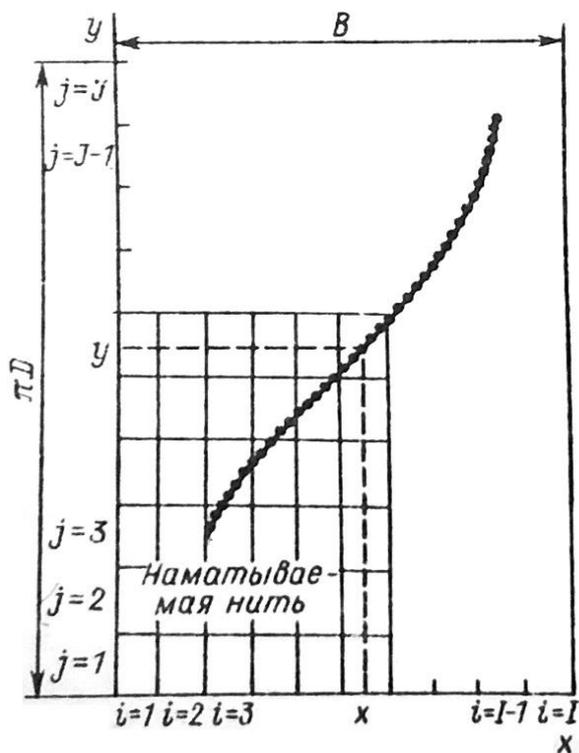


Рисунок 7 – Поверхность паковки, разбитая на прямоугольные площадки

где  $i, j$  – номер элементарной площадки;  $I, J$  – число делений развертки паковки по образующей и по окружности соответственно;  $\gamma_{ij}$  – средняя плотность паковки на элементарной площадке с номером  $ij$ ;  $\gamma_{cp}$  – средняя плотность паковки на всей поверхности развертки.

На рисунке 8 приведены результаты моделирования для паковки при увеличении радиуса намотки от 0,04 до 0,18 м. Из приведенного графика видно, что жгутобразование особенно опасно при наматывании паковок большого диаметра, поскольку при этом увеличивается степень неравномерности распределения волокна по поверхности паковки.

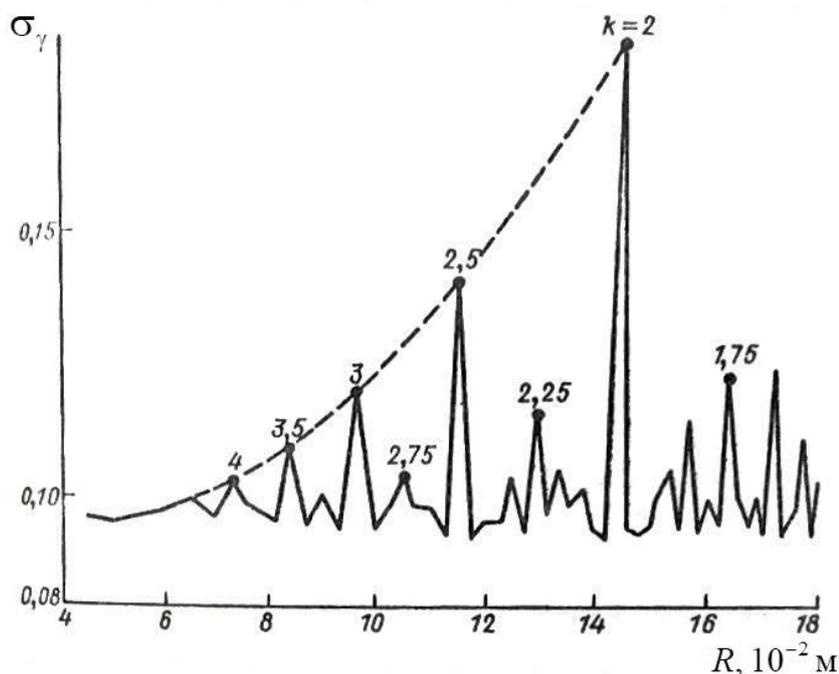


Рисунок 8 – Зависимость  $\sigma_{\gamma}(R)$

В работе исследованы различные законы изменения частоты движения нитеводителя и даны рекомендации по выбору наиболее эффективных законов.

**В пятой главе** выполнены исследования структур намоточных изделий, полученных прецизионной намоткой. Сравнительный анализ застиистой и прецизионной намоток показал, что в результате уменьшения угла наматывания при

прецизионной намотке максимально возможный диаметр паковки ограничен, что является существенным недостатком намотки этого типа. Возможным выходом из создавшегося положения может быть применение ступенчатой прецизионной намотки.

Рассмотрим последовательность расположения витков нити при прецизионной намотке (рисунок 9). На рисунке 9, *а* нить начинает наматываться на нитеноситель в точке *A* и за первый цикл намотки нити (двойной ход нитераскладчика) приходит в точку *C*. Нить образует на бобине узор в виде ромбов. При этом в начале процесса наматывания ширина ромбов равняется расстоянию между соседними витками одного направления, измеренному в параллельном оси вращения тела намотки направлению, т.е. шагу витка *H*.

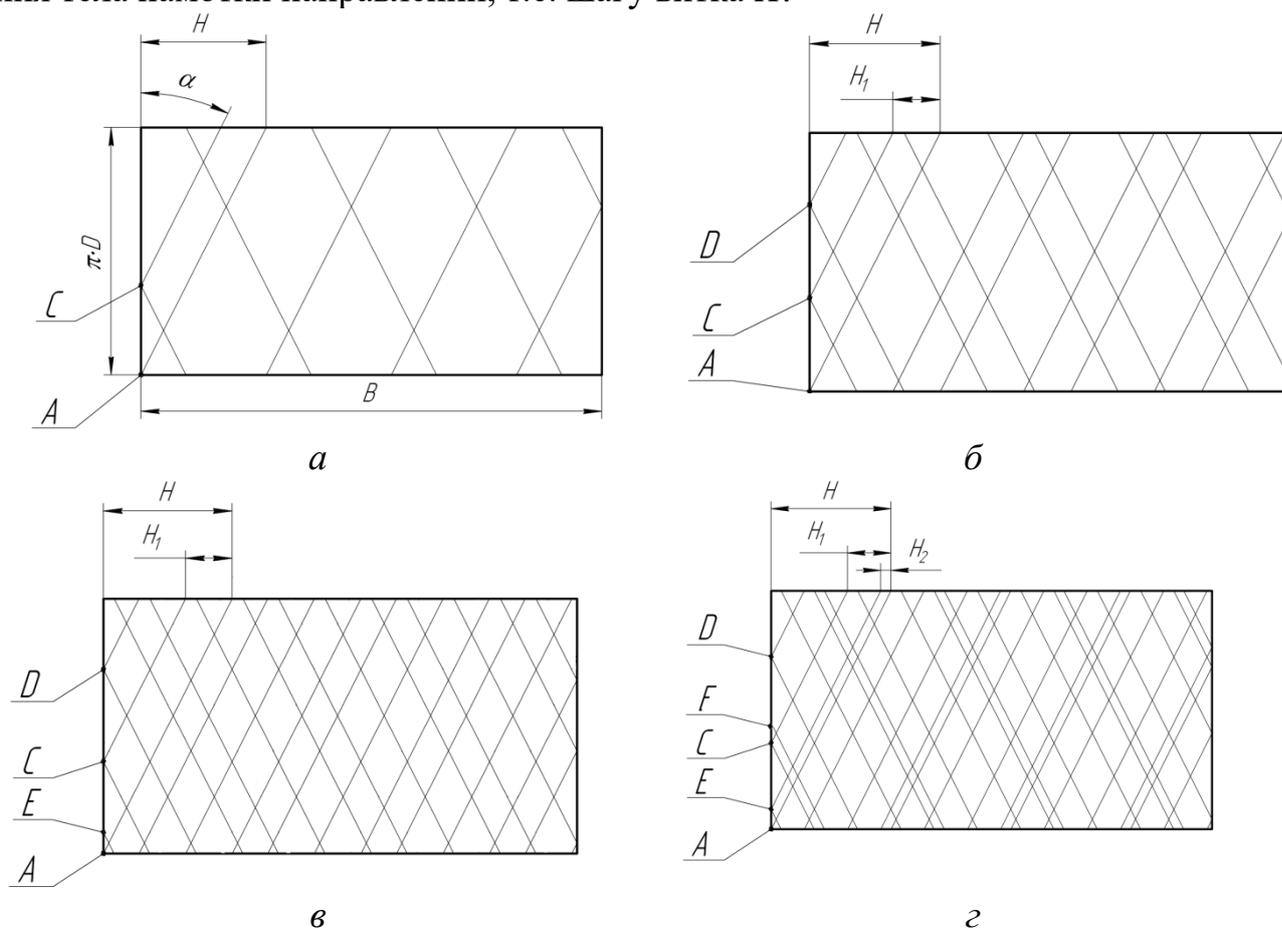


Рисунок 9 - Развертка паковки:

- а* – после одного двойного хода нитераскладчика; *б* – после двух двойных ходов нитераскладчика; *в* – после трех двойных ходов нитераскладчика;
- г* - после четырёх двойных ходов нитераскладчика

За второй цикл намотки (рисунок 9, *б*) нить из точки *C* приходит в точку *D*. На рисунке 9, *б* видно, что витки нити, уложенные за второй двойной ход раскладчика, отстоят на расстоянии  $H_1$  от витков нити, уложенных за первый двойной ход нитераскладчика. Это расстояние  $H_1$  назовем шагом первого порядка, величину  $H_1$  можно определить

$$H_1 = \min \begin{cases} 2B - H \cdot E\left(\frac{2B}{H}\right), \\ H \cdot \left[ E\left(\frac{2B}{H}\right) + 1 \right] - 2B, \end{cases}$$

где  $E(X)$  – целая часть числа  $X$ .

По мере наматывания ромбы шириной  $H$  заполняются нитью таким образом, что нити отстоят друг от друга на величину  $H_1$  (рисунок 9, б, в). После того, как ромбы заполнятся максимально возможным числом витков с шагом первого порядка, начнётся заполнение нитью ромбов, ширина которых равна  $H_1$ . В дальнейшем (рисунок 9, г) расстояние между соседними витками снова уменьшится и станет равным величине  $H_2$ . Эту величину назовем шагом второго порядка:

$$H_2 = \min \begin{cases} H - H_1 \cdot E\left(\frac{H}{H_1}\right), \\ H_1 \left[ E\left(\frac{H}{H_1}\right) + 1 \right] - H. \end{cases}$$

Такое деление на шаги последующих порядков может происходить до конца намотки, при этом нетрудно показать, что выражение для определения шага  $j$ -го порядка имеет вид:

$$H_j = \min \begin{cases} H_{j-2} - H_{j-1} \cdot E\left(\frac{H_{j-2}}{H_{j-1}}\right), \\ H_{j-1} \left[ E\left(\frac{H_{j-2}}{H_{j-1}}\right) + 1 \right] - H_{j-2}. \end{cases}$$

На рисунке 10 представлены зависимости шагов  $H$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  от передаточного отношения  $i$  между валами нитераскладчика и бобинодержателя. Шаг винтовой канавки цилиндрического кулачка нитераскладчика  $h = 61$  мм, число заходов кулачка нитераскладчика  $k = 8$ , длина хода нитеводителя  $B = 244$  мм.

Из рисунка 10 видно, что шаг витка  $H$  увеличивается с ростом передаточного отношения  $i$ . Шаги  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  изменяются не столь однозначно. При этом каждый последующий шаг более чувствителен к изменению передаточного отношения, чем предыдущий.

С целью изучения закономерностей формирования структур тел намотки, а также для получения наглядного представления о структурах разработаны алгоритм и программное обеспечение в среде MATLAB, позволяющее построить осевое сечение паковки диаметра  $D$ , положение которого задаётся при помощи угла  $\varphi$ , отмеряемого от горизонтальной оси поперечного сечения паковки.

При решении задачи моделирования принято допущение, что деформация нити, возникающая при наматывании, не учитывается, то есть поперечные сечения нитей заменяются окружностями, диаметр которых равен диаметру недеформированной нити.

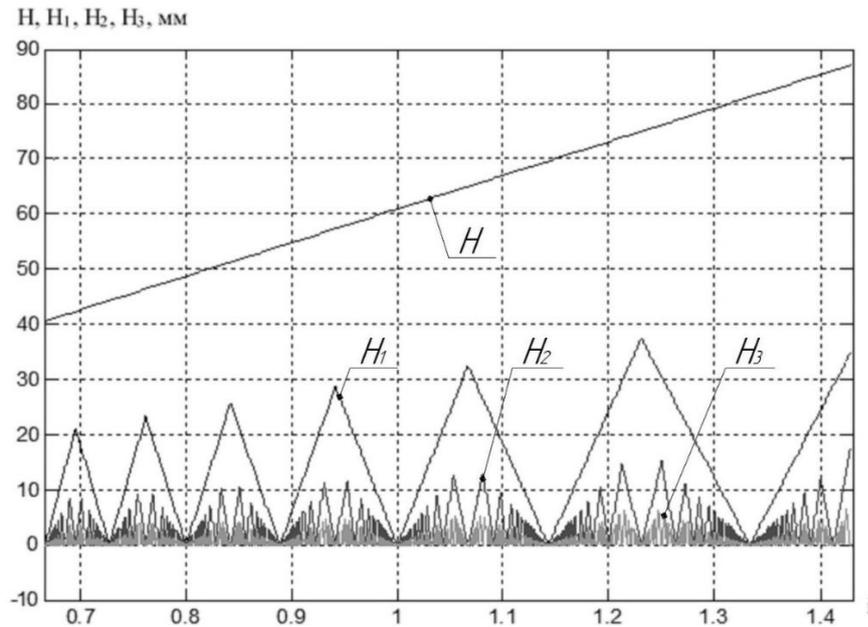


Рисунок 10 – Зависимости шагов намотки от передаточного отношения

Исходными данными для моделирования являются длина раскладки нити  $B$ , шаг витков  $H$ , диаметр нити  $d$ , начальный диаметр наматываемой паковки  $D_H$ , а также угол  $\varphi$ , определяющий положение сечения, построение которого выполняет программа.

С использованием разработанного программного обеспечения проведено исследование структурной плотности паковки при застилой и прецизионной намотках. Подобраны подходящие структуры для ступенчатой прецизионной намотки. Предложена новая методика оценки неравномерности распределения нитей в теле паковки на основе использования триангуляции Делоне.

Величину  $k$ , определяющую соотношение между частотой вращения паковки и частотой возвратно-поступательного движения нитераскладчика предлагается представить в виде цепной дроби:

$$k = a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \dots \frac{1}{a_n}}}}$$

Любая рациональная дробь  $p/q$ , значением которой естественно является величина  $k$ , может быть представлена в виде цепной дроби, например, с использованием алгоритма Евклида. В предлагаемом случае важным обстоятельством является то, что сами числа  $a_0, a_1, \dots, a_n$  отражают наматываемую структуру: число  $a_0$  показывает сколько шагов  $H$  укладывается в удвоенной длине паковки  $2B$ ; число  $a_1$  показывает сколько шагов  $H_1$  укладывается в шаге  $H$ ; число  $a_2$  показывает сколько шагов  $H_2$  укладывается в шаге  $H_1$  и т. д.

Таким образом, используя аппарат цепных дробей, появляется возможность синтеза структуры тела намотки в части относительного расположения последо-

вательно наматываемых витков нити. Результатом такого «синтеза» будет получение значения  $k = 2R$  ( $R$  - передаточное отношение намотки) для реализации требуемого расположения нитей. Так, например, если требуется, чтобы в удвоенной длине паковки укладывалось  $n_0$  шагов нитей; в шаге нити укладывалось  $n_1$  шагов первого порядка; в шаге нити первого порядка укладывалось  $n_2$  шагов второго порядка (если шаг третьего порядка в данном примере равен нулю), то требуемое значение  $k$  составит:

$$k = n_0 + \frac{1}{n_1 + \frac{1}{n_2}}.$$

Данное выражение соответствует опережающей намотке на каждом этапе формирования структуры паковки. Если, например, на третьем этапе формирования структуры паковки требуется отстающая намотка, то нетрудно показать, что это равенство должно иметь вид:

$$k = n_0 + \frac{1}{(n_1 + 1) - \frac{1}{n_2}}.$$

Таким образом, рассматривая важнейшие параметры процесса наматывания, влияющие на структуру намоточного изделия, можно отметить следующее. Намоточное отношение  $R$  и коэффициенты разложения удвоенной величины этого отношения в цепную дробь в виде конечного или бесконечного вектора описывают топологию структуры намоточного изделия на плоскости, которая является разверткой цилиндрической поверхности намотки. Учитывая важность этого вектора для анализа и синтеза структуры намоточного изделия введем термин *цепное намоточное отношение*. Задав дополнительно величины  $B$  (длина паковки) и  $D$  (диаметр паковки) можно определить угол подъема витка  $\alpha$ , расстояние между витками  $H_j^*$  и другие геометрические параметры витков нити на рассматриваемой плоскости. Эти значения можно рассматривать как масштабные факторы при моделировании структуры намоточного изделия на плоскости и непосредственно в процессе намотки.

**Шестая глава** посвящена исследованию и разработке конструктивных схем намоточных механизмов для получения моно-, мульти- и полиструктурной намоток. В качестве механизма для формирования моноструктурной намотки на рисунке 11 представлена схема формирования спирального ребра композитной арматуры. Композитную арматуру получают из стекловолоконного ровинга с нескольких катушек, который пропитывают двухкомпонентной эпоксидной смолой. Затем ровинги собирают в пучок (от количества ровингов зависит диаметр композитной арматуры). Полученный пучок обматывают спиральной намоткой обмоточным жгутом, что формирует жгут фиксированного диаметра, который далее тянут в полимеризационную камеру, затем композитная арматура остужается, сушится, режется на участки необходимой длины и сматывается в удобные бухты. Такая упаковка композитной арматуры придает ей компактность в складировании и транспортировке.

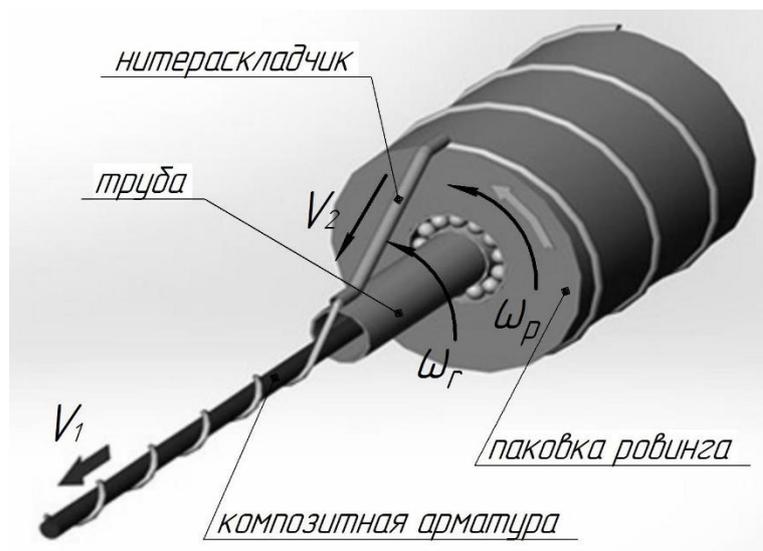


Рисунок 11 – Схема наматывания ребра композитной арматуры

Механизм состоит из трубы, с закрепленным на ней нитераскладчиком и паковки ровинга с нитеносителем, которая имеет возможность свободного вращения относительно трубы. Труба с нитераскладчиком приводятся во вращение с угловой скоростью  $\omega_r$  специальным приводом (не показан). Пучок ровинга протягивают внутри трубы с постоянной скоростью  $V_1$ . Обмоточный ровинг с паковки заправлен в нитераскладчик и из-за вращения трубы обматывается вокруг пучка ровинга. При этом обмоточный ровинг увлекает за собой паковку, которая вращается с угловой скоростью  $\omega_p$ . В результате применения описанного механизма удалось увеличить длину композитной арматуры при одновременном повышении ее качества путем уменьшения угла подъема витков обмоточного жгута при одновременном снижении шума и вибрации узла намоточного механизма технологической линии и снижении количества остановок линии, что привело к повышению производительности.

В качестве механизма для формирования мультиструктурной намотки представлен механизм наматывания многослойного фильтрующего элемента (ФЭ). Механизм имеет возможность изменять структуру паковки в процессе наматывания. Кинематическая схема механизма представлена на рисунке 12. Движение к патрону 13 и нитеводителю 15 передается от шаговых двигателей 16 и 17 следующим образом. Вал 20 с закрепленным на нем патроном 13 с наматываемой паковкой 18 посредством зубчатой передачи 2, 1 приводится в движение от шагового двигателя 16. Вращение вала 20 передается посредством зубчатоременной передачи зубчатому шкиву 4, закрепленному на оси с возможностью свободного вращения. Сквозь зубчатый шкив 4 (водило) проходят оси, на которых закреплены сателлиты 5 и 7 входящие в зацепление с солнечными зубчатыми шестернями 8 и 6. Зубчатое солнечное колесо 6 жестко соединено со шкивом 9, получающим вращение посредством зубчатоременной передачи от шагового двигателя 17 через зубчатый шкив 12. Зубчатое колесо 8 жестко соединено с зубчатым шкивом 10, вращение от которого передается валу нитераскладчика 21 посредством зубчатоременной передачи через зубчатый шкив 11. Таким образом, между валами 20 и

21 установлено передаточное отношение, которое определяется числами зубьев зубчатых передач привода и скоростями шаговых электродвигателей 16 и 17.

Нить, наматывается на вращающийся патрон 13, образует паковку 18 за счет возвратно-поступательного движения нитеводителя 15. Соотношение частот вращения валов 20 и 21 в сочетании с числом заходов винтового барабанчика 14 определяет структуру наматываемого паковки. Этот механизм предназначен для получения паковки с уменьшающейся плотностью от вращающегося патрона 13 к периферии ФЭ. Такое распределение плотности позволяет при фильтрации потока жидкости снаружи внутрь от периферии ФЭ к патрону задерживать сначала более крупные частицы в наружных слоях ФЭ, а затем более мелкие, осуществляя объемное фильтрование и увеличивая таким образом ресурс работы ФЭ.

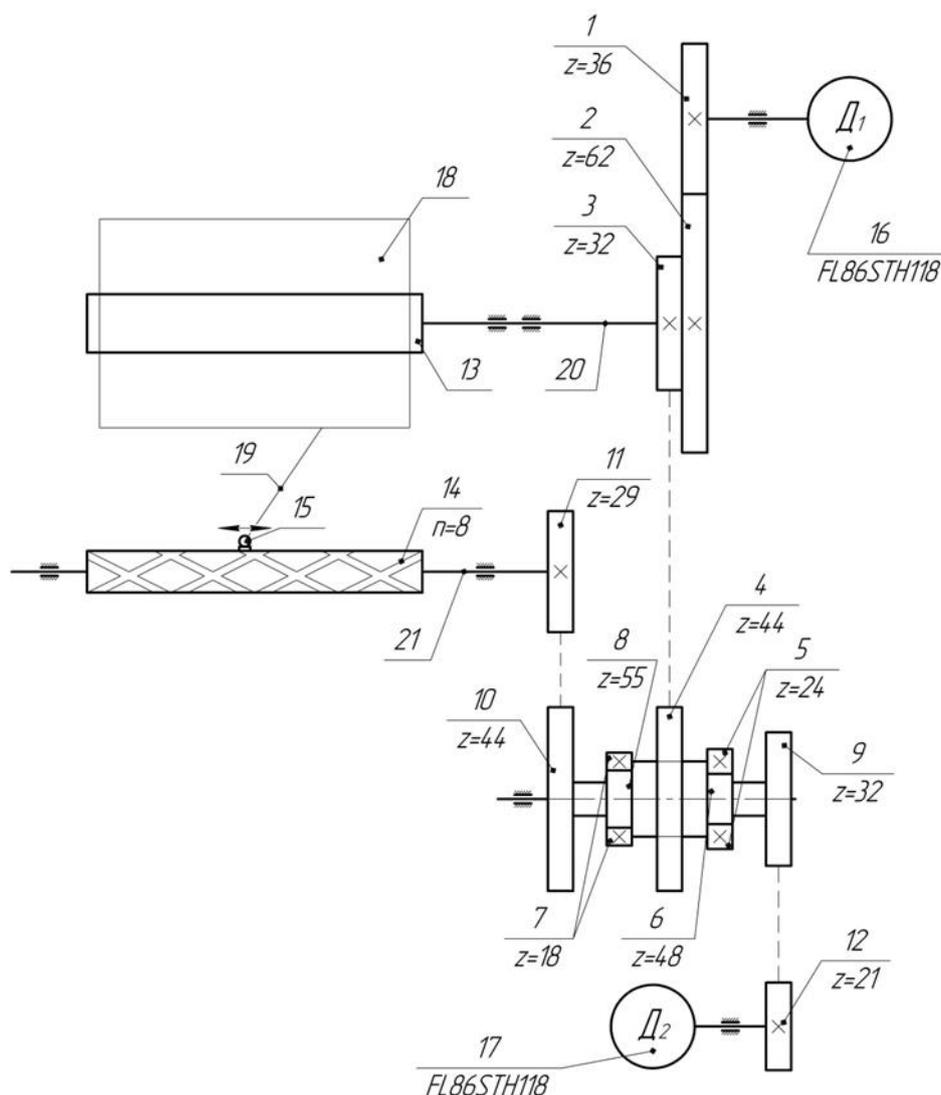


Рисунок 12 – Кинематическая схема намоточного механизма

В качестве механизма для формирования полиструктурной намотки представлен механизм наматывания фильтрующего элемента увеличенной грязеемкости. Механизм имеет два нитераскладчика, каждый из которых предназначен для отдельной нити, образующей в теле намотки собственную структуру. 3D модель механизма для формирования полиструктурной намотки представлена на рисунке

13. Предлагаемый ФЭ, содержит перфорированный полый жесткий стержень с намотанной основной объемной нитью из синтетического волокна, образующей фильтрующий слой в виде ромбической намотки, состоящий из витков нити, уложенных с переменной плотностью, уменьшающейся к периферии фильтрующего элемента, фильтрующий слой содержит витки дополнительной монопнити с прямоугольным поперечным сечением в виде сотовой намотки, расположенные между витками основной нити, уложенные со сдвигом, равным  $0,1 \div 0,5$  ширины дополнительной нити. Объемная нить и монопнить раскладываются собственными нитераскладчиками. В результате одновременного наматывания двух вышеуказанных нитей в фильтрующем слое, образованном витками основной нити, образуется спиральная намотка из витков дополнительной монопнити. Фильтруемая жидкость, следуя по спиральным каналам проходит в фильтрующем слое большее расстояние, что приводит к повышению тонкости фильтрации и увеличению ресурса ФЭ.

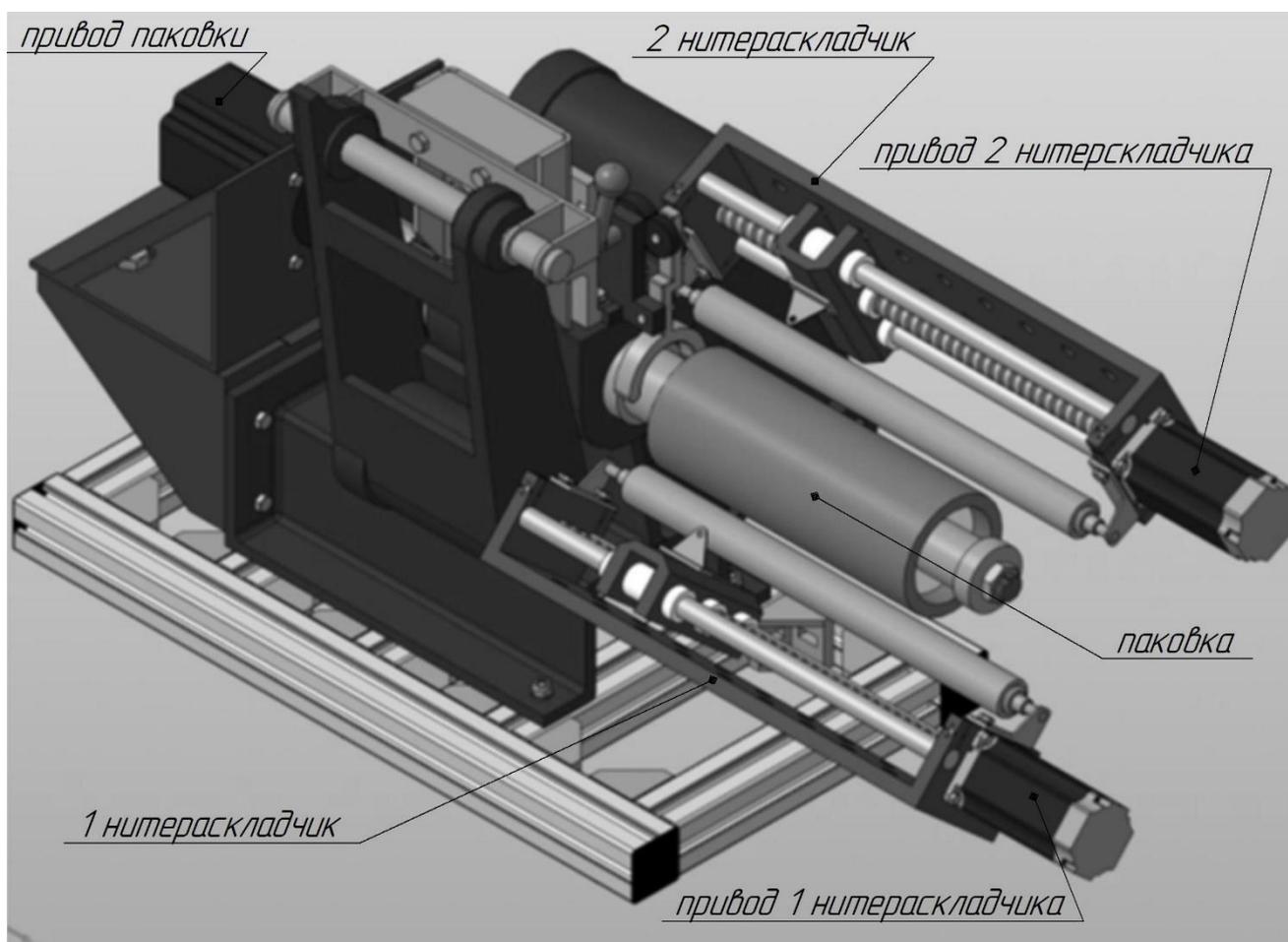


Рисунок 13 – 3D модель намоточного механизма для получения полиструктурной намотки (вариант с линейными модулями)

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны теоретические основы исследования и проектирования намоточных механизмов для получения намоточных изделий с различными видами структур тела намотки, которые включают в себя методы проектирования намоточных механизмов и их узлов для получения моно-, мульти- и полиструктурных намоточных изделий с заданными свойствами.

2. Разработана математическая модель процесса раскладки нити на паковке, учитывающая: закон движения глазка нитеводителя, расстояние до точки набегания нити на паковку, размеры наматываемой нити и другие параметры намоточного механизма; выполнено теоретическое исследование высокоскоростных нитераскладочных механизмов, проанализирована степень неравномерности распределения массы нити в теле паковки в осевом направлении.

3. Выполнено теоретическое исследование и даны практические рекомендации для разуплотнения торцев паковки, устранения жгутообразования в теле намотки. Установлено, что наиболее равномерное распределение нити вдоль оси паковки обеспечивает закон изменения длины раскладки с выстоем в точках максимального хода нитеводителя. Для устранения жгутообразования целесообразно применять такие законы изменения угловой скорости винтового барабанчика, которые обеспечивают ее постоянное изменение (с плавным возрастанием и резким уменьшением).

4. С помощью разработанных динамических и математических моделей выполнен анализ динамических процессов в зонах реверса нитеводителя при учете податливости деталей и зазоров в узлах механизма. Выявлены направления и даны практические рекомендации по совершенствованию конструкции нитераскладочных механизмов, позволяющие снизить динамические нагрузки между нитеводителем и винтовым барабанчиком.

5. Разработана динамическая и математическая модель для описания натяжения упругой движущейся нити при наматывании с учетом упругих свойств нити, характеристик процесса наматывания и параметров намоточного механизма. Выполнено теоретическое исследование и предложены конструкции нитераскладочных механизмов, позволяющих значительно снизить колебания натяжения нити в зоне наматывания, а, следовательно, и в теле паковки.

6. В результате теоретических исследований установлено, что существенное влияние на структуру тела намотки при застилистой намотке оказывает малое изменение диаметра намотки, а при прецизионном наматывании малое изменение шага подъема витков нити. Исходя из этого обосновано применение прецизионной намотки при проектировании намоточных механизмов с управляемой структурой тела намотки. Для обеспечения формирования заданной структуры намоточного изделия необходимо применение высокоточных приводов и компьютерным управлением.

7. Выполнены теоретические исследования и разработана новая методика анализа и синтеза структур прецизионной намотки. Показано, что для описания

структур тел намотки может быть эффективно использован аппарат цепных дробей. С помощью разработанной методики синтезированы сотовая, спиральная, сочкнутая и ступенчатая прецизионная намотки.

8. Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для построения 2D и 3D моделей структур намоточных изделий. Программное обеспечение позволяет учитывать параметры наматывания и геометрические размеры тела намотки и наматываемой нити.

9. Предложены пути совершенствования существующих и разработки новых намоточных механизмов (получены патенты на изобретения (авторские свидетельства) устройств для получения моно-, мульти- и полиструктурных намоточных изделий). Разработаны конструкции намоточных механизмов для формирования: спирального ребра композитной арматуры (моноструктурное намоточное изделие); многослойный фильтрующий элемент для электронной промышленности (мультиструктурное намоточное изделие); фильтрующий элемент повышенной грязеемкости (полиструктурное намоточное изделие).

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в «Перечень ...» ВАК РФ

1. **Рокотов, Н.В.** Фильтрующий элемент для очистки жидкостей от механических загрязнений / **Н.В. Рокотов**, И.М. Беспалова, Л.С. Мазин, А.В. Марковец, В.А. Колесников // Химические волокна. – 2018. – №2. – С.50-52.

2. **Рокотов, Н.В.** Синтез структуры прецизионной намотки / **Н.В. Рокотов** // Химические волокна. – 2018. – №2. – С.47-49.

3. **Рокотов, Н.В.** Моделирование процесса жгутообразования при наматывании нити / **Н.В. Рокотов**, В.В. Смелкова, И.М. Беспалова // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2017. – № 5. – С. 41-44.

4. **Рокотов, Н.В.** Исследование эффективности работы механизмов устранения жгутообразования / **Н.В. Рокотов**, Н.М. Бабкина, К.И. Молчанов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2017. – № 5. – С. 26-28.

5. **Рокотов, Н.В.** Исследование неравномерности распределения нити вдоль оси вращения паковки при наматывании / **Н.В. Рокотов**, И.М. Беспалова // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2017. – № 5. – С. 9-12.

6. **Рокотов, Н.В.** Экспериментальный стенд прецизионной намотки / **Н.В. Рокотов**, В.А. Колесников, А.В. Марковец, К.И. Молчанов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2017. – № 2. – С. 114-116.

7. **Рокотов, Н.В.** Анализ прецизионной намотки / **Н.В. Рокотов**, А.В. Марковец // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2016. – Т. 32. – №2. – С. 22-26.

8. Панфилов, С.В. Математическая модель лабораторного стенда для исследования динамики механизма раскладки нити с приводом от пространственного

кулачка / С.В. Панфилов, Е.В. Анашкина, **Н.В. Рокотов**, В.В. Родин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2014. – №4. – С. 47-49.

9. **Рокотов, Н.В.** Исследование нитераскладочного механизма с направляющей линейкой, имеющей криволинейный паз / **Н.В. Рокотов**, В.Р. Горубин, Е.З. Регельман // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1990. – №4. – С. 90-93.

10. Сенской, Д.А. Механизм раскладки нити с дополнительным перемещением нитеводителя на участках реверса / Д.А. Сенской, **Н.В. Рокотов**, Е.З. Регельман // Химические волокна. – 1989. – №4. – С. 18-20.

11. Регельман, Е.З. Кинематический анализ раскладчика нити крыльчатого типа / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов**, И.Н. Кузьмин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1989. – №4. – С. 123-129.

12. Регельман, Е.Е. Механизм изменения хода нитеводителя / Е.Е. Регельман, **Н.В. Рокотов** // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986. – №6. – С. 104-109.

13. Регельман, Е.З. Анализ прецизионной намотки / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов**, С.Д. Левина, Е.Е. Регельман // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986. – №4. – С. 92-95.

14. Регельман, Е.З. Особенности расчета сомкнутой прецизионной намотки / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов**, С.Д. Левина, Е.Е. Регельман // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986. – №3. – С. 54-57.

15. **Рокотов, Н.В.** Исследование эффективности работы механизмов, устраняющих жгутообразование / **Н.В. Рокотов**, Е.З. Регельман // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986. – №1. – С. 49-52.

16. **Рокотов, Н.В.** Моделирование неравномерности распределения массы нити в слое паковки / **Н.В. Рокотов**, Е.З. Регельман // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985. – №6. – С. 42-46.

17. Регельман, Е.З. Кинематическое исследование раскладчика нити с поворотным нитеводителем / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов** // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985. – №3. – С. 92-95

18. Регельман, Е.З. Синтез кулачкового раскладочного механизма с криволинейной направляющей / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов**, В.Р. Горубин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985. – №1. – С. 105-109

19. **Рокотов, Н.В.** Влияние параметров раскладочного механизма на плотность наматывания нити на паковку / **Н.В. Рокотов**, Е.З. Регельман, В.Н. Козлов, Е.А. Тупиченков // Химические волокна. – 1983. – №1. – С. 44-46.

20. Регельман, Е.З. Сравнительный анализ застиистой и прецизионной намоток / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов**, В.Н. Козлов // Химические волокна. – 1982. – №6. – С. 32-34.

21. **Рокотов, Н.В.** Определение деформации нити в процессе транспортирования между питающим и приемным устройствами / **Н.В. Рокотов**, Е.З. Регельман, В.Н. Козлов, Е.А. Тупиченков // Химические волокна. – 1980. – №1. – С. 42-44

## Монография

22. Регельман, Е.З. Приемные механизмы машин для производства химических волокон / Е.З. Регельман, **Н.В. Рокотов** : Под ред. Е.З. Регельмана; Ленингр. ин-т текстил. и лег. пром-сти им. С.М. Кирова. - Л. : Изд-во ЛГУ, 1988. - 245 с.

### Патенты и авторские свидетельства

23. Пат. 2636061 Российская Федерация, МПК10 E04C 5/07. Устройство спиральной намотки технологической линии для производства композитной арматуры / Беккер М.В., **Рокотов Н.В.**, Темников О.Ю. заявитель и патентообладатель Гетунов А.Н. – № 2016120471 ; заявл. 25.05.16 ; опубл. 20.05.2017, Бюл. № 32 – 4 с. : ил.

24. Пат. 2619698 Российская Федерация, МПК<sup>10</sup> B01D 39/16, B01D 27/04. Фильтрующий элемент / **Рокотов Н.В.**, Мазин Л.С., Марковец А.В. заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО СПГУТД. – № 2015157413 ; заявл. 31.12.15 ; опубл. 17.05.2015, Бюл. № 14 – 5 с. : ил.

25. Пат. 2101222 Российская Федерация, B65H 54/00. Устройство для намотки фильтрующих элементов / **Рокотов Н.В.**, Гросман М.Ш., Гросман В.М. заявитель и правообладатель научно-техническая фирма «ИНПРОКОМ». – №994010287/12 ; заявл. 17.03.1994 ; опубл. 10.01.1998, Бюл. №14. – 5 с. : ил.

26. А. с. 1824744 СССР, МПК B01D 39/00, B01D 27/00. Фильтрующий элемент, способ его изготовления и устройство для осуществления способа / В. И. Плоткин, Т. С. Дорутина, **Н. В. Рокотов** и др. (СССР). – 4861849/26 ; заявл. 27.08.1990 ; опубл. 27.07.96, Бюл. №7. – 3 с. : ил.

27. Пат. 2036692 Российская Федерация, B01D 39/16. Фильтрующий материал / **Рокотов Н.В.**, Плоткин В.И. ; заявитель и правообладатель научно-техническая фирма «ИНПРОКОМ». – №93000764/26 ; заявл. 25.11.1992 ; опубл. 09.06.1995, Бюл. №2. – 3 с. : ил.

28. А. с. 1796578 СССР, МПК B65H 54/28. Устройство для раскладки нити на паковке / **Н. В. Рокотов**, Е. З. Регельман, Э. П. Астрейн и др. (СССР). – 4889184/12 ; заявл. 10.12.1990 ; опубл. 23.02.1993, Бюл. №7. – 4 с. : ил.

29. А. с. 1726346 СССР, МПК B65H 54/30. Раскладчик нити / Е. З. Регельман, **Н. В. Рокотов**, Е. А. Тупиченков и др. (СССР). – 4780178/12 ; заявл. 09.01.1990 ; опубл. 15.04.1992, Бюл. №14. – 5 с. : ил.

30. А. с. 1720975 СССР, МПК B65H 54/30. Устройство для намотки нити на бобину / Е. Е. Байкова, Е. З. Регельман, **Н. В. Рокотов** (СССР). – 4865441/12 ; заявл. 29.06.90 ; опубл. 23.03.92, Бюл. №11. – 4 с. : ил.

31 А. с. 1680612 СССР, МПК B65H 54/30. Устройство для намотки нити на бобину / Е. Е. Байкова, **Н. В. Рокотов**, Е. З. Регельман (СССР). – 4758792/12 ; заявл. 14.11.1989 ; опубл. 30.09.1991, Бюл. №36. – 4 с. : ил.

32. А. с. 1615120 СССР, МПК B65H 54/28. Устройство для раскладки нити / Е. З. Регельман, И. Н. Кузьмин, **Н. В. Рокотов** и др. (СССР). – 4615129/31-12 ; заявл. 06.12.1988 ; опубл. 23.12.1990, Бюл. №47. – 3с. : ил.

33. А. с. 1581674 СССР, МПК B65H 54/30 Устройство для раскладки нити / Е. З. Регельман, И. Н. Кузьмин, **Н. В. Рокотов** и др. (СССР). – 4444841/31-12 ; заявл. 20.06.88 ; опубл. 30.07.90, Бюл. №28. – 5 с.

34. А. с. 1527118 СССР, МПК В65Н 54/28. Устройство для намотки нити на бобину / Е. Е. Регельман, В. П. Коркин, С. Д. Левина, **Н. В. Рокотов** (СССР). – 4399934/31-12 ; заявл. 29.03.88 ; опубл. 07.12.89, Бюл. №45. – 3 с.

35. А. с. 1461735 СССР, МПК В65Н 54/32. Устройство для намотки нити / Е. Н. Ковалев, **Н. В. Рокотов** (СССР). – 4235298/28-12 ; заявл. 27.04.87 ; опубл. 28.02.89, Бюл. №8. – 5 с. : ил.

36. А. с. 1440833 СССР, МПК В65Н 54/30. Раскладчик нити / Е. З. Регельман, Е. А. Тупиченков, **Н. В. Рокотов**, Д. А. Сенской (СССР). – 4173873/31-12 ; заявл. 04.01.87 ; опубл. 30.11.88, Бюл. №44. – 3 с. : ил.

37. А. с. 1416414 СССР, МПК В65Н 54/28. Нитераскладчик / Е. З. Регельман, Д. А. Сенской, **Н. В. Рокотов**, Е. А. Тупиченков (СССР). – 4177281/31-28 ; заявл. 04.01.87 ; опубл. 15.08.88, Бюл. 30. – 3 с. : ил.

38. А. с. 1331780 СССР, МПК В65Н 54/30. Устройство для намотки нити на бобину / В. П. Коркин, Е. Е. Регельман, С. Д. Левина, **Н. В. Рокотов** (СССР). – 3997999/31-12 ; заявл. 30.12.85 ; опубл. 23.08.87, Бюл. №31. – 3 с. : ил.

39. А. с. 1276606 СССР, МПК В65Н 54/30. Устройство для намотки нити на бобину / Е. З. Регельман, В. Л. Форер, **Н. В. Рокотов**, Е. Е. Регельман (СССР). – 3938277/28-12; заявл. 29.05.85 ; опубл. 15.12.86, Бюл. №46. – 3 с. : ил.

40. А. с. 1183442 СССР, МПК В65Н 54/32. Устройство для раскладки нити на паковке / Е. З. Регельман, В. Р. Горубин, Р. А. Шафир, **Н. В. Рокотов** (СССР). – 3595100/28-12 ; заявл. 23.05.1983 ; опубл. 07.10.1985, Бюл. №37. – 2 с. : ил.

41. А. с. 1137047 СССР, МПК В65Н 54/32, D01H 1/36. Устройство для раскладки нити на паковке текстильной машины / Е. З. Регельман, Е. Е. Регельман, **Н. В. Рокотов** (СССР). – №3551824/28-12 ; заявл. 08.02.83 ; опубл. 30.01.85, Бюл. №4. – 4 с. : ил.

42. А. с. 927702 СССР, МПК В65Н 54/28. Устройство для раскладки нити / Е. З. Регельман, А. Х. Сарычев, **Н. В. Рокотов** (СССР). – №2942280/28-12 ; заявл. 16.06.80 ; опубл. 15.05.82, Бюл. №18. – 2 с. : ил.

#### Материалы конференций

43. **Рокотов, Н.В.** Экспериментальный стенд для исследования динамики веретен текстильных машин / Н.В.Рокотов, А.В.Марковец, Г.А.Евдокимов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции (Пенза, 15 августа 2018 г.) : в 2 ч. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. – Том. Часть 1. – С. 165–169.

44. **Рокотов, Н.В.** Анализ зазоров, влияющих на работу нитеводителя / Н.В. Рокотов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XI Международной научно-практической конференции (Пенза, 15 апреля 2018 г.) : в 3 частях. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. – Том. Часть 1. – С. 100-105.

45. **Рокотов, Н.В.** Анализ динамических нагрузок, действующих на нитеводитель / Н.В.Рокотов, Л.С.Мазин, И.М.Беспалова // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика : сборник статей XIII Международной

научно-практической конференции (Пенза, 20 марта 2018 г.): в 2 ч. – Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. – Том. Часть 1. – С. 110–114.

46. **Рокотов, Н.В.** Анализ законов движения кулачковых нитераскладочных механизмов / Н.В.Рокотов, А.В.Марковец, В.А.Колесников // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции (Пенза, 27 февраля 2018 г.). – МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 56–62.

47. Колесников, В.А. Получение различных намоточных структур на экспериментальном стенде / В.А. Колесников, **Н.В. Рокотов**, В.В. Смелкова // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2018): сб. материалов межвузовской (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2018. – С.274–275.

48. Колесников, В.А. Экспериментальное исследование процессов получения паковок различной структуры на намоточном стенде / В.А.Колесников, **Н.В.Рокотов**, А.В.Марковец, К.И.Молчанов // XXVII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2015) : труды конференции (Москва, 2–4 декабря 2015 года) / Российская академия наук; РФФИ; Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления; Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2015. – С. 419–422.

49. Колесников, В.А. Разработка намоточного механизма для формирования паковок с управляемой переменной структурой / В.А.Колесников, **Н.В.Рокотов**, К.И.Молчанов, А.В.Марковец // XXVI Международная инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов (МИКМУС - 2014) : труды конференции (Москва, 17–19 декабря 2014 года) / Российская академия наук; РФФИ; Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления; Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2015. – С. 503–506.

50. Блажис, К.В. Применение дифференциального механизма в намоточном механизме / К.В. Блажис, **Н.В.Рокотов** // Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2013. – С.97–98.

51. Денишев, С.Р. Намоточный механизм для одновременного наматывания двух нитей / С.Р. Денишев, **Н.В.Рокотов** // Инновации молодежной науки: тез. докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых / С.-Петербургск. гос. ун-т технологии и дизайна. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2013. – С.98–99.

52. Блажис, К.В. Анализ и синтез параметров намоточных механизмов применительно к задаче получения тел намотки заданной структуры / К.В.Блажис, **Н.В.Рокотов**, А.В. Марковец // Юбилейная XXV Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2013) : материалы конференции (Москва, 13–15 ноября 2013 г.) / Российская академия наук; РФФИ; Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М: Изд-во ИМАШ РАН, 2013. – С.62.

53. Сенской, Д.А. Комплексный подход к проектированию и изготовлению винтовых барабанчиков / Д.А.Сенской, **Н.В.Рокотов** // Основные направления и

меры по ускорению технического прогресса в создании хлопкопрядильного оборудования: тезисы докладов Всесоюзной конференции. – г. Пенза, 1988. – С.21–23.

54. Константинов, А.Ю. Основы построения подсистемы автоматизированного проектирования бобинодержателей / А.Ю.Константинов, **Н.В.Рокотов**, П.В.Сучков // Основные направления и меры по ускорению технического прогресса в создании хлопкопрядильного оборудования: тезисы докладов Всесоюзной конференции. – г. Пенза, 1988. – С.64–65.

55. **Рокотов, Н.В.** Определение ускорений, возникающих в процессе работы высокоскоростного нитераскладчика / Н.В.Рокотов, Е.З.Регельман, Д.А.Сенской // Создание прогрессивного оборудования для производства синтетических волокон: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – г. Чернигов, 1987. – С.77–79.

56. Сенской, Д.А. Экспериментальное определение коэффициентов жесткости и поглощения различных лодочек нитераскладочных механизмов / Д.А.Сенской, **Н.В.Рокотов**, Е.З.Регельман, Е.А.Тупиченков // Создание прогрессивного оборудования для пр-ва синтетических волокон: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – г. Чернигов, 1987. – С.79–81.

57. Регельман, Е.З. Исследования процесса наматывания текстурированной нити / Е.З.Регельман, **Н.В.Рокотов**, В.Р.Горубин, В.С.Михащук // Основные направления и меры по ускорению технического прогресса в создании хлопкопрядильного оборудования: тезисы докладов Всесоюзной конференции. – г.Пенза, 1985. – С.50–51.

58. **Рокотов, Н.В.** Методика автоматизированного расчета и проектирования высокоскоростных нитераскладочных механизмов / Н.В.Рокотов, Е.З.Регельман // Роботехнические системы в текстильной и легкой промышленности: тезисы докладов. – г. Ленинград, 1984. – С.102.

59. **Рокотов, Н.В.** Моделирование на ЭВМ механизма рассеивания нити / Н.В.Рокотов, В.Р.Горубин, Е.З.Регельман // Роботехнические системы в текстильной и легкой промышленности: тезисы докладов. – г. Ленинград, 1984. – С.110.

60. **Рокотов, Н.В.** Исследование механизма рассеивания витков нити методом численного моделирования на ЭЦВМ / Н.В.Рокотов, В.Р.Горубин, Е.З.Регельман // Современная техника и технология хлопчатобумажного пр-ва и перспективы развития отрасли: тезисы докладов. – г. Иваново, 1984. – С.44.

61. Регельман, Е.З. Исследование динамики кулачковых нитераскладочных механизмов / Е.З.Регельман, **Н.В.Рокотов**, Н.К.Солод // Создание прогрессивного оборудования для пр-ва синтетических волокон: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – г. Чернигов, 1982. – т.1. – С.135–137.

62. Регельман, Е.З. Математическое моделирование процессов раскладки химических волокон при наматывании на бобину и укладке в контейнер / Е.З.Регельман, **Н.В.Рокотов**, Е.А.Тупиченков, В.Н.Козлов // Создание прогрессивного оборудования для пр-ва синтетических волокон: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – г. Чернигов, 1982. – т.1. – С.162–164.

63. Регельман, Е.З. Анализ высокоскоростных намоточных и укладочных устройств для приема синтетических нитей / Е.З.Регельман, **Н.В.Рокотов**, Е.А.Тупиченков, В.Н.Козлов // 3-й Международный симпозиум по химическим волокнам: тезисы докладов. – г. Калинин, 1981. – т.3. – С.290-296.

64. Регельман, Е.З. Экспериментальное исследование нитераскладочного механизма / Е.З.Регельман, А.Х.Сарычев, **Н.В.Рокотов** // Опыт исследования быстрого протекания процессов в механике и технике текстильных машин: тезисы доклада конференции. – г.Пенза, 1981. – С.8-9.

65. Регельман, Е.З. Исследование натяжения химических нитей в устройствах для транспортирования и наматывания / Е.З.Регельман, **Н.В.Рокотов**, В.Н.Козлов, Е.А.Тупиченков // Создание прогрессивного оборудования для пр-ва синтетических волокон: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. – г. Чернигов, 1979. – С.116–117.

Статьи в научных сборниках и других журналах,  
депонированные рукописи

66. **Рокотов, Н.В.** О крыльчатых нитераскладчиках / Н.В.Рокотов, Е.З.Регельман, Э.П.Астрейн, С.И.Аль-Лубани // Моделирование систем автоматизации и контроля технологических процессов текстильной и легкой промышленности: межвуз. сб. науч. трудов / СПБИТЛП. – СПб., 1992.

67. **Рокотов, Н.В.** Модуль для наматывания специальных химических нитей / Н.В.Рокотов, Е.Е.Байкова // Системы автоматизации, как элементы гибкого производственного комплекса в текстильной и легкой промышленности: межвуз. сб. науч. трудов / ЛИТЛП им. Кирова. – Л., 1991.

68. Байкова, Е.Е. Замена коноидной передачи на косозубую в механизме сомкнутого прецизионного наматывания / Е.Е.Байкова, **Н.В.Рокотов**, Н.М.Вальщиков // Системы автоматизации как элементы гибкого производственного комплекса в текстильной и легкой промышленности: межвуз. сб. науч. трудов / ЛИТЛП им. Кирова. – Л., 1990.

69. **Рокотов, Н.В.** Определение сил, действующих на нитеводитель машин химических волокон / Н.В.Рокотов, С.Э.Марков, Е.Е.Регельман // ЦНИИТЭИЛегпром. – Л., 1986. – №5 – С.119. – Деп. в ЦНИИТЭИЛегпром, №7602.

70. **Рокотов, Н.В.** Исследование динамики пространственных кулачковых раскладочных механизмов машин для производства синтетических волокон / Н.В.Рокотов, Е.З.Регельман, В.Р.Горубин; Ленинградский техн. институт им. Ленсовета. – Л., 1983. – Деп. в ЦНИИТЭИЛегпром 22.04.83, №736.

71. **Рокотов, Н.В.** Методика расчета расстояния от точки набегания нити на паковку до глазка нитераскладчика / Н.В.Рокотов, В.Н.Козлов // Оборудование для прядильного пр-ва и пр-ва химических волокон / ЦНИИТЭИлегпищемаш. – Л., 1981. – вып.11. – С.16-21. – Деп. в ЦНИИТЭИлегпищемаш.