

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»

На правах рукописи

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  
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, доцент  
Рокотов Николай Викторович

Санкт-Петербург

2024

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ И ПАТЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>9</b>
1.1 Некоторые сведения из теории намотки .....	9
1.2 Обзор патентных источников, посвященных конструкциям нитераскладчиков.....	22
1.3 Обзор работ, посвященных анализу намоточных механизмов ....	35
1.4 Постановка задачи исследования .....	37
<b>ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ .....</b>	<b>38</b>
2.1 Влияние параметров наматывания на сокращение длины паковки .....	38
2.2 Связь сокращения длины паковки с уплотнением на торцах .....	50
2.3 Моделирование процесса разуплотнения на краях паковки .....	57
2.4 Выводы по главе 2 .....	65
<b>ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЖГУТООБРАЗОВАНИЯ.....</b>	<b>66</b>
3.1 Предварительные замечания.....	66
3.2 Исследование эффективности работы механизмов устранения жгутообразования .....	67
3.3 Методика моделирования жгутовой намотки и оценки степени жгутообразования. ....	74
3.4 Выводы по главе 3 .....	87
<b>ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОКРАЩЕНИЯ ДЛИНЫ ПАКОВКИ.....</b>	<b>88</b>

4.1 Цели и задачи эксперимента.	
Описание лабораторной установки.....	88
4.2 Анализ результатов эксперимента .....	91
4.3 Конструкция нового нитераскладочного механизма .....	96
4.4 Выводы по главе 4 .....	101
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>102</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>104</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023682261 «Моделирование работы механизма разуплотнения торцев паковки» .....</b>	<b>117</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023688671 «Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения скорости движения нитеводителя» .....</b>	<b>118</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023688681 «Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения длины раскладки “ribbon8”» .....</b>	<b>119</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023688670 «Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения длины раскладки “ribbon8”» .....</b>	<b>120</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В настоящее время технология намоточного процесса и оборудование, его осуществляющее, претерпевает значительные изменения и совершенствование. 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.

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).

Аналогичными 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 натурного эксперимента на разработанном экспериментальном стенде.

Предложена конструкция нитераскладочного механизма, позволяющего реализовать получение намоточного изделия с равномерно распределённой 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 натуральным экспериментом, обоснование принимаемых 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.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ И ПАТЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Некоторые сведения из теории намотки

Существует огромное количество различных типов текстильных паковок для удовлетворения требований вязания, ткачества, окрашивания, текстурирования, производства швейных ниток, лент, веревок и т. д.

Известно два основных типа паковок: фланцевая паковка и бесфланцевая паковка. Преимущество паковок бесфланцевого типа заключается в том, что они позволяют вытягивать нить за конец во время разматывания в следующем процессе. При разматывании паковок с фланцем необходимо вращать всю паковку. В текстильной промышленности бесфланцевые паковки предпочтительнее и находят более широкое применение.

Намотанные паковки также делятся на три категории в зависимости от того, как нить укладывается на паковку:

- паковка с параллельной намоткой;
- паковка с почти параллельной намоткой;
- паковка с крестовой намоткой.

В первом случае множество нитей уложено параллельно друг другу так, что каждая нить намотана перпендикулярно оси паковки. Использование фланцев в этом случае необходимо для обеспечения устойчивости паковки. Примером такой намотки может быть ткацкий навой. В этом случае нитераскладочный механизм отсутствует. Во второй категории одна или несколько нитей укладываются нитераскладчиком почти параллельно друг другу из-за его медленного перемещения, используемого для заполнения всей длины используемой бобины с фланцем. Третья категория, паковка с крестовой намоткой, обычно состоит из одной нити, которая уложена на паковке под заметным

углом, так что слои нити перекрещиваются друг с другом, обеспечивая устойчивость. Паковка с крестовой намоткой и паковка с почти параллельной намоткой требуют механизма перемещения на намоточной машине, включающего возвратно-поступательное движение, приводимое в действие направляющей или кулачком для каждого шпинделя, или желобкового барабана.

Различают по форме два основных типа паковок с поперечной намоткой: конусные, у которых поверхность паковки сужается к оси, и цилиндрические, у которых поверхность параллельна оси.

Нить можно сматывать из конусной паковки, потянув за один конец. Если нить сматывается с низкой скоростью, она будет скользить по поверхности паковки, и на натяжение при вытягивании в значительной степени влияет трение, особенно когда одна нить перемещается по другой, которая еще не размотана. Если скорость вытягивания нити достаточно высока, нить образует вращающийся шар (баллон), который вращается вокруг оси паковки. Натяжение при разматывании выше из-за центробежного эффекта вращения баллона и претерпевает некоторые колебания, когда точка разматывания перемещается между двумя краями паковки. Когда паковка представляет собой конус, вытягивание осуществляется со стороны меньшего диаметра, а натяжение при разматывании меньше колеблется из-за меньшего сопротивления нити поверхности паковки. Равномерность натяжения разматывания настолько важна, что конусы в целом более популярны, чем цилиндры, для большинства применений.

Рассмотрим некоторые понятия теории намотки и намоточных изделий, изложенные в ГОСТ 28994-91. Текстильные машины и оснастка. Намотка нитей. Термины и определения.

Передающее отношение намотки  $R$  это количество витков нити, намотанных за один ход нитераскладчика в одном направлении. Заметим, если за один ход нитераскладчика намотаны три витка нити, то  $R$  равно 3:1, если шаг

намотки нити постоянный, то  $R$  постоянно для всех слоёв нити, При постоянном угле подъёма винтовой линии значение  $R$  изменяется от слоя к слою, в этом случае  $R$  можно определить для определённого слоя нити данного диаметра паковки. Если намотка характеризуется двумя величинами передаточного отношения, например  $R$  равняется 30:1 и  $R$  равняется 22:1 то это означает что 30 витков намотаны за время хода нитераскладчика вперёд и 22 витка за время обратного хода. На наш взгляд, в отдельных случаях, более удобно определять передаточное отношение намотки одним числом или дробью в числителе которой находится количество оборотов паковки, а в знаменателе количество двойных ходов нитераскладчика, за которое происходит полный цикл намотки. Общепринятое обозначение передаточного отношения намотки  $WR$  (winding ratio).

Плотность паковки есть частное от деления массы  $m$  общего количества витков нити на их объём.

Крестовая намотка — это намотка, при которой витки двух последующих слоёв скрещиваются. Во избежание наложения витков нити один на другой применяют два способа намотки: опережающая и отстающая. При опережающей намотке точка возврата нити располагается впереди точки возврата предыдущего витка по направлению вращения паковки (рисунок 1.1). При отстающей намотке точка возврата нити располагается позади точки возврата предыдущего витка по направлению вращения паковки (рисунок 1.2).

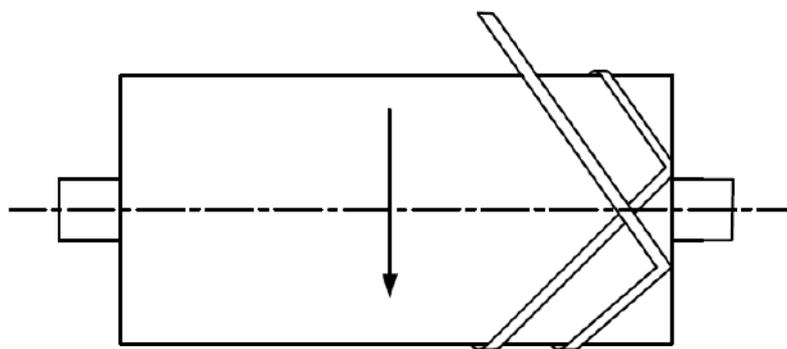


Рисунок 1.1 - Опережающая намотка

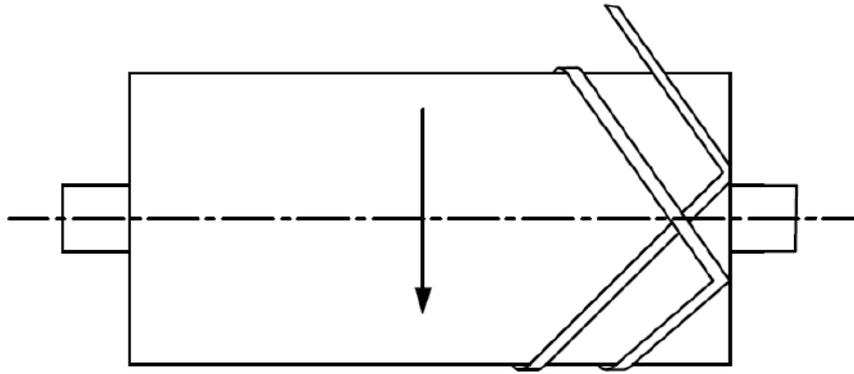


Рисунок 1.2 – Отстающая намотка

Крестовая намотка с постоянным углом, ее также называют беспорядочная намотка (рисунок 1.3).

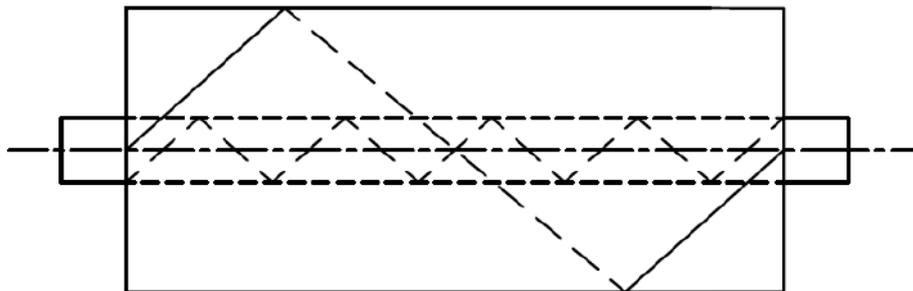


Рисунок 1.3 – Беспорядочная или случайная намотка

Сомкнутая крестовая намотка или намотка с постоянным шагом. В этом случае вращение паковки и возвратно-поступательное движение нити связаны между собой (рисунок 1.4).

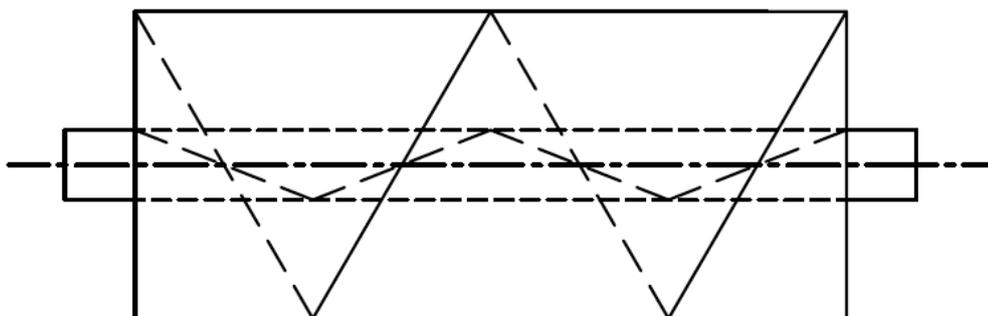


Рисунок 1.4 – Сомкнутая, точная, прецизионная намотка  
с постоянным шагом

Закрытая сомкнутая крестовая намотка — это такая сомкнутая крестовая намотка, в которой расстояние между смежными нитями не превосходит трех диаметров нити. У открытой намотки это расстояние превышает три диаметра нити.

Рассмотрим дефекты, возникающие в процессе намотки.

**Жгут о б р а з о в а н и е .** Если нить повторно уложена поверх или по тому же пути, что и ранее намотанная нить, это дублирование расположения нити на паковке создает дефект, известный как жгутобразование. Это условие возникает, когда передаточное отношение намотки  $WR$  становится целым числом. Очевидно, что некоторое жгутобразование имеет место и при значениях  $WR$ , отличающихся от целого числа на 0,5, 0,25 и т. д.

На практике наблюдается, что жгутобразование проявляется сильнее при малых значениях  $WR$ , таких как 3, 2 или 1. При этих значениях, поскольку паковка относительно велика, скорость изменения диаметра паковки мала, и, следовательно, жгутобразование сохраняется дольше.

Кроме жгутобразования другими возможными дефектами являются следующие.

**Уплотнения на краях паковки .** По краям паковки крестовой намотки, в зонах реверса нити, попадает больше нити, чем в средней ее части. Это происходит из-за неизбежного уменьшения до нуля угла подъема спирали нити на каждом конце паковки. Это приводит к некоторым различиям в плотности паковки по ее длине. Этот дефект приводит к повышенному истиранию нити на краях паковки и к проблемам при крашении в паковках.

**О б р а з о в а н и е « х о р д » .** Витки нити могут проскальзывать при ее развороте раскладки, если она недостаточно натянута для образования стабильной паковки или если поперечная направляющая находится на неправильном расстоянии от поверхности паковки. При этом нить на конце паковки срезает путь из одной точки по окружности в точку дальше по окружности вместо

того, чтобы следовать по изогнутой окружной траектории. Такой дефект может вызвать пики натяжения или обрыв концов во время размотки.

**В з д у т и е .** Мягкие внутренние слои могут быть выдавлены на концах паковки из-за различий в плотности внутренних и наружных слоев паковки.

Эффект, который в англоязычной литературе принято называть «эф-эффектом цветной капусты». Дефект определяет искажение раскладки нити в промежуточных слоях паковки, вызванное давлением, оказываемым на них внешними слоями, если натяжение в этих слоях падает до нуля, это приводит к их изгибу.

**О т с л а и в а н и е .** Слишком низкое натяжение нити или давление фрикциона или прикаточного ролика могут привести к тому, что нить будет спадать с края паковки во время разматывания, что приведет к дефекту, известному как отслаивание. Это более распространенная проблема в случае комплексных нитей.

Рассмотрим более подробно основные методы формирования паковок с крестовой намоткой (см. таблицу 1.1). Известны как было отмечено выше два основных метода изготовления паковок с крестовой намоткой; случайная намотка и прецизионная (точная) намотка. Они имеют разные характеристики и имеют определенные преимущества и недостатки. Есть также несколько относительно новых методов намотки, которые сочетают в себе лучшие черты точной и случайной намотки, такие как Ступенчатая прецизионная намотка (Digisone) и произвольная намотка без жгутообразования (RFR). Два основных процесса намотки описаны ниже.

Схема прецизионного намоточного устройства представлена на рисунке 1.5. Паковка 1 установлена на шпинделе с приводом от двигателя 3. Перемещение нити вдоль оси вращения паковки обеспечивается нитеводителем (на рисунке не показан), который приводится в движение цилиндрическим кулачком 2, соединенным со шпинделем паковки передачей 4 с постоянным передаточным отношением. Шпиндель паковки при прецизионной намотке обычно

имеет постоянную скорость, что приводит к постепенному увеличению окружной скорости паковки по мере того, как паковка становится больше.

Таблица 1.1. Сравнение двух методов намотки паковок

	Прецизионная намотка	Случайная намотка
Зоны жгутообразования	Свободная от жгутообразования	Необходимо использование механизмов для устранения жгутообразования
Плотность паковки	Плотность паковки изменяется с ростом диаметра	Равномерная плотность паковки
Угол намотки	Уменьшается от начального к внешнему диаметру	Постоянен
Плотность намотки	Высокая плотность намотки	Низкая плотность намотки
Геометрия паковки	Точное смещение нити	Неравномерная укладка нити от слоя к слою
Свойства размотки	Хорошие разматывающие свойства	Проблемы в зонах жгутообразования
Технологичность	Сложная система	Простая система

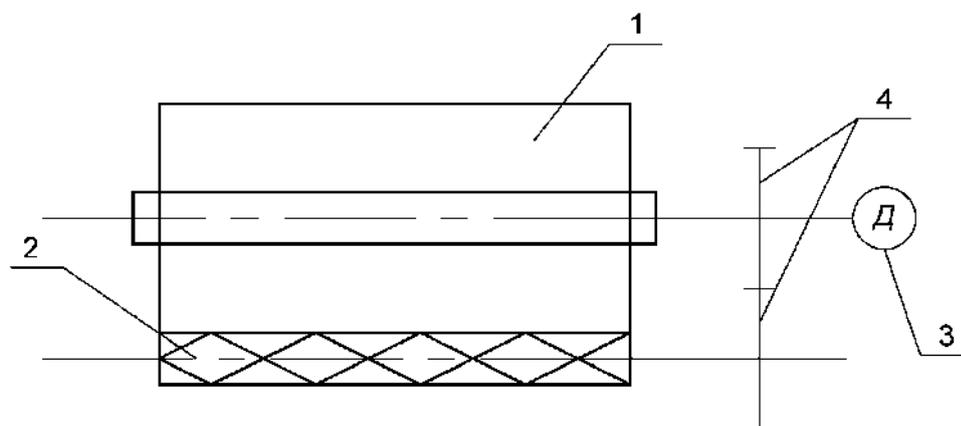


Рисунок 1.5 - Схема прецизионной намотки

Паковка поворачивается определенное количество раз за время каждого двойного хода нитеводителя. Следовательно, передаточное отношение намотки  $WR$  для прецизионной намотки остается постоянным при увеличении диаметра паковки. Одновременно с этим, как можно увидеть на рисунке 1.6,

угол намотки постепенно уменьшается от  $\varphi_{\max}$  до  $\varphi_{\min}$  по мере увеличения диаметра паковки во время намотки. Шаг витков нити  $H$  остается при этом постоянным.

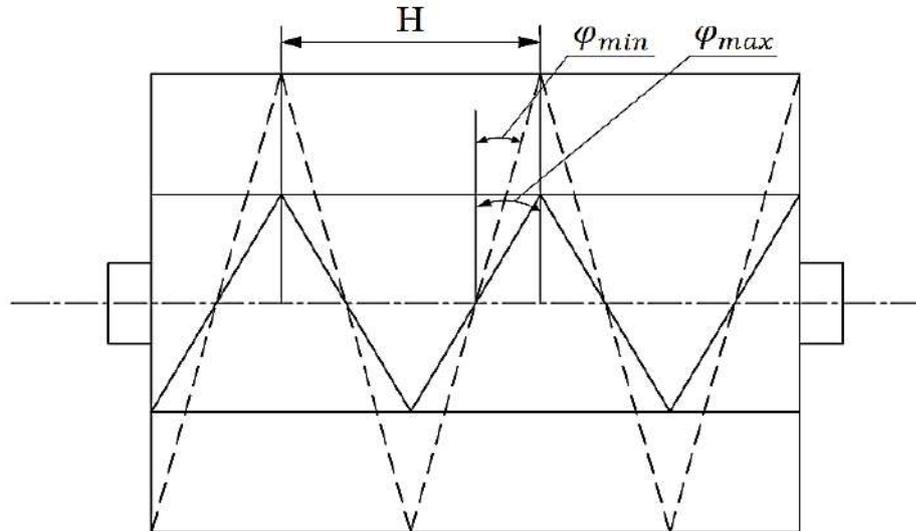


Рисунок 1.6 - Изменение угла намотки в зависимости от диаметра паковки для прецизионной намотки

Основное преимущество прецизионной намотки заключается в том, что  $WR$  в этом типе намотки является постоянной величиной, которая при выборе и установлении подходящего значения позволяет производить паковку с крестовой намоткой без жгутобразования. Целочисленных значений и близких к ним  $WR$ , конечно, избегают.

Другим основным методом изготовления паковок с крестовой намоткой является случайная намотка (рисунок 1.7, а). При случайной намотке шпиндель с паковкой 1 приводится в движение поверхностным трением от намоточного барабана 2 (фрикционного цилиндра), который имеет бесконечную канавку, обеспечивающую поперечное движение нити. Привод намоточного барабана 2 (фрикционного цилиндра) осуществляется от двигателя 3.

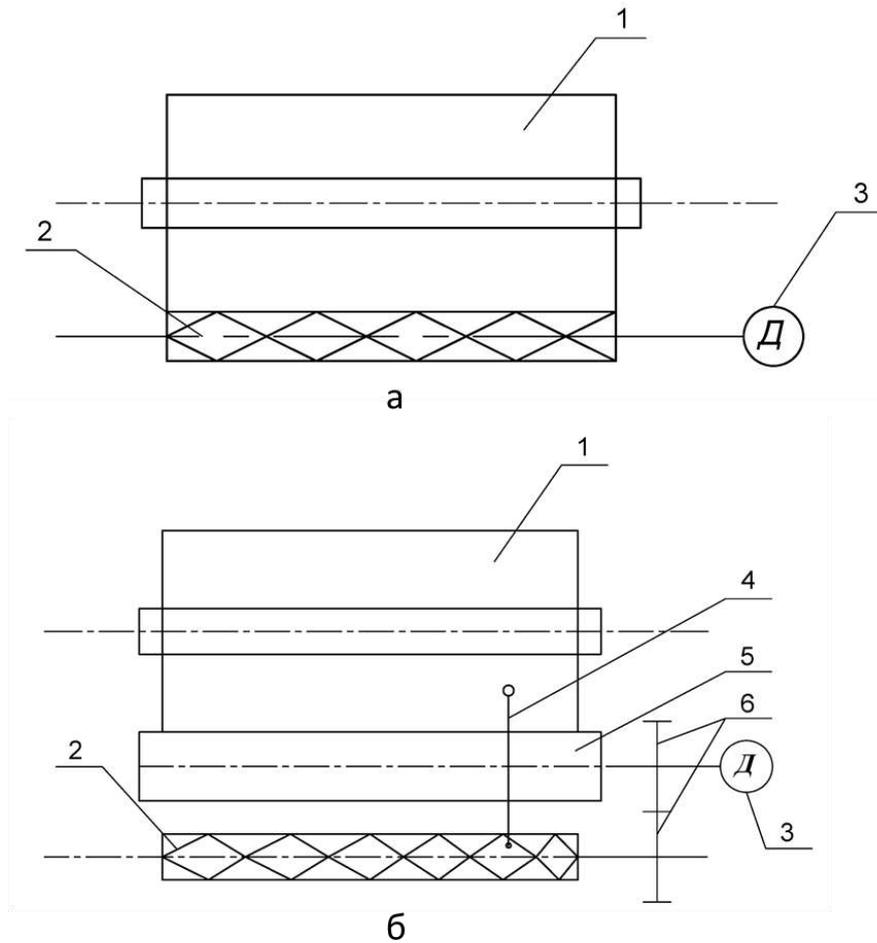


Рисунок 1.7 - Варианты компоновки случайной намотки

Простота описанной выше конструкции заключается в том, что устройство кулачкового типа для перемещения не требуется. Однако канавка вызывает значительное трение нити, поэтому этот тип намоточного устройства подходит только для крученой нити.

Другой вариант конструкции для случайной намотки изображен на рисунке 1.7, б. Здесь паковка 1 приводится в движение гладким цилиндром 5, который вращается с постоянной скоростью от двигателя 3. Отдельный цилиндрический кулачок 2 с входящим в его паз нитеводителем 4 соединен с цилиндром 5 передачей 6 с постоянным передаточным отношением как показано на рисунке. Этот механизм ведет себя идентичным образом, как и базовая случайная намотка, показанная на рисунке 1.7, а.

Еще одно преимущество пазового барабана заключается в том, что наматываемая нить из-за натяжения намотки, легко попадает в канавку без каких-либо дополнительных действий. Это явное преимущество в таких операциях, как очистка нити, где дефектные участки нити должны быть отрезаны, нить заново соединена и намоточное устройство снова приводится в движение. Отсутствие необходимости многократной повторной заправки нити в нитеводитель, привело к использованию намоточного механизма с пазовым барабаном в конструкциях автоматических намоточных устройств.

Так как паковка приводится в движение за счет фрикционного контакта с барабаном, поверхностные скорости барабана и паковки равны. Поскольку скорость привода является постоянной, это позволяет постоянной скорости намотки быть поддерживаемой в течение всего периода намотки паковки.

Угол намотки нити на паковке остается одинаковым при возрастании диаметра паковки, поскольку он определяется соотношением между окружной скоростью паковки и скоростью нитеводителя, которые остаются постоянными в течение всего цикла намотки. Это также способствует равномерной плотности паковки.

С другой стороны, передаточное отношение намотки  $WR$  уменьшается от начального к полному диаметру паковки. Это имеет большое значение для процесса случайной намотки. По мере того, как передаточное отношение намотки  $WR$  постепенно уменьшается, он проходит через ряд целочисленных значений. Как долго число  $WR$  остается близким к целому числу, зависит от скорости изменения диаметра паковки при продолжении намотки. Очевидно, что эта скорость выше при малых диаметрах паковки.

В том случае, когда передаточное отношение намотки  $WR$  достигающего целочисленных значений или становится близким к ним, в этих интервалах последовательно наматываемые витки нити совпадают, что приводит к серьезному дефекту паковки, известному как жгутообразование, как было указано

ранее. Более подробно этот дефект и способы борьбы с ним будет рассмотрен в главе 3.

Жгутобразование влияет на характеристики размотки паковки и на равномерность окрашивания в последующих производственных процессах. Недопущение жгутобразования является крайне важным при случайной намотке. Поэтому все машины, использующие случайную намотку, используют какой-либо метод устранения жгутобразования.

Рассмотрим современные методы намотки без жгутобразования. Как указано выше, каждый метод намотки имеет свои преимущества и недостатки. С внедрением микропроцессорного управления различные типы намоточных машин были реализованы сочетанием лучших характеристик двух основных процессов намотки. Эти методы известны как ступенчатая прецизионная намотка (Digicone) и случайная намотка без жгутобразования (RFR). Они описаны ниже.

Обсудим ступенчатую прецизионную намотку. Основной положительной характеристикой случайной намотки является постоянный угол намотки, а прецизионной намотки - постоянное передаточное отношение намотки  $WR$ , что предотвращает жгутобразование. Эти положительные характеристики случайной и прецизионной намоток объединены в технологии ступенчатой прецизионной намотки, которая позволяет получить паковку без жгутобразования с почти постоянным углом намотки.

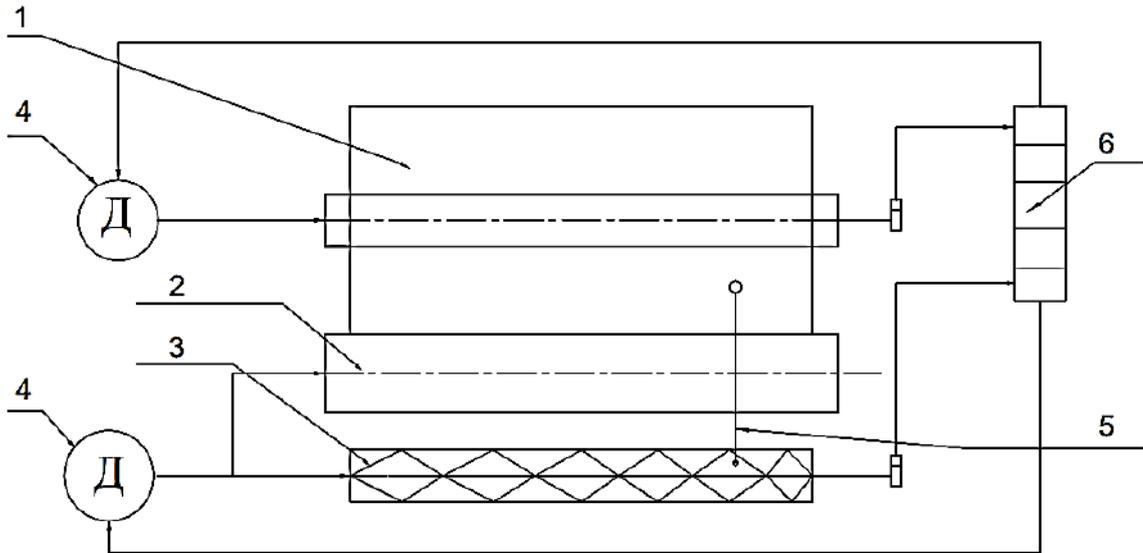


Рисунок 1.9 - Устройство для ступенчатой прецизионной намотки (Digicone)

На рисунке 1.9 схематически показано устройство, используемое в ступенчатой прецизионной намотке. Паковка 1 приводится во вращение соосно установленным двигателем 4. Второй двигатель приводит в действие винтовой барабанчик 3 с входящим в его паз нитеводителем 5. Угловые скорости шпинделя с закрепленной на нем паковкой и винтового барабанчика контролируются энкодерами, подающими сигналы на блок управления 6. В свою очередь блок управления 6 управляет скоростями двигателей 4. В начале намотки паковки передаточное отношение намотки установлено на значение  $WR1$ , при этом угол намотки имеет значение, равное  $\alpha_1$ , соответствующее кривой 1 (рисунок 1.10). По мере продолжения намотки передаточное отношение намотки поддерживается на этом значении, и угол намотки постепенно уменьшается до значения  $\alpha_2$ , соответствующего кривой 2. В этой точке, которая определяется с помощью энкодеров, размещенных на двух шпинделях, как показано, передаточное отношение намотки изменяется так, что угол намотки снова устанавливается на значение  $\alpha_1$ . Это приводит к другому значению передаточного отношения намотки  $WR2$ , что позволяет избежать намотки при целочисленном значении  $WR$  и при этом обеспечивает такое же увеличение угла намотки, как требуется. Описанная выше процедура повторяется до тех пор, пока паковка

не будет намотана до необходимого диаметра. Таким образом, паковка состоит из нескольких переплетенных концентрических слоев, каждый из которых намотан с различным передаточным отношением намотки  $WR$ , но с очень небольшим изменением угла намотки.

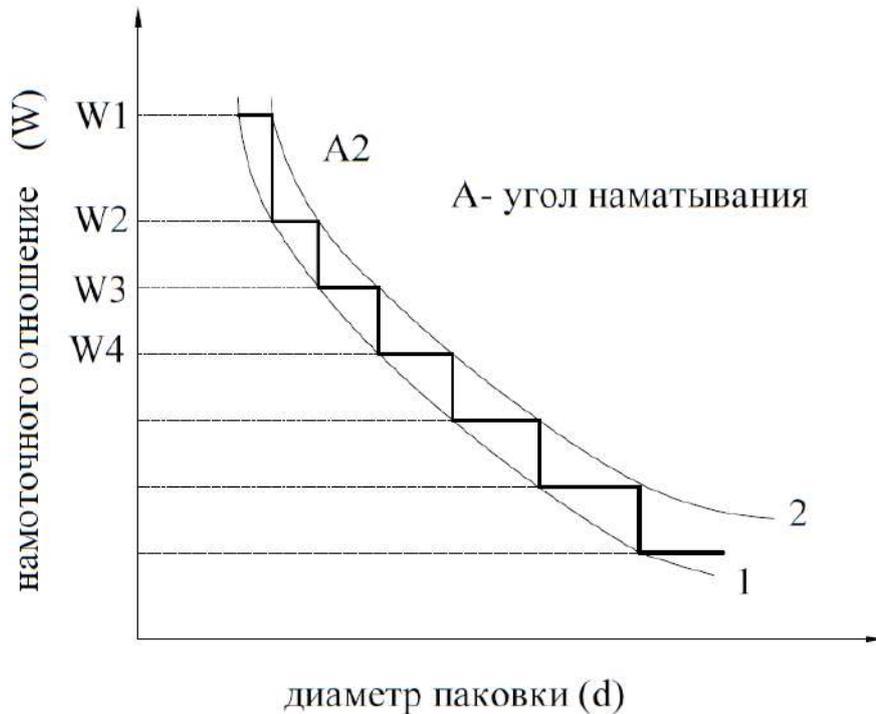


Рисунок 1.10 - Принцип ступенчатой прецизионной намотки

#### Случайная намотка без жгутообразования (RFR)

Этот метод очень похож на основной метод случайной намотки. Разница заключается в изменении передаточного отношения намотки, чтобы избежать критических значений  $WR$ .

Как и в ступенчатой прецизионной намотке, получается паковка с переплетенными слоями, но в этом случае слои имеют два чередующихся значения угла намотки  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Развитие микропроцессорного управления привело к тому, что вышеприведенная конструкция была упрощена за счет полного отказа от механиче-

ского привода с регулируемым передаточным отношением, поскольку желаемые скорости могут быть получены теперь непосредственно с помощью частотно-регулируемых приводов двигателей.

## **1.2 Обзор патентных источников, посвященных конструкциям нитераскладчиков**

Основное влияние на образование торцевых уплотнений паковки оказывает конструкция нитераскладчика и параметры движения, которые он сообщает нитеводителю. Возникновение и интенсивность процесса жгутообразования также определяется характером и соотношением периода его движения и периода вращения паковки. Наиболее отчетливо эти дефекты проявляются при крестовой намотке нитей малой линейной плотности. В настоящей работе рассмотрены конструкции и развитие механизмов раскладки, применяемых на машинах для производства и переработки текстурированной нити. Рассмотрим конструкции нитераскладчиков для намотки текстурированных нитей малой линейной плотности.

Нитераскладчик, нашедший наиболее широкое применение на машинах такого типа, представляет собой сложный узел, состоящий, по существу, из четырех механизмов, выполняющих различные функции и работающих с различными скоростями. Это механизм, сообщающий нитеводителю возвратно-поступательное движение вдоль оси паковки, механизм образования конических торцев паковки (механизм сокращения хода), механизм разуплотнения торцев паковки, или механизм рассеивания витков нити на поверхности паковки и механизм устранения жгутообразования.

Наибольшую скорость имеет механизм, перемещающий нить вдоль оси паковки. В технической патентной литературе описаны механизмы, в которых для привода нитеводителя используются:

- пространственный кулачок,
- кинетическая энергия жидкости или газа,

- энергия электромагнитного поля и другие.

Но механизмы двух последних типов не получили широкого применения из-за сложности конструктивного исполнения, повышенного уровня шума, необходимости создания специальных условий производства и т.д.

На текстурирующих и текстурирующе-вытяжных машинах используются кулачковые раскладочные механизмы, основой которых служит пространственный кулачок, в винтовом пазу которого движется лодочка, закрепленная в ползушке, несущей нитеводитель.

Повышение скорости раскладки нити вызывает увеличение инерционных нагрузок на нитеводитель на участках смены направления его движения (участках реверса). Одним из путей снижения этих нагрузок является увеличение длины переходных участков, а, следовательно, и времени реверса, это приводит к увеличению массы нити, находящейся на краях паковки. Такое явление нежелательно при намотке текстурированной нити малой линейной плотности (до 10 текс), так как в результате уплотнения на краях паковки происходит интенсивный износ и перетирание нитей в местах контакта паковки с фрикционным цилиндром. При сматывании нити с паковки возможно стаскивание крайних витков, а также повышенное трение сматываемой нити об уплотненные места. Кроме того, поскольку текстурированная нить имеет больший объем, по сравнению с гладкой нитью, предъявляются повышенные требования к равномерности распределения массы нити вдоль образующей паковки, характеризующей однородность плотности.

Для получения однородной плотности паковки по длине служит механизм разуплотнения торцев, скорость которого на порядок ниже скорости раскладчика нити.

В основу работы механизма могут быть положены различные принципы, описанные в патентной и технической литературе. Основными из них являются следующие:

- 1) изменение взаимного расположения соседних витков нити на паковке;

- 2) уменьшение длины переходного участка нити на паковке;
- 3) использование осцилятивного движения нитеводителя;
- 4) изменение скорости нитеводителя при постоянной длине его хода.

Разуплотнение торцев паковки может быть достигнуто так же с помощью, так называемой, дифференциальной намотки. Причем разделить механизмы, обеспечивающие дифференциальную намотку и непосредственное разуплотнение торцев паковки довольно трудно. Как правило, эти механизмы состоят из двух раскладчиков нити, соотношение скоростей которых может быть самым различным.

Большей частью при дифференциальной намотке частота вращения кулачка с малым шагом в несколько раз больше частоты вращения кулачка с большим шагом. В механизмах разуплотнения торцев наоборот.

Для механизмов, работающих по первому принципу, характерно то, что часть нити с торцевых участков переносится в среднюю часть паковки. Это достигается двумя способами, В первом случае производят периодическое изменение длины раскладки нити на паковке, за счет сокращения хода нитеводителя; во втором случае за счет качания раскладчика нити или бобинодержателя производят периодическое смещение витков нити вдоль оси паковки при постоянной длине раскладки.

Для реализации второго принципа разуплотнения торцев паковки используются механизмы со специальными профилями переходных участков пространственного кулачка, примером которых может служить гармонический или полиномиальный закон сопряжения винтовых канавок, либо переходные участки, выполненные по сложным кривым, во всех случаях, обеспечивающих ускоренный подход нитеводителя к краевым участкам паковки.

Третий и четвертый принципы разуплотнения торцев паковки реализуются путем изменения формы витка нити. Причем при использовании третьего принципа нитеводителю помимо возвратно-поступательного движения сооб-

щается еще и осцилятивное движение по всей длине его хода. А при использовании четвертого принципа изменение формы витка происходит за счет изменения угла раскладки. При увеличении числа двойных ходов нитеводителя при постоянной величине его хода длина раскладки уменьшается и наоборот. За счет этого происходит разуплотнение торцев паковки. Однако, следует отметить, что реализовать этот принцип возможно только при наличии значительного расстояния между глазком нитеводителя и точкой набегания нити на паковку, что является нежелательным из-за ухудшения структуры намотки, поэтому этот принцип не получил распространения.

На текстурирующе-вытяжных машинах нарабатывают паковки двух типов: цилиндрические и биконусные.

Применение биконусных "торговых" паковок обусловлено необходимостью их транспортировки заказчику, а также условиями дальнейшей переработки нити.

Для наматывания таких паковок служит механизм образования конических торцев. По мере наработки паковки с ростом ее диаметра с помощью этого механизма происходит постепенное сокращение хода нитеводителя. При этом управляющее воздействие от бобинодержателя к нитеводителю раскладочного механизма может передаваться различными способами, например, с помощью специального кулачка, укрепленного на рычаге бобинодержателя. Поскольку рост диаметра паковки происходит сравнительно медленно, скорость механизма сокращения хода очень мала, величина ее на порядок ниже скорости механизма разуплотнения торцев паковки.

Наиболее широкое применение получил нитераскладочный механизм, описанный в патенте Германии [3] (рисунок 1.11). В предлагаемом нитераскладчике нитеводитель 1 закреплен в конце двуплечего рычага 2, смонтированного на ползушке 3, ролик с пальцем 4 которой входит в замкнутый паз пространственного кулачка. Последний обеспечивает возвратно-поступатель-

ное движение ползушке с нитеводителем вдоль направляющего прутка 5. Ролик 6, установленный на пальце на другом конце двуплечего рычага 2, входит в паз направляющей линейки 9, которая смонтирована с возможностью поворота, относительно пальца 8, закрепленного в опоре 7. Направляющая линейка определяет ход движения нитеводителя, если ее угловое положение не изменится, то длина раскладки остается постоянной. Направляющая линейка 9 поворачивается вокруг оси 8 от трехплечего рычага 12 в зависимости от роста диаметра бобины через систему рычагов с одной стороны и от периодического возвратно-поступательного движения штанги 11 с другой стороны. Суммирование двух движений осуществляется на трехплечем рычаге 12, на одно плечо передается перемещение штока 10, контактирующего с кулаком, укрепленным на приклоне бобинодержателя, а на второе плечо передается возвратно-поступательное движение штанги 11 механизма разуплотнения торцев паковки, а третье плечо действует на промежуточный качающийся рычаг 13 с регулируемой точкой передачи усилия на направляющую линейку. Это обеспечивает различную амплитуду движения линейки вследствие различного соотношения плеч в передаточном механизме. Механизм разуплотнения торцев паковки состоит из штанги 11, совершающей возвратно-поступательное движение и жестко закрепленной на ней горки 14, которая взаимодействует с одним из плеч трехплечего рычага. Постоянное силовое замыкание направляющей линейки с передаточным механизмом обеспечивается подпружиненным упором 15.

Основными недостатками данного механизма является сложная система передачи движения направляющей линейке, большое количество возвратно-поступательно движущихся деталей, тяжелый динамический режим привода механизма разуплотнения торцев (приводится с помощью тяжелой двухрядной цепи), повышенный износ направляющих, наличие люфтов в кинематических парах.

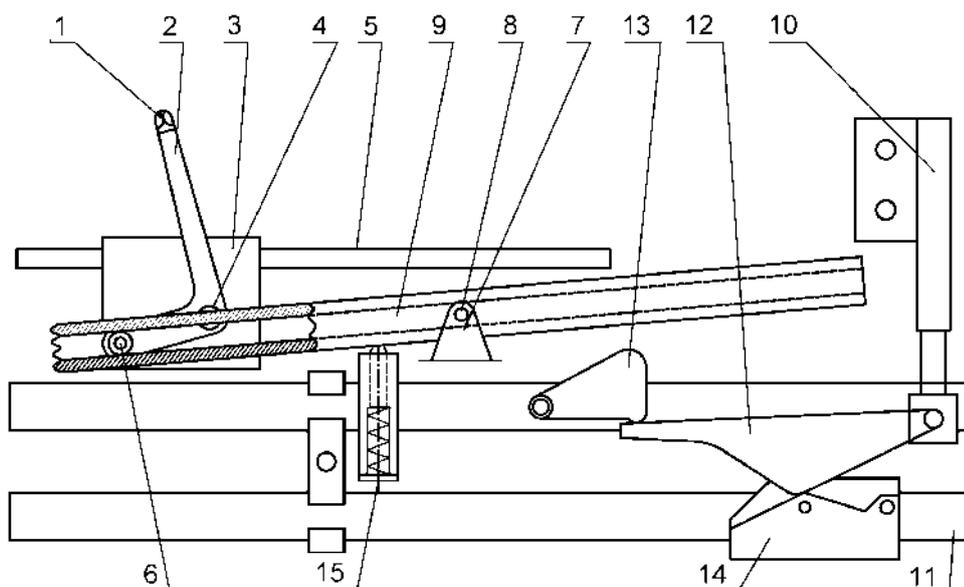


Рисунок 1.11 - Нитераскладчик по патенту ФРГ № 2856014 [3]

На рисунке 1.12 представлена конструкция нитераскладчика [4], который является дальнейшим развитием конструкции на рисунке 1.11. В этой конструкции нитеводитель 3 закреплен на конце трехплечего рычага 2, одна точка которого входит в паз направляющей линейки 1, а вторая закреплена на каретке (не показана), которая движется возвратно-поступательно в соответствии с профилем винтового барабанчика. Направляющая линейка 1 имеет возможность поворота вокруг оси 5 под воздействием тяг 4, обеспечивающих сокращение длины паковки для образования конических торцев и разуплотнение торцев.

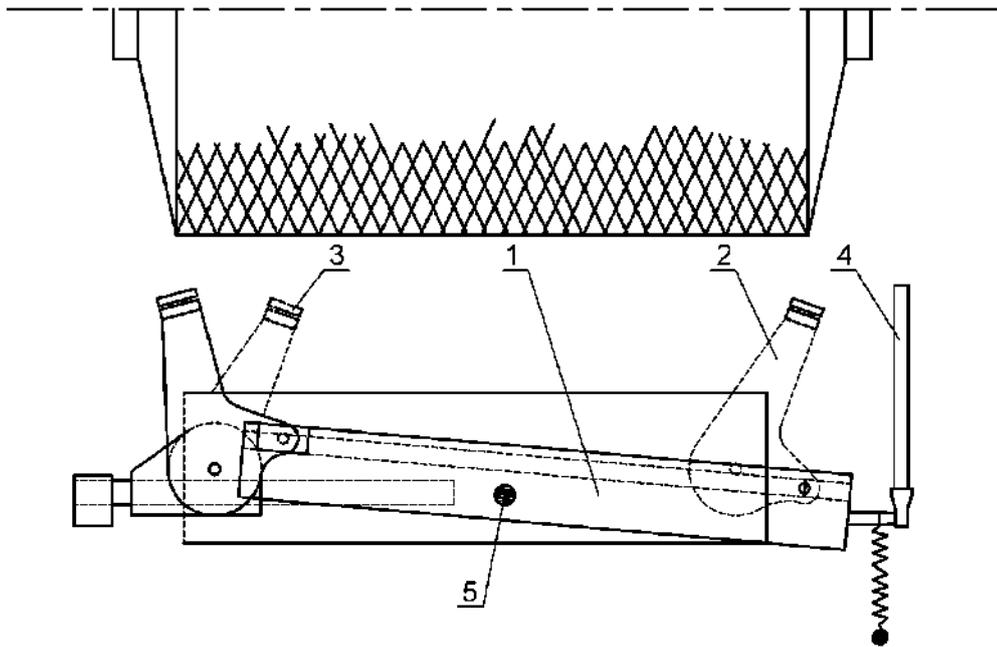


Рисунок 1.12 – Нитераскладчик патент US4767071 [4]

В патенте JP61145075 [5] (рисунок 1.13) предложен так называемый супербарабан, выполняющий функции пазового барабана, приводящий за счет фрикционного контакта паковку и направляющий наматываемую на нее нить. Канавки пазового барабана выполнены таким образом, что длина раскладки изменяется и смещается в осевом направлении несколько раз в течение цикла намотки. За счет этого предполагается уменьшить уплотнения на краях паковки и устранить жгутообразование.

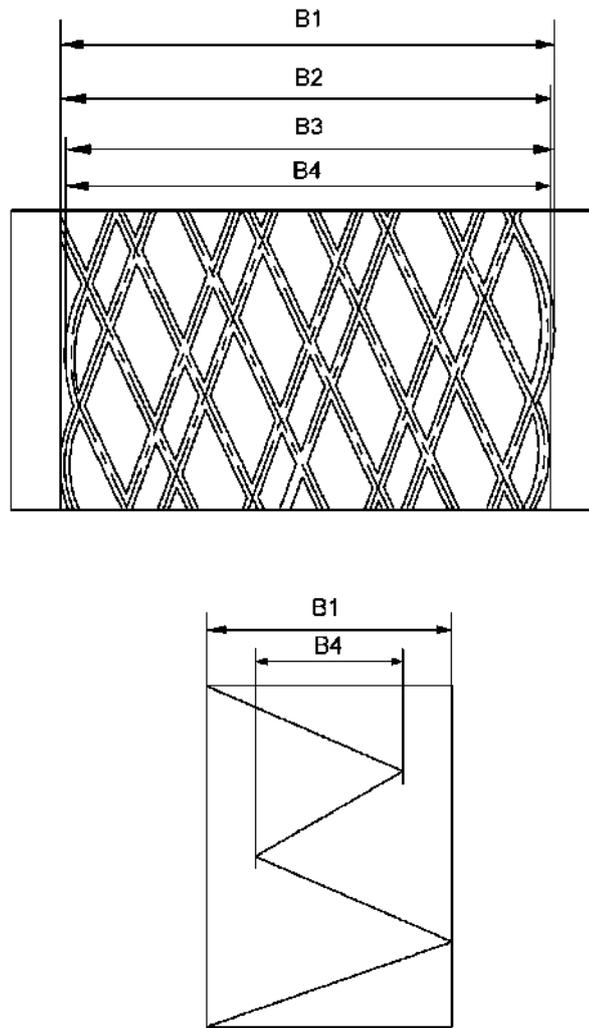


Рисунок 1.13 – Нитераскладчик патент JP61145075 [5]

В патенте US2003116672 [6] предлагается увеличить скорость нитеводителя при подходе к зоне реверса, за счет чего угол наматывания увеличивается как показано на рисунке 1.14. Увеличение угла наматывания приводит к тому, что образующая паковка становится более прочной, а также уменьшаются уплотнения на краях паковки.

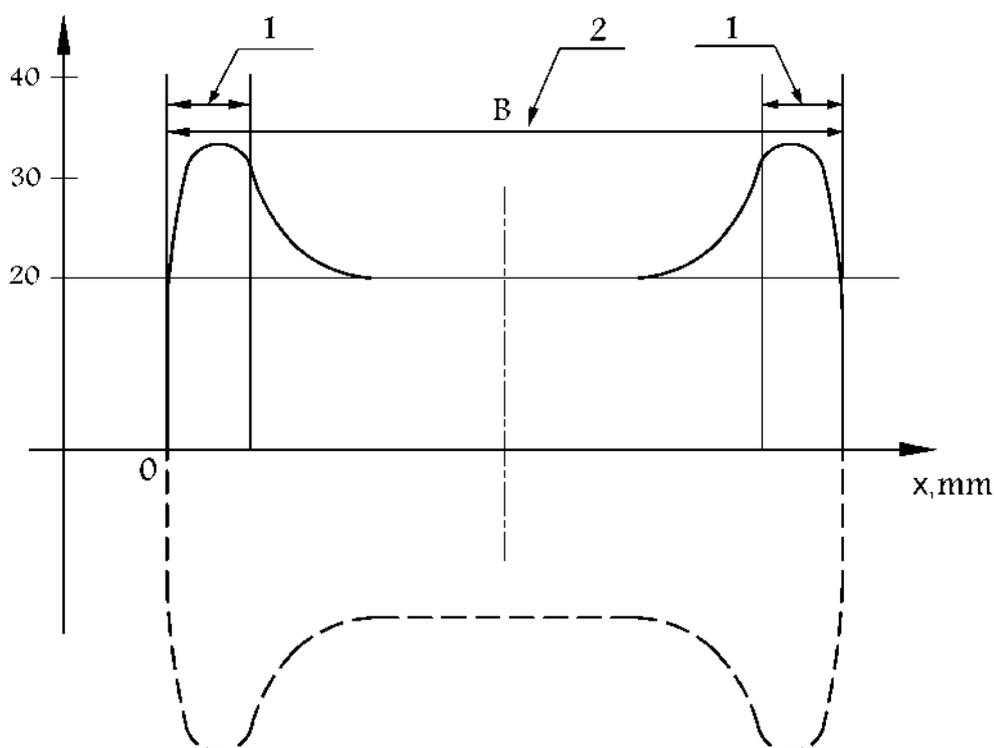


Рисунок 1.14 – Нитераскладчик патент US2003116672 [6]

В настоящее время использование компьютерного управления намоткой расширяется и те операции или движения, которые ранее выполнялись с помощью сложных механизмов, выполняются механизмами с простой структурой, а задача реализации заданного закона движения выполняется с помощью привода с программным управлением от микроконтроллера или компьютера. В качестве двигателей могут быть использованы шаговые или серводвигатели, синхронные двигатели с частотным регулированием или двигатели постоянного тока с регулируемой частотой вращения.

Одним из примеров такого подхода является нитераскладчик по патенту JP2002104730 [7] (рисунок 1.15). Здесь винтовой барабанчик 3, имеющий на своей поверхности канавку 2 приводится во вращение двигателем 5, причем двигатель вращается попеременно по и против часовой стрелки. В канавку 2

барабанчика 3 входит нитеводитель с глазком 4, совершающий возвратно поступательные движения и перемещающий входящую в глазок нить вдоль оси вращающейся паковки.

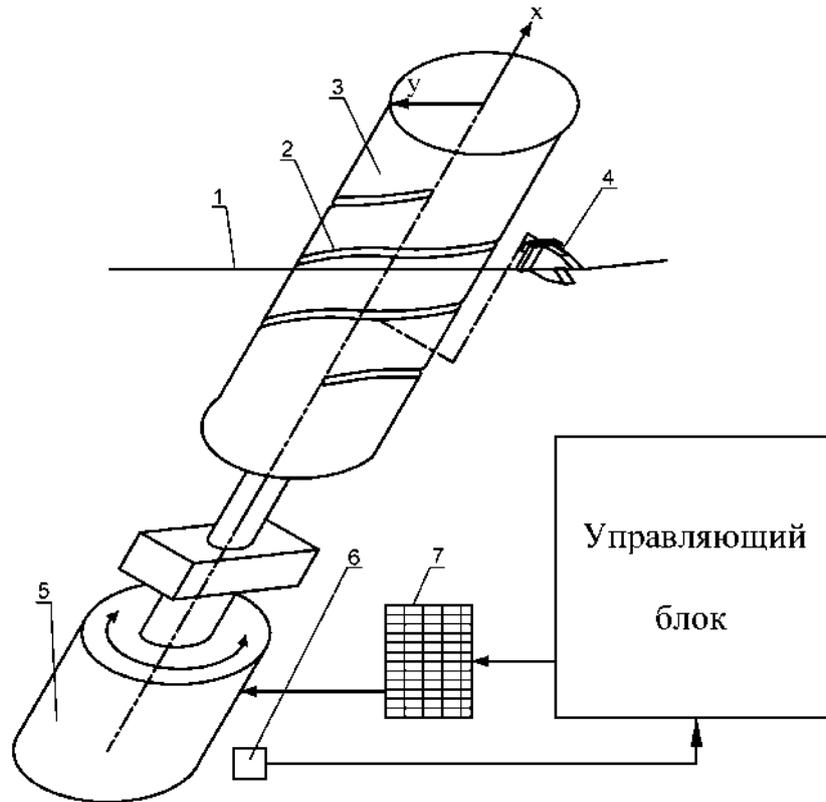


Рисунок 1.15 – Нитераскладчик патент JP2002104730 [7]

Другим примером этого подхода является нитераскладчик по патенту DE102010031705 [8], изображенный на рисунке 1.16. В этом случае нить 1 проходит через глазок нитеводителя 5 и наматывается на паковку 6 с которой находится в контакте прикаточный ролик 7. Нитеводитель 5 закреплен на гибком элементе 3. Контур гибкого элемента 3 совершает движения по и против часовой стрелки, что приводит нитеводитель 5 в возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения паковки 6. Гибкий элемент 3 приводится в движение двигателем 2, управляемым микроконтроллером 8. Для ориентации гибкого элемента 3 параллельно оси вращения паковки 6, он проходит через поддерживающие ролики 4.

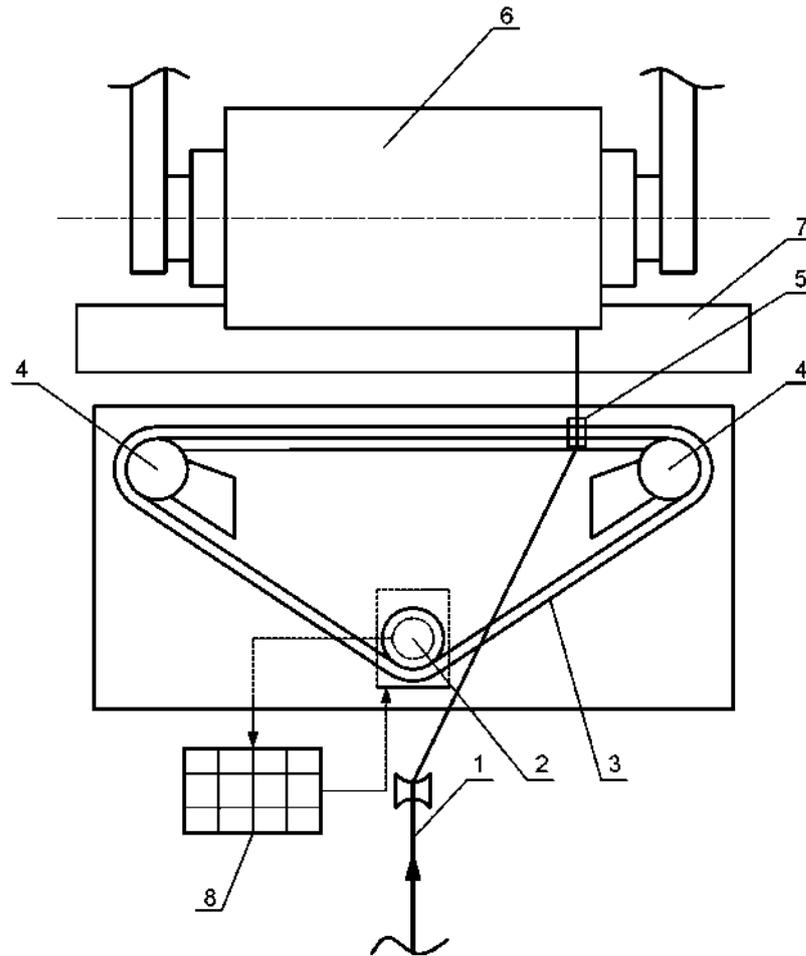


Рисунок 1.16 – Нитераскладчик патент DE102010031705 [8]

На рисунке 1.17 представлено одно из возможных применений этого нитераскладчика для уменьшения уплотнения паковки на торцах [9]. В этом случае ход нитеводителя изменяется за каждый двойной ход как показано на рисунке 1.17. Первый и второй двойной ход происходит с полным размахом TS, третий двойной ход с сокращенным размахом T1, четвертый и пятый двойной ход с полным размахом TS и так далее, как изображено на рисунке. В главе 2 настоящего исследования выполнено моделирование работы механизма разуплотнения торцев паковки выполненного по этому принципу.

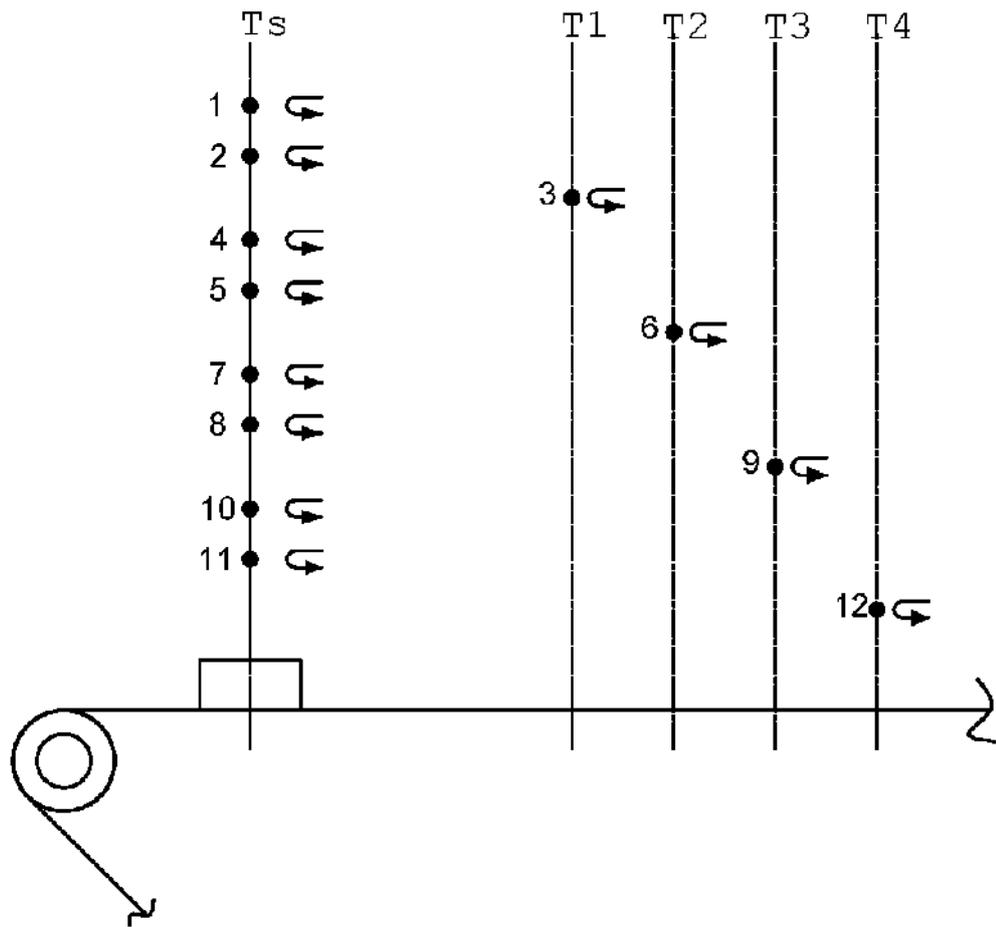


Рисунок 1.17 – Нитераскладчик патент EP3865442 [9]

В патенте JP2016108071 [10] (рисунок 1.18) предложено развитие рассмотренной конструкции нитеводителя для одновременного наматывания нескольких нитей.

В результате рассмотрения и анализа конструкций раскладочных механизмов текстурирующих и текстурирующе-вытяжных машин с 70-х годов 20-го века до наших дней машин показано, что они намного сложнее механизмов, применяемых в других машинах. Они состоят из следующих механизмов: механизма, сообщающего нитеводителю возвратно-поступательное движение вдоль оси паковки; механизма образования конических торцев паковки; механизма разуплотнения торцев паковки или механизма рассеивания витков нити на поверхности паковки и механизма, устраняющего жгутообразование.

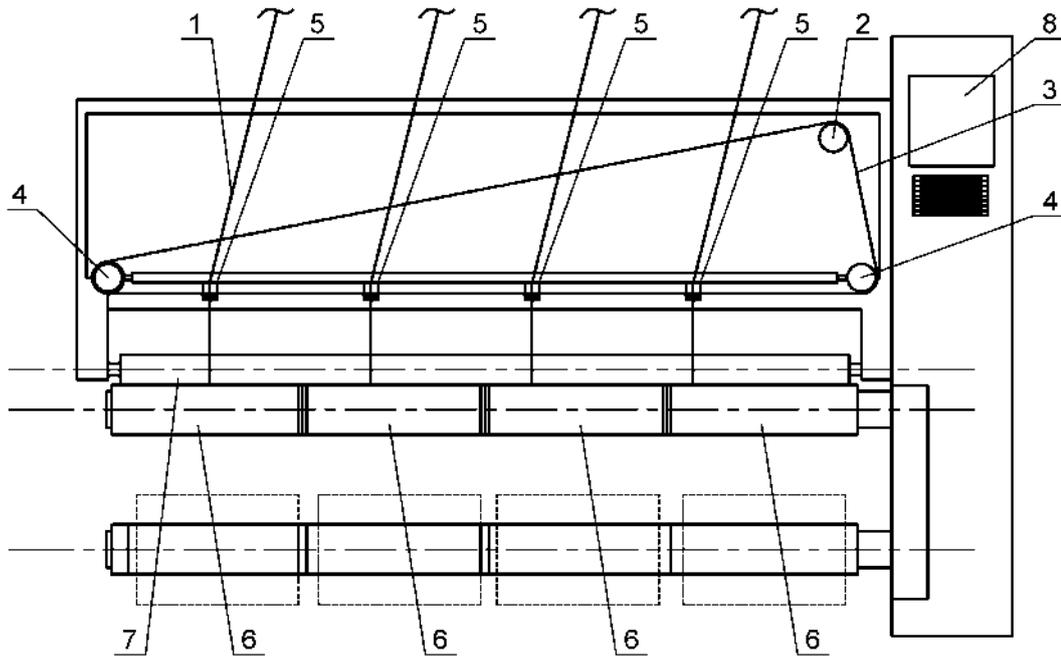


Рисунок 1.18 – Нитераскладчик патент JP2016108071 [10]

В связи с высокими скоростями приема нити раскладка, как правило, осуществляется пространственными барабанчиками, имеющими общий привод от головной передачи. Однако, в связи с тем, что скорость наматывания складывается из окружной скорости бобины и скорости возвратно-поступательного движения, которая уменьшается по мере увеличения диаметра и сокращения хода, скорость наматывания уменьшается и это сказывается на качестве текстурированной нити.

Поэтому заслуживают внимания устройства модульного типа, в которых привод раскладочной коробки осуществляется от фрикционной передачи. Однако такие устройства имеют сложное конструктивное оформление и низкую надежность.

Для образования конических торцев паковок наибольшее распространение получили механизмы сокращения хода с импульсом от движения приклон бобинодержателя по мере увеличения диаметра.

Разуплотнение торцев бобины может быть получено за счет изменения взаимного расположения соседних витков нити. Этот эффект большей частью достигается за счет периодического изменения длины раскладки нити на паковке при помощи направляющей линейки, суммирующей движение от приклоне по мере наработки бобины и механизма рассеивания витков.

Разуплотнение торцев может быть также получено за счет выполнения переходного участка несколько вытянутой формы вдоль оси барабанчика. Однако эффективность такого разуплотнения незначительна.

Разуплотнение при помощи осцилятивного движения нитеводителя по всей длине паковки нашло сравнительно малое распространение так же, как ускоренное движение поворотного нитеводителя, контактирующего по краям паковки с упорами. Проблема заключается в больших динамических нагрузках, возникающих в нитеводителе.

Сегодня наряду с традиционными конструкциями разработаны и принципиально новые, свободные от недостатков традиционных механизмов. Конструкции механизмов упрощаются, а требуемые движения или законы движения отдельных органов выполняются за счет программно-управляемых приводных двигателей.

### **1.3 Обзор работ, посвященных анализу намоточных механизмов**

В работе [1] представлено подробное, исторически тщательно выверенное, описание развития исследований в области технологии намотки и свойств намоточных изделий. Исследования технологии намотки и свойств намоточных изделий в настоящее время проводятся в основном в следующих направлениях:

Исследование механизмов, входящих в состав намоточного устройства, в первую очередь механизмов, приводящих во вращение паковку с наматываемой нитью. В этом направлении следует отметить работы профессора Л.С. Мазина и его учеников [16-20].

Среди работ, посвященных исследованию и совершенствованию механизмов раскладки нити при наматывании следует отметить работы профессоров В.Ф. Прошкова [12, 13, 14], Е.З. Регельмана [11], И.И.Вульфсона [15] и их учеников и последователей.

В настоящее время сфера применения технологии намотки стремительно расширяется, захватывая все новые и новые отрасли благодаря ряду своих положительных качеств. В результате этого процесса к намоточным изделиям предъявляются дополнительные требования, вызванные спецификой их применения. Работы в этом направлении выполнялись профессорами И.Н. Паниным [21-27], Рудовским [28-32] и их учениками.

Тщательному и подробному изучению процесса формирования паковки и определению внутренних давлений в теле намотки посвящены работы И.И. Матюшева, В.А. Сухарева [2].

Изучению дефектов паковок, причин их возникновения и способам борьбы с ними посвящены работы [52, 66, 68, 70, 73, 74]. Изучению и моделированию структур намоточных изделий посвящены работы профессора Н.В. Рокотова и его учеников [33-44].

Исследованию возможности применения намоточной технологии в других областях техники и изучению свойств изделий, полученных методом наматывания посвящены работы [47, 48, 49, 58, 72, 73].

Параметры процесса наматывания такие как натяжение нити, скорость наматывания, угол наматывания и их влияние на качество получаемой паковки посвящены работы [45, 46, 50, 53, 55, 56, 57, 59, 63, 65, 66, 67, 71, 73].

Моделированию процесса наматывания и свойств получаемого намоточного изделия или в некоторых работах цифрового двойника посвящены работы [60, 61, 62, 68, 69, 70].

Однако в результате проведенного литературного и патентного анализа выявилась необходимость дальнейшего изучения и моделирования процесса формирования паковки, возникающими при этом дефектами и способам

борьбы с ними с использованием современных компьютерных технологий. В первую очередь это касается уплотнений паковки на торцах и жгутообразования.

#### **1.4 Постановка задачи исследования**

На основе проведенного исследования состояния вопроса по разработке механизмов для устранения основных дефектов намотки: уплотнений на краях паковки и жгутообразования были поставлены следующие задачи исследования:

— разработать методическое, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для исследования уплотнения паковки на краях и связи величины этого уплотнения с параметрами наматывания, с учетом законов движения нитеводителя;

— разработать методическое, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для определения параметров механизма рассеивания витков нити, для эффективного снижения уплотнений на краях паковки;

— разработать методическое, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для моделирования процесса жгутообразования при случайной намотке, на основе этой модели разработать методику расчета параметров механизма, устраняющего жгутообразование;

— разработать экспериментальный стенд для проведения экспериментальных исследований процесса формирования намоточного изделия с различными параметрами намотки и выполнить оценку достоверности теоретического исследования;

— разработать инженерные рекомендации по выбору конструктивных параметров нитераскладочных механизмов, обеспечивающих устранение указанных дефектов.

## ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

### 2.1 Влияние параметров наматывания на сокращение длины паковки

На крайних участках паковки, как было сказано ранее, возникают зоны увеличенного содержания нити. Это явление вызвано неизбежным уменьшением угла наматывания до нуля при смене направления движения нитеводителя. При контакте с фрикционным цилиндром или прикаточным роликом в этих зонах возникает увеличенная плотность паковки, и увеличенное контактное давление, что может приводить к браку при последующей обработке нитей. Увеличенное давление между паковкой и фрикционным цилиндром вызывает повышенное истирание нитей, что опасно в особенности для нитей малой линейной плотности.

Рассмотрим, как сокращение длины паковки связано с параметрами наматывания [44]. Будем рассматривать два случая: смена направления движения нитеводителя происходит мгновенно (этот вариант интересен тем, что обеспечивает минимальное сокращение длины паковки при заданном угле наматывания); смена направления движения нитеводителя происходит плавно, по закону постоянного ускорения [2] (этот закон близок к закону, выполненному по дуге окружности).

На рисунке 2.1 изображена схема наматывания нити. Нить 3 наматывается на цилиндрическую паковку 1 за счет вращения паковки 1 и возвратно-поступательного прямолинейного движения нитеводителя 2, через глазок (точка *C*) которого проходит нить. После прохождения точки *C* нить 3 проходит расстояние от точки *C* до точки *D*, (точка *D* – соответствует точке набега нити на паковку), и укладывается на поверхность паковки. Введем систему

координат  $OXY$ , причем ось  $OX$  совпадает с осью вращения паковки. При постоянной скорости движения нитеводителя 2 нить на участке  $CD$  образует угол  $\alpha$  с плоскостью, перпендикулярной к оси вращения паковки, этот угол равен углу подъема винтовой линии. Движение точки  $D$  также происходит по прямой линии параллельной линии движения нитеводителя 2, расстояние между которыми равно  $L$ .

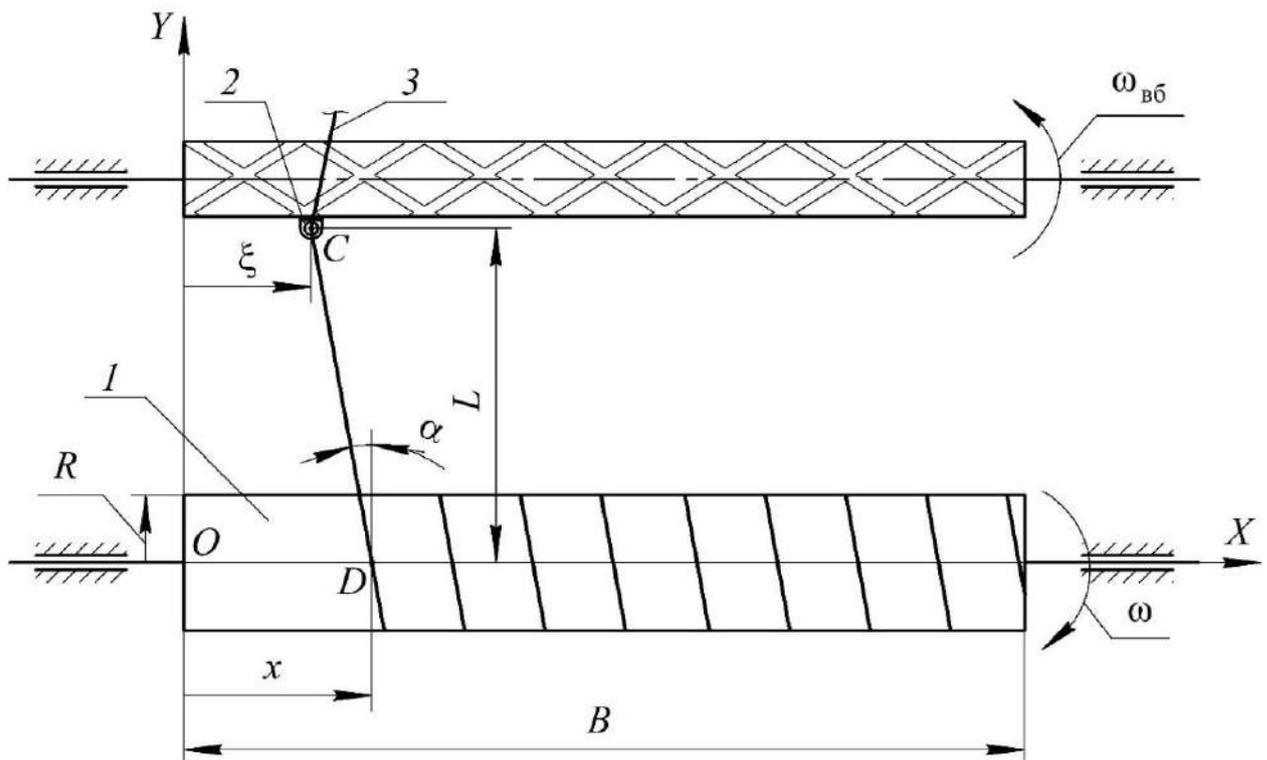


Рисунок 2.1 - Схема наматывания нити

Будем считать нить недеформируемой. Силы, действующие в системе, на первом этапе не учитываем. Уравнение наматывания, то есть уравнение, которое связывает между собой движение нитеводителя 2 и движение точки набегания нити на паковку  $D$  вдоль оси  $OX$ , представляет собой обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка и для наматывания цилиндрической паковки  $I$  с постоянной скоростью при движении нитеводителя 2 по прямой, параллельной образующей паковки  $I$ , будет иметь вид:

$\dot{x} = \frac{\omega R}{L}(\xi(t) - x)$ , где:  $x$  – координата точки набегания нити на паковку вдоль

оси  $OX$ ;  $\omega$  – угловая скорость паковки;  $R$  – радиус паковки;  $\xi(t)$  – координата глазка нитеводителя (вдоль оси  $OX$ ).

После перегруппировки членов уравнения получим:

$$\dot{x} + px = p\xi(t) \quad (2.1)$$

где  $p = \omega R/L = v_{\text{лин}}/L = \text{const}$ ,  $v_{\text{лин}}$  – линейная скорость принимаемой на паковку нити.

Рассмотрим случай, соответствующий мгновенной смене направления движения нитеводителя. Учитывая, что в этом случае нитеводитель движется с постоянной скоростью  $v_r$  (скорость раскладки), можно положить (рисунок 2.2), что:

$$\xi_1(t) = \begin{cases} -v_r(t - 0,5t_r) & \text{при } 0 \leq t < 0,5t_r, \\ v_r(t - 0,5t_r) & \text{при } t \geq 0,5t_r, \end{cases} \quad (2.2)$$

где  $t_r$  – время реверса нитеводителя,  $v_r = \text{const}$  – скорость движения нитеводителя.

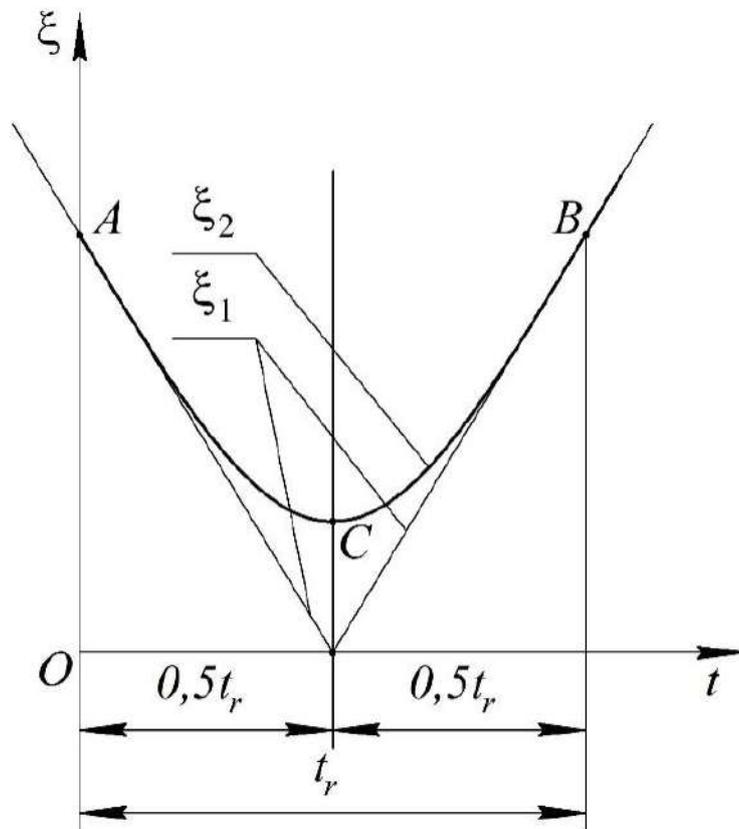


Рисунок 2.2 - Зависимость  $\xi(t)$  на участке реверса

Уравнение наматывания (2.1) с учетом (2.2) можно представить в виде:

$$\dot{x}_1 + px_1 = p\xi_1(t), \quad (2.3)$$

$$\text{при } t = 0, x_1(0) = x_{10}.$$

С учетом (2.2) решение дифференциального уравнения (2.3) можно представить в виде следующей функции:

$$x_1(t) = \begin{cases} -v_r \left( t - \frac{1}{2} t_r \right) + \frac{1}{p} (v_r - C_{11} \exp(-pt)) & \text{при } 0 \leq t < 0,5t_r, \\ v_r \left( t - \frac{1}{2} t_r \right) - \frac{1}{p} (v_r - C_{12} \exp(-pt)) & \text{при } t \geq 0,5t_r, \end{cases} \quad (2.4)$$

Для определения постоянной интегрирования  $C_{11}$  рассмотрим момент времени  $t = 0$ . В указанный момент времени  $\xi_1(0) = 0,5v_r t_r$ , а точка  $D$  (см. рисунок 2.1) находится на расстоянии, равном

$$x_1(0) = \xi_1(0) + L \operatorname{tg} \alpha = 0,5v_r t_r + \frac{L}{\omega R} v_r = v_r \left( \frac{t_r}{2} + \frac{1}{p} \right). \quad (2.5)$$

Рассматривая первое из равенств в (2.4) при  $t = 0$  с учетом (2.5), получим, что

$$\frac{t_r}{2} v_r + \frac{1}{p} v_r - \frac{1}{p} C_{11} = \frac{t_r}{2} v_r + \frac{1}{p} v_r,$$

откуда

$$C_{11} = 0.$$

Таким образом при  $0 \leq t < 0,5t_r$ , величина  $x_1(t)$  определяется равенством

$$x_1(t) = -v_r (t - 0,5t_r) + v_r p^{-1} = v_r (p^{-1} - (t - 0,5t_r)). \quad (2.6)$$

В момент времени  $t = 0,5t_r$  на основании равенства (2.6), найдем, что

$$x_1(0,5t_r) = v_r p^{-1}. \quad (2.7)$$

Для определения величины  $C_{12}$  (см. (2.4)) потребуем, чтобы при  $t = 0,5t_r$  зависимости (2.4) совпадали, т.е.

$$v_r \left( \frac{1}{2} t_r - \frac{1}{2} t_r \right) - \frac{1}{p} \left( v_r - C_{12} \exp \left( -p \frac{1}{2} t_r \right) \right) = \frac{v_r}{p},$$

откуда

$$\frac{1}{p} \left( v_r - C_{12} \exp(-0,5 p t_r) \right) = -\frac{v_r}{p}$$

или

$$C_{12} = \frac{2v_r}{\exp(-0,5 p t_r)} = 2v_r \exp(0,5 p t_r). \quad (2.8)$$

Подставляя (2.6) и (2.8) в (2.4), получим

$$x_1(t) = \begin{cases} v_r \left( \frac{1}{p} - (t - 0,5 t_r) \right) & \text{при } 0 \leq t < 0,5 t_r, \\ v_r \left( (t - 0,5 t_r) - \frac{1}{p} (1 - 2 \exp(-p(t - 0,5 t_r))) \right) & \text{при } t \geq 0,5 t_r. \end{cases} \quad (2.9)$$

Отрезок нити  $CD$  (рисунок 2.1), движущейся от нитеводителя до точки набегания на паковку, имеет наклон в сторону движения нитеводителя под углом, равным углу подъема винтовой линии. Величина этого угла изменяется в период реверса нитеводителя. В момент времени  $t = t_{m1}$ , когда указанный угол равен нулю, координата точки набегания нити на паковку достигает своего крайнего положения. Указанный момент времени соответствует выполнению равенства  $\dot{x}_1(t_{m1}) = 0$ . В соответствии с (2.9) найдем, что

$$\dot{x}_1(t) = \begin{cases} -v_r & \text{при } 0 \leq t < 0,5 t_r, \\ v_r (1 - 2 \exp(-p(t - 0,5 t_r))) & \text{при } t \geq 0,5 t_r. \end{cases} \quad (2.10)$$

Как видно из (2.10), условие  $\dot{x}_1(t_{m1}) = 0$  может быть выполнено при  $t \geq 0,5 t_r$ , т.е. при

$$v_r (1 - 2 \exp(-p(t_{m1} - 0,5 t_r))) = 0,$$

откуда найдем, что

$$t_{m1} = \frac{1}{2} t_r + \frac{L}{\omega R} \ln 2. \quad (2.11)$$

Одностороннее сокращение длины паковки для рассматриваемого случая мгновенной смены направления движения нитеводителя определяется величиной  $S_{m1} = x(t_{m1})$ , т.е.

$$S_{m1} = v_r \frac{L}{\omega R} \ln 2. \quad (2.12)$$

Рассмотрим второй случай, когда смена направления движения нитеводителя (реверс) происходит по закону постоянного ускорения [2]. Для этого случая примем, что

$$\xi_2(t) = a(t - 0,5t_r)^2 + b(t - 0,5t_r) + c,$$

где  $t_r$  – время реверса нитеводителя,  $t_r = \varphi_r / \omega_{вб}$ ,  $\varphi_r$  – угол реверса нитеводителя,  $\omega_{вб}$  – угловая скорость винтового барабанчика,  $a, b, c$  – постоянные коэффициенты, характеризующие зависимость  $\xi_2(t)$ .

Для определения параметров  $a, b, c$ , характеризующих зависимость  $\xi_2(t)$ , представим указанную зависимость на исследуемом участке в виде расчетной схемы на рисунке 2.2. Будем считать, что точки  $A$  и  $B$  соответствует началу и окончанию реверса нитеводителя, точка  $C$  – минимум зависимости  $\xi_2(t)$ . Учитывая, что в точке  $C$  зависимость  $\xi_2(t)$  принимает минимальное значение, а в точках  $A$  и  $B$  тангенс угла наклона касательной к  $\xi_2(t)$  совпадает с величиной  $v_r = h\omega_{вб}/2\pi$ , где  $h$  – шаг канавки винтового барабанчика, получим следующие равенства для определения неизвестных параметров  $a, b, c$ :  $a = v_r/t_r$ ,  $b = 0$ ,  $c = 0,25v_r t_r$ . Зависимость  $\xi_2(t)$  может быть записана в виде.

$$\xi_2(t) = v_r \left( \frac{1}{t_r} (t - 0,5t_r)^2 + \frac{1}{4} t_r \right). \quad (2.13)$$

Уравнение наматывания (2.1) для рассматриваемого случая примет вид:

$$\dot{x}_2 + px_2 = pv_r \left( \frac{1}{t_r} (t - 0,5t_r)^2 + \frac{1}{4} t_r \right), \quad (2.14)$$

$$\text{при } t = 0, x_2(0) = x_{20}.$$

Нетрудно показать, что решение дифференциального уравнения (2.14) может быть представлено в виде

$$x_2(t) = C_2 \exp(-pt) + \frac{v_r}{t_r} \left( t^2 - \frac{pt_r + 2}{p} t + \frac{p^2 t_r^2 + 2pt_r + 4}{2p^2} \right). \quad (2.15)$$

Для определения постоянной интегрирования  $C_2$  рассмотрим начальные условия. В момент времени  $t = 0$ , соответствующий началу реверса нитеводителя, расстояние  $x_2(0) = x_{20} = L_{OD}$  вдоль оси  $OX$  до точки набегания нити на паковку (см. рисунок 2.1) может быть определено по формуле:

$$x_2(0) = \xi_2(0) + L \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{2} v_r t_r + L \frac{v_r}{\omega R} = \frac{1}{2} v_r t_r + \frac{1}{p} v_r. \quad (2.16)$$

Отметим, что равенство (2.16) совпадает с равенством (2.5), т.к. зависимости  $\xi_1(t)$  и  $\xi_2(t)$  при  $t = 0$  совпадают (рисунок 2.2).

При  $t = 0$ , исходя из (2.15), получим:

$$x_2(0) = C_2 + \frac{v_r}{t_r} \left( \frac{p^2 t_r^2 + 2pt_r + 4}{2p^2} \right). \quad (2.17)$$

На основании равенств (2.16) и (2.17) получим следующее уравнение относительно неизвестной величины  $C_2$ :

$$C_2 + \frac{v_r}{t_r} \left( \frac{p^2 t_r^2 + 2pt_r + 4}{2p^2} \right) = \frac{1}{2} v_r t_r + \frac{1}{p} v_r,$$

откуда найдем:

$$C_2 = -2 \frac{v_r}{p^2 t_r}. \quad (2.18)$$

С учетом (2.18) равенство (2.15) примет вид

$$x_2(t) = \frac{v_r}{p^2 t_r} \left( 2(1 - \exp(-pt)) + p^2 t^2 - (pt_r + 2)(pt - 0,5pt_r) \right). \quad (2.19)$$

Также, как и ранее рассмотрим задачу определения момента времени  $t = t_{m2}$  при котором точка набегания  $D$  (рисунок 2.1) меняет направление движения вдоль оси  $OX$  после реверса нитеводителя. В момент времени  $t = t_{m2}$

угол наклона линии  $CD$  равен нулю, а координата точки  $D$  соответствует крайнему положению нити на паковке. Указанный момент времени соответствует выполнению равенства  $\dot{x}_2(t_{m2})=0$ . С учетом выражения (2.19) получим следующее уравнение для определения величины  $t_{m2}$ :

$$\left(-\frac{2v_r}{pt_r}\right)t_{m2} + \frac{2v_r - 2v_r \exp(-pt_{m2}) + v_r pt_r}{p^2 t_r} = 0$$

или

$$1 - \exp(-pt_{m2}) + 0,5pt_r - pt_{m2} = 0. \quad (2.20)$$

Полученное уравнение является нелинейным относительно неизвестной величины  $t_{m2}$ . Его решение может быть получено, например, с использованием численных методов. Для оценки количества корней уравнения (2.20) перепишем его в виде:

$$1 - \exp(-pt_{m2}) = p(t_{m2} - 0,5t_r). \quad (2.21)$$

Как видно из (2.21) корни уравнения (2.20) представляют собой точки пересечения функции  $f_1(t_m) = 1 - \exp(-pt_m)$  с прямой  $f_2(t_m) = p(t_m - 0,5t_r)$ . Так как  $p > 0$ , то зависимость  $f_1(t_m)$  на участке изменения  $t_m < 0$  монотонно возрастает с ростом  $t_m$  (рисунок 2.3). При  $t_m = 0$  функция  $f_1(0) = 0$ , а при  $t_m \rightarrow +\infty$  зависимость  $f_1(t_m) \rightarrow 1$ . Зависимость  $f_2(t_m) = p(t_m - 0,5t_r)$  описывает прямую, пересекающую ось ординат в точке  $(0; -0,5pt_r)$ , причем тангенс угла наклона прямой положительный и равен  $p > 0$ .

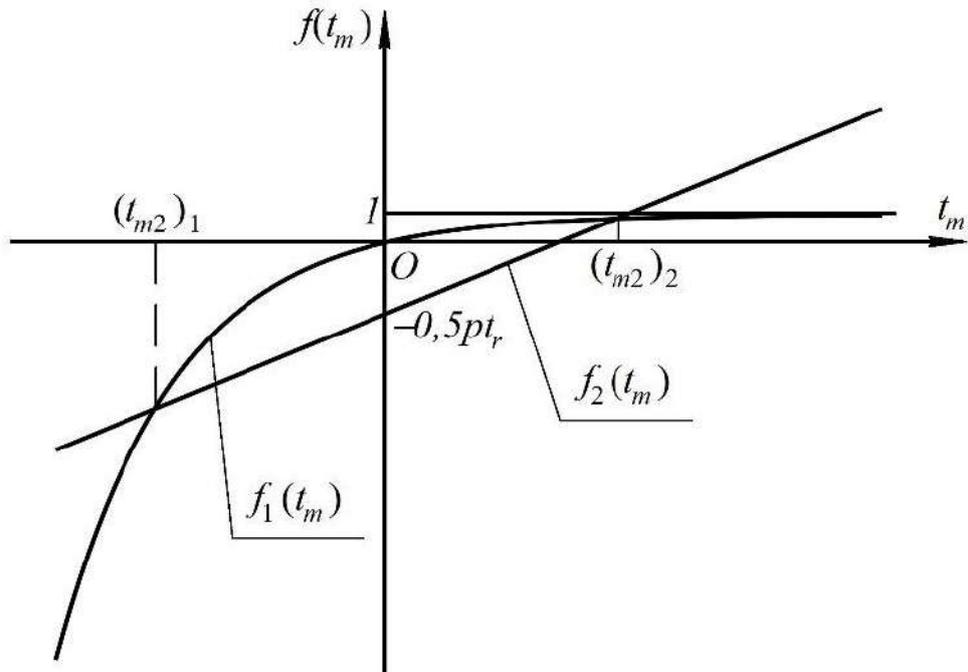


Рисунок 2.3 - Зависимости  $f_1(t_m)$  и  $f_2(t_m)$

Как видно из рисунка 2.3 в рассматриваемом случае возможны две точки пересечения прямой  $f_2(t_m)$  с графиком функции  $f_1(t_m)$ . При этом первый корень  $(t_{m2})_1$  является отрицательным, что недопустимо. Искомое значение  $t_{m2} > 0$  находится в интервале  $t_{m2} \in [0,5t_r; (t_{m2})_{\max}]$ , где  $(t_{m2})_{\max}$  – величина, соответствующая пересечению  $f_2(t_m)$  с прямой  $f(t_m) = 1$ . Значение  $(t_{m2})_{\max}$  может быть определено из уравнения:

$$p((t_{m2})_{\max} - 0,5t_r) = 1,$$

откуда

$$(t_{m2})_{\max} = \frac{1}{2}t_r + \frac{1}{p} = \frac{1}{2}t_r + \frac{L}{\omega R}. \quad (2.22)$$

Величина  $(t_{m2})_{\max}$  позволяет аналитически оценить значение  $t_{m2}$ , не прибегая к необходимости численного решения нелинейного уравнения (2.20). Следует отметить, что равенство (2.22) отличается от ранее полученного выражения для вычисления  $t_{m1}$  (2.11), отсутствием множителя  $\ln 2$  во втором слагаемом.

Одностороннее сокращение длины паковки для рассматриваемого случая смены направления движения нитеводителя, движущегося на участке реверса с постоянным ускорением, определяется величиной  $S_{m2} = x_2(t_{m2})$ , которая может быть вычислена после определения  $t_{m2}$  с использованием равенства (2.19).

Блок-схема алгоритма программы моделирования сокращения длины паковки [44] представлена на рисунке 2.4.

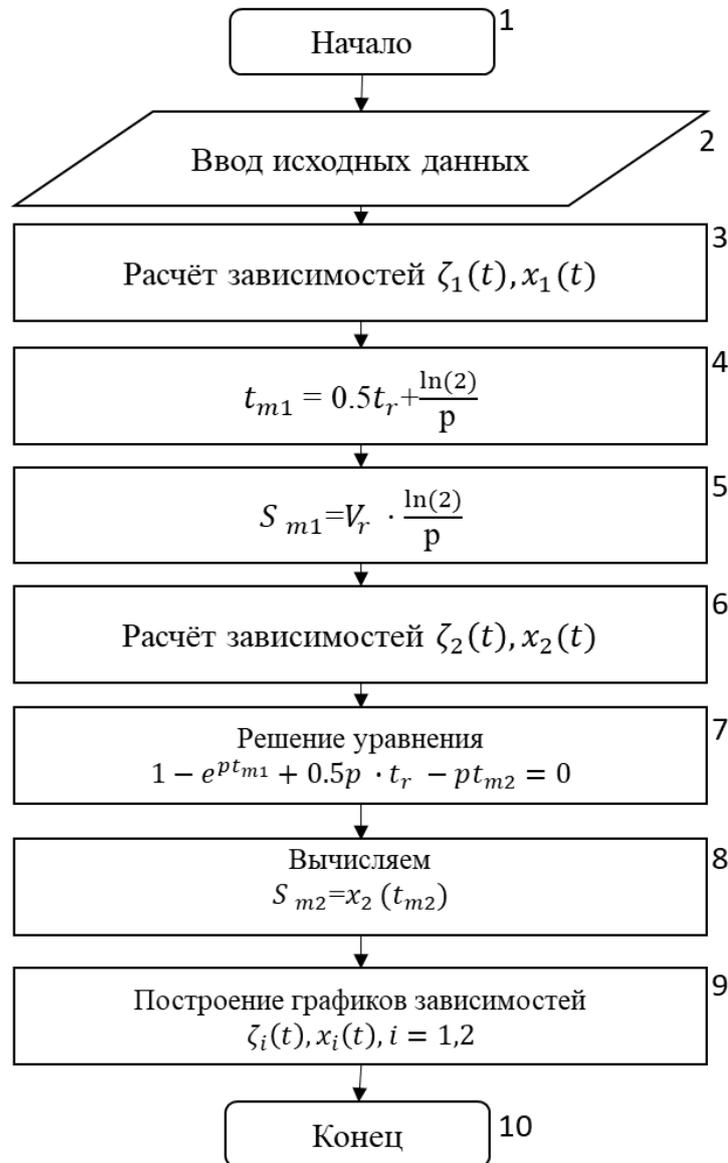


Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритма программы моделирования сокращения длины паковки

На рисунке 2.5 в качестве примера представлены зависимости  $\xi_i(t)$  и  $x_i(t)$ ,  $i=1,2$  полученные с помощью разработанной в среде MATLAB программы [44] при следующих значениях исходных данных:  $L=0,01$  м,  $v_{\text{лин}}=10,0$  м/с,  $\varphi_r=\pi/2$ ,  $\omega_{\text{вб}}=500$  с<sup>-1</sup>,  $h=62,5\cdot 10^{-3}$  м. Как видно из рисунка 2.5 величины  $t_{m1}$  и  $S_{m1}$  в случае мгновенного изменения направления движения нитеводителя меньше аналогичных значений, полученных для случая движения нитеводителя на участке реверса с постоянным ускорением.

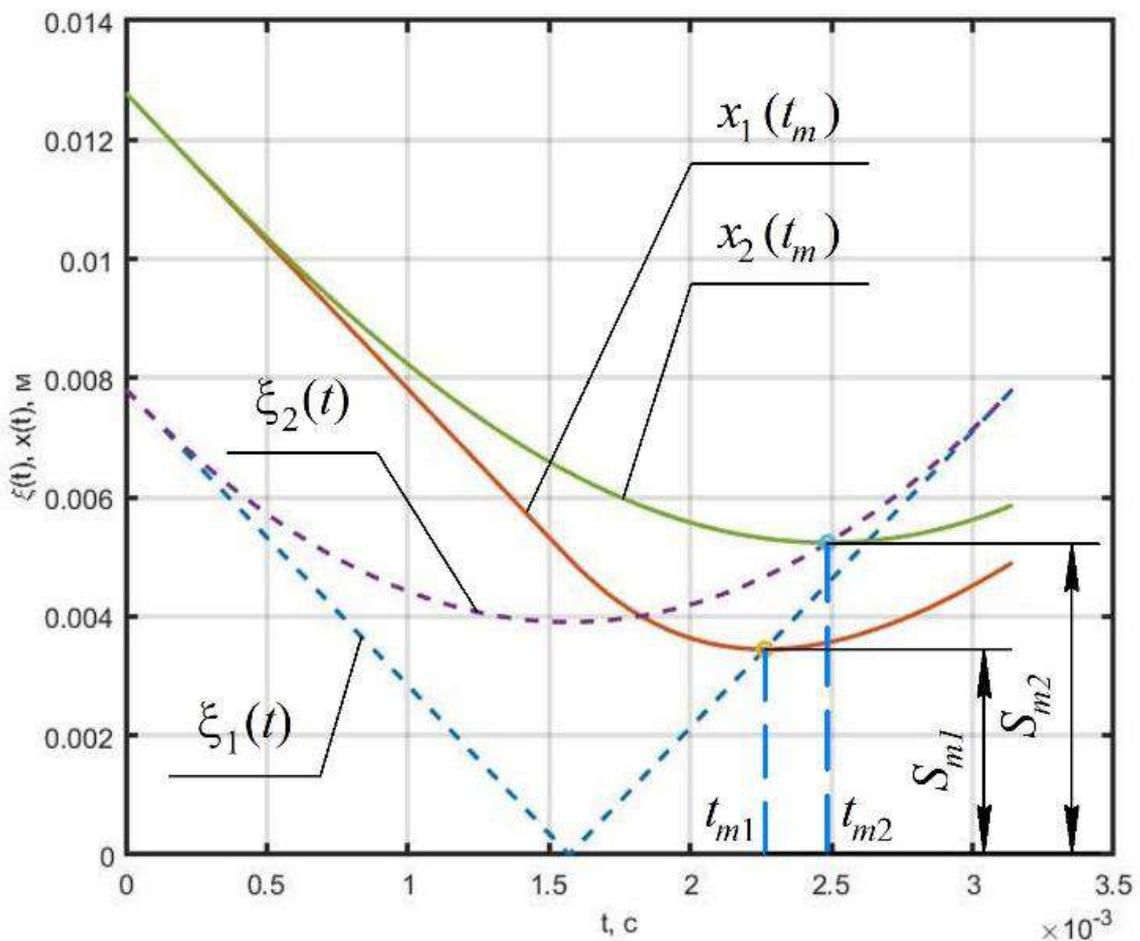


Рисунок 2.5 - Зависимости  $\xi_i(t)$ ,  $x_i(t)$ ,  $i=1,2$

Как следует из равенства (2.12) одностороннее сокращение длины паковки  $S_{m1}$  в случае мгновенного изменения направления движения нитеводителя прямо пропорционально величинам  $L$  и  $v_r$  (а, следовательно, и  $\omega_{\text{вб}}$ ) и обратно пропорциональна линейной скорости  $v_{\text{лин}}$  приема нити на паковку.

На рисунке 2.6 представлены графики зависимостей  $S_{m2}(\omega_{вб})$  при различных значениях величины  $L \in [0,01; 0,08]$  м, для значений:  $\varphi_r = \pi/4$  (см. рисунок 2.6, а),  $\varphi_r = \pi/2$  (рисунок 2.6, б),  $\varphi_r = 3\pi/4$  (рисунок 2.6, в),  $\varphi_r = 3\pi/2$  (рисунок 2.6, г).

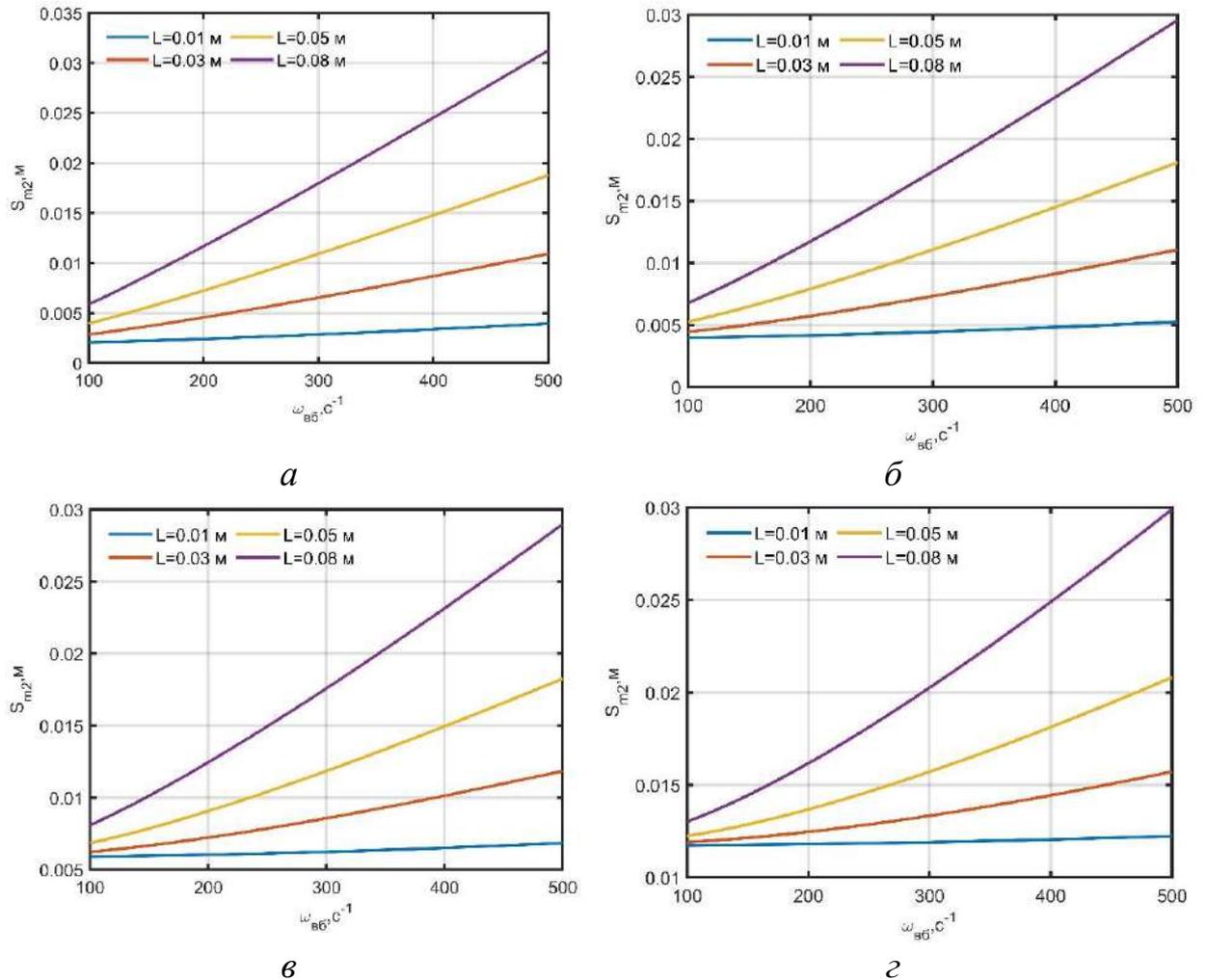


Рисунок 2.6 – Зависимости  $S_{m2}(\omega_{вб})$

Как следует из представленных графиков, при малых значениях величины  $L$  (например, при  $L = 0,01$  м) зависимость  $S_{m2}(\omega_{вб})$  остается практически постоянной. При увеличении параметра  $L$  зависимость  $S_{m2}$  существенно возрастает с ростом угловой скорости  $\omega_{вб}$  винтового барабанчика. Таким образом, в случае движения нитеводителя на участке реверса по закону с посто-

янным ускорением, величина  $t_r$  оказывает существенное влияние на одностороннее сокращение длины паковки при больших значениях расстояния между нитераскладчиком и паковкой.

Полученные аналитические зависимости для определения сокращения длины паковки в зависимости от параметров наматывания и характера реверса нитеводителя могут быть использованы в дальнейшем для совершенствования приемно-намоточных механизмов.

## 2.2 Связь сокращения длины паковки с уплотнением на торцах

При наматывании паковок крестовой намотки на краях паковки в зоне реверса нитеводителя, как было сказано ранее, возникают зоны с избыточным количеством нити, вызванные изменением угла наматывания до нуля. В настоящей главе рассматривается задача математического моделирования процесса уплотнения нитевидного материала (далее нить) на торцах паковки в зонах реверса нитеводителя, а также анализа периодического изменения хода нитеводителя, используемого для борьбы с этим нежелательным явлением [75].

Представим развертку отрезка  $A_1A_5$  нити на паковке в зоне реверса нитеводителя в виде, показанном на рисунке 2.7, где:  $OXY$  – неподвижная система координат, ось  $OX$  которой параллельна оси вращения паковки;  $S_m$  – одностороннее сокращение длины паковки, вызванное реверсом нитеводителя;  $\alpha$  – угол подъема витка, укладываемой на паковку нити;  $h$  – ширина уплотненного участка нити на паковке;  $B, D$  – длина и диаметр паковки соответственно. Выделим на рассматриваемом участке нити дугу  $A_2A_4$ , соответствующую реверсу нитеводителя, при котором угол  $\alpha$  сначала уменьшается до нуля (на участке  $A_2A_3$ ), а затем увеличивается на участке  $A_3A_4$  до  $\alpha = \text{const}$ . В первом приближении, имея в виду малость указанного участка, примем, что нить на торцах паковки расположена по дуге окружности радиуса  $R$ .

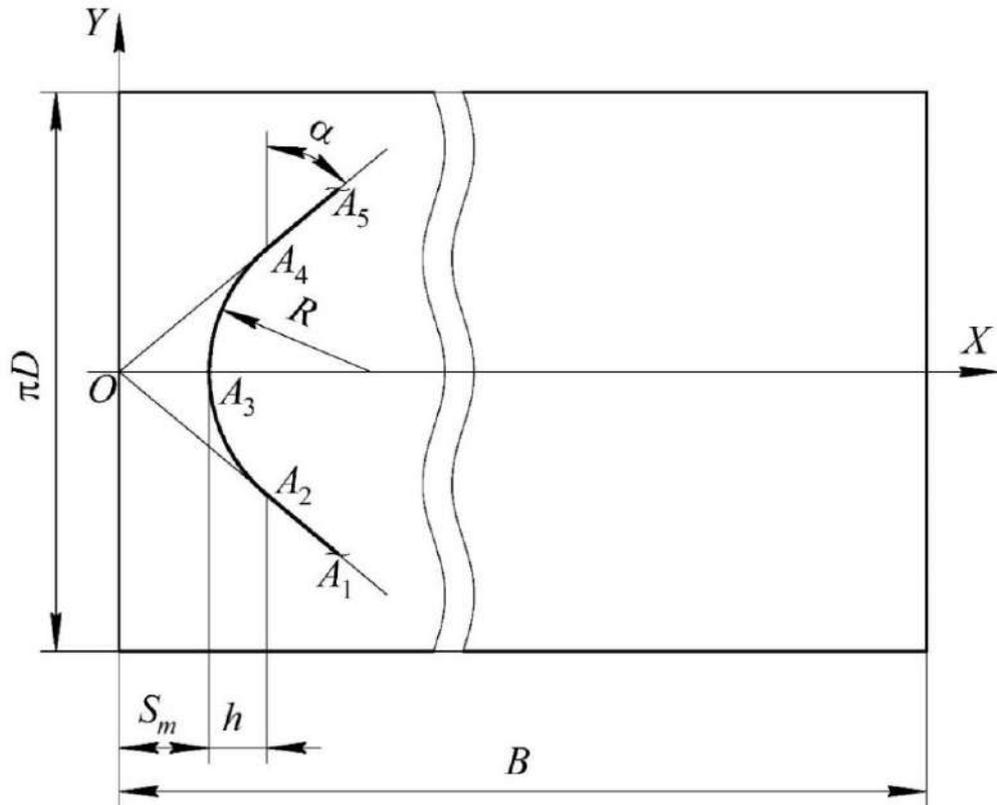


Рисунок 2.7 - Связь радиуса дуги и сокращения длины паковки

С учетом сделанных предположений и обозначений (рисунок 2.7) можно показать, что:

$$R = \frac{S_m \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}. \quad (2.23)$$

Длина  $h$  уплотненного участка паковки может быть определена из выражения:

$$h = R(1 - \cos \alpha),$$

или, с учетом (2.23)

$$h = S_m \cos \alpha.$$

Тангенс угла подъема винтовой линии нити можно выразить через параметры наматывания:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_r}{v_s}, \quad (2.24)$$

где:  $v_r$  – скорость движения нитеводителя на участке равномерного движения;

$v_s$  – окружная скорость вращения паковки.

Учитывая, что  $\cos \alpha = 1/\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$ , окончательно получим:

$$R = \frac{S_m}{\sqrt{1 + v_r^2 v_s^{-2}} - 1}. \quad (2.25)$$

Равенство (2.25) позволяет определить радиус дуги, по которой располагается нить при реверсе нитеводителя в зависимости от одностороннего сокращения длины паковки  $S_m$  и основных параметров наматывания.

Рассмотрим связь между радиусом  $R$  дуги, по которой располагается нить и уплотнением паковки на торце [11, 75]. На паковку возможно наматывание нитей различного сечения. Удобно выделить два варианта формы сечения нити — это окружность или прямоугольник. Первый вариант описывает материал типа монопить, пряжа и т.п. Второй вариант лучше описывает комплексную нить, состоящую из многих филаментов. В процессе анализа уплотнения паковки на торцах будем считать, что форма сечения нити не изменяется по длине. Не учитываются, также, силы натяжения, считаем, что витки нити после укладывания на паковку не перемещаются.

На рисунке 2.8 представлена расчетная схема участка нити на развертке паковки, соответствующая случаю сечения нити в виде окружности, имеющей диаметр  $d$ . Проанализируем уплотнение на торце паковки в зоне реверса нитеводителя для рассматриваемого случая. Введем неподвижную систему координат  $OXYZ$  (рисунок 2.8), ось  $OX$  которой параллельна оси вращения паковки и проходит вдоль плоскости развертки поверхности паковки (начало системы координат - точка  $O$  соответствует началу отсчета от края паковки). Как следует из расчетной схемы (рисунок 2.8), форма сечения нити вдоль оси  $OX$  изменяется в зависимости от величины  $x$ . При удалении от значений  $x = S_m + 0,5d$  форма сечений нити, например плоскостями  $Q_1$  и  $Q_2$ , представляет собой эллипсы, длина малой полуоси которых равна радиусу  $r$  нити. Максимальная по площади форма сечения нити наблюдается в плоскости  $Q_3$  при  $x = S_m + 0,5d$ . При  $x = S_m + 0,5d$  — форма сечения нити (в плоскости  $Q_3$ )

близка к двум эллипсам, большая полуось которых  $a = \sqrt{rR}$ , а малая полуось  $b = 0,5d = r$ .

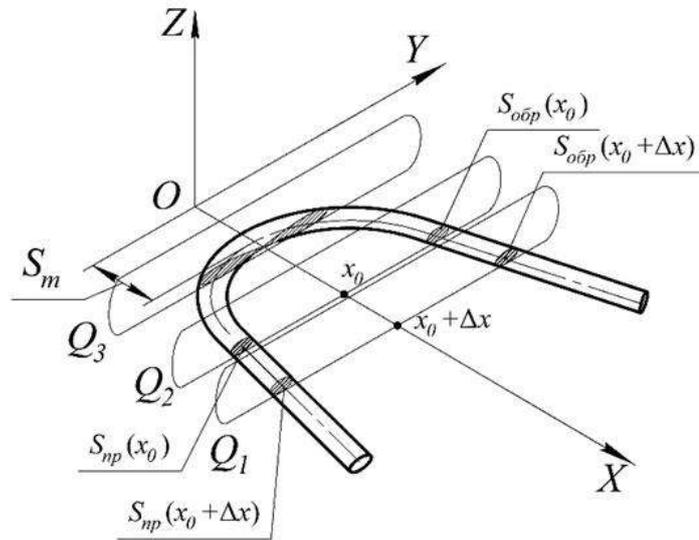


Рисунок 2.8 – Расчетная схема развертки участка нити на торце паковки (форма сечения нити - окружность)

Найдем массу нити, расположенной на участках между плоскостями  $Q_1$  и  $Q_2$  при  $x \in [x_0, x + \Delta x]$  (рисунок 2.8):

$$\Delta m = (S_{np}(x) + S_{обп}(x)) \Delta x \gamma_n,$$

где  $S_{np}$ ,  $S_{обп}$ , - площадь сечений нити в плоскостях  $Q_1$  и  $Q_2$  при прямом и обратном ходе нитеводителя соответственно,  $\gamma_n$  - объемная плотность нити.

При  $\Delta x \rightarrow 0$ , получим:

$$dm_0 = (S_{np}(x) + S_{обп}(x)) \gamma_n dx. \quad (2.26)$$

Будем считать, что при  $x \in [x_0, x + \Delta x]$  площади поперечных сечений нити одинаковы при прямом и обратном ходе нитеводителя, т.е.  $S(x) = S_{np}(x) = S_{обп}(x)$ , а угол подъема спирали нити при наматывании в средней части паковки одинаков и равен  $\alpha = \text{const}$ . Тогда, нетрудно показать, что на рассматриваемом участке нити

$$S(x) = \frac{\pi d^2}{4 \sin \alpha},$$

а равенство (4) примет вид:

$$dm_0 = 2S(x_0)\gamma_n dx = \frac{\pi d^2}{2\sin\alpha}\gamma_n dx. \quad (2.27)$$

В плоскости  $Q_3$ , при  $x = S_m + 0,5d$ , площадь сечения нити максимальна, соответствует площади двух эллипсов и определяется следующим равенством:

$$S_{\max} = \pi d \sqrt{rR}$$

Проведя рассуждения аналогично изложенным выше, можно заключить что:

$$dm_{\max} = S_{\max} \gamma_n dx. \quad (2.28)$$

На основании равенств (2.27) и (2.28) степень наибольшего уплотнения нити может быть определена следующим выражением:

$$\frac{dm_{\max}}{dm_0} = \frac{\pi d \sqrt{rR}}{\pi d^2} \cdot 2\sin\alpha = \sqrt{\frac{R}{r}} \cdot \sin\alpha. \quad (2.29)$$

Рассмотрим второй вариант формы сечения нити (ленты) в виде прямоугольника шириной  $\delta$  и высотой  $e$ . Расчетная схема для рассматриваемого варианта представлена на рисунке 2.9 [11, 75].

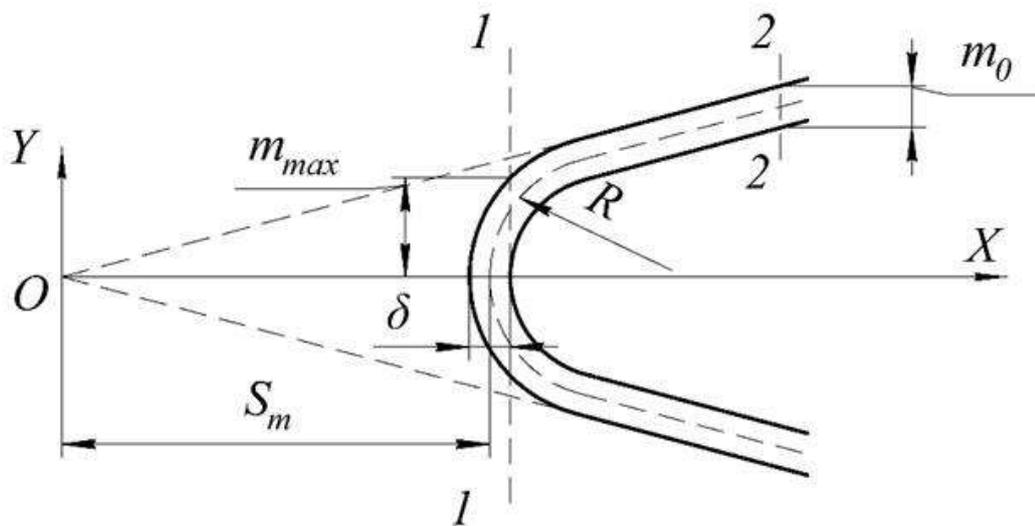


Рисунок 2.9 - Расчетная схема развертки участка нити (ленты) на торце паковки (форма сечения нити - прямоугольник)

Также, как и ранее, в рассматриваемом случае элементарная масса  $dm_0$  нити (ленты), заключенная на участке, соответствующем  $\alpha = \text{const}$  (сечение 2–2 на рисунке 2.9) соотносится с максимальной величиной  $dm_{\text{max}}$  в сечении 1–1 и выражается через площади сечений ленты. Проводя аналогичные рассуждения, нетрудно показать, что в рассматриваемом случае степень наибольшего уплотнения нити (ленты) определяется следующим равенством:

$$\frac{dm_{\text{max}}}{dm_0} = \sin \alpha \sqrt{\frac{2R}{\delta}} \quad (2.30)$$

С достаточной для практических целей точностью можно принять, что величина  $\delta \approx 2r$ . При сделанном предположении равенство (2.30) с точностью до обозначений совпадает с полученным ранее выражением (2.29), соответствующим варианту сечения нити в виде окружности. Таким образом, учитывая, что величина  $r$  определяется параметром наматываемой нити (ленты) и может считаться заданной, наибольшая степень уплотнения определяется двумя параметрами механизма раскладки нити: радиусом  $R$  дуги нити на участке реверса (рисунок 2.7) и углом  $\alpha$  подъема витка укладываемой на паковку нити (ленты), связанных между собой равенствами (2.24) и (2.25).

При наматывании нити, вследствие контакта паковки и фрикционного цилиндра (прикаточного валика), происходит т.н. “прикатывание” краев паковки [43, 75]. При этом максимальный диаметр паковки в зоне уплотнения уменьшается, а ширина зоны уплотнения, как правило, незначительно увеличивается. Рассмотрим зависимость степени уплотнения витка нити  $\mu(x) = m(x)/m_0$ , где

$$m(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq x < x_0; \\ \int_{x_0}^x 2S(x)\gamma_n dx & \text{при } x_0 \leq x \leq h_1; \\ m_0 & \text{при } x > h_1; \end{cases} \quad (2.31)$$

в интервале изменения аргумента  $x \in [0, x_0 + h_1]$ , соответствующей зоне реверса нитеводителя,  $x_0 = S_m + 0,5d$ . На рисунке 2.10, а представлен график зависимости  $\mu(x)$ , в соответствии с равенством (2.31) без учета “прикатывания” витка нити в зоне реверса. Будем считать, 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 2.10, б).

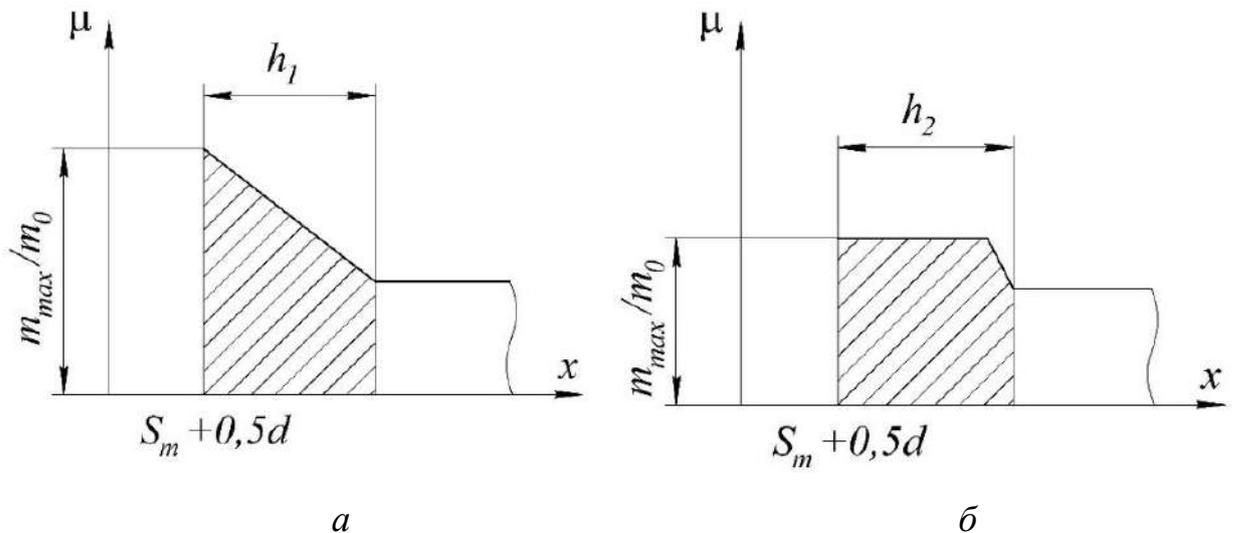


Рисунок 2.10 – Зависимость  $\mu(x)$  в зоне реверса под действием «прикаточного» ролика

Таким образом, при сделанном предположении, максимальное значение степени уплотнения в зоне реверса может быть записано в виде:

$$\frac{m_{\max}}{m} = \frac{1}{2} \sin \alpha \sqrt{\frac{R}{r}}. \quad (2.32)$$

Равенство (2.32) отражает максимальную степень неравномерности распределения массы витка нити вдоль оси вращения паковки в зоне реверса для одного витка. Множество намотанных витков нити формирует аналогичную неравномерность в осевом направлении.

На рисунке 2.11 представлено уплотнение витка на краю паковки, рассчитанное при следующих значениях исходных данных:  $\alpha = 5^\circ$ ,  $S_m = 0,025$  м, ширина ленты  $\delta = 0,001$  мм [75]. При указанных значениях исходных данных

величина  $m_{\max}/m_0 = 5,06$  (на рисунке 2.11 показан вариант вычислений для правого края паковки).

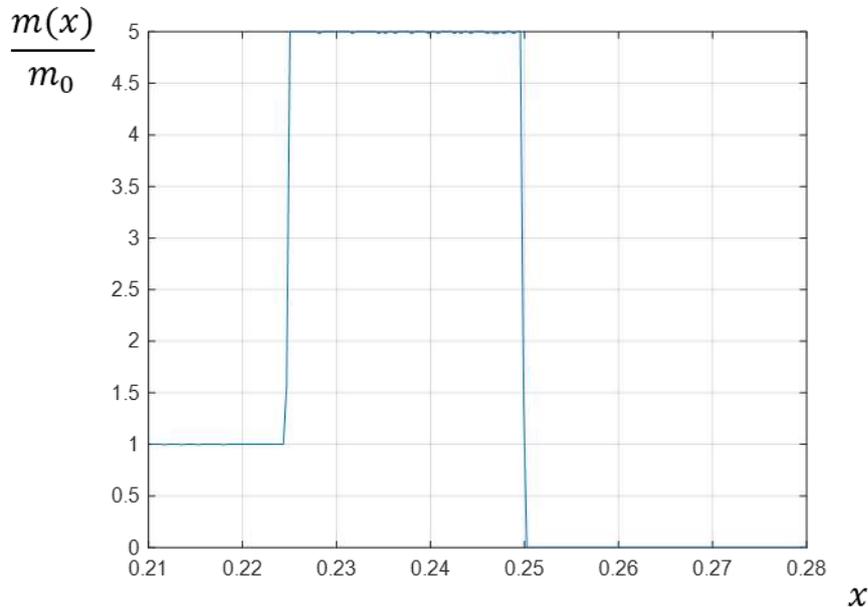


Рисунок 2.11 - Уплотнение витка нити на краю паковки

### 2.3 Моделирование процесса разуплотнения на краях паковки

Одним из возможных вариантов уменьшения степени уплотнения на торцах паковки, как было отмечено выше, является использование механизма сокращения хода нитеводителя для разуплотнения торцев путем создания дополнительного осциллятивного или иного периодического изменения длины раскладки. При этом уплотнение на торце паковки “размывается” вследствие того, что точка реверса непрерывно перемещается [43].

Зависимость степени неравномерности распределения массы витка нити (ленты) вдоль оси вращения паковки можно выразить формулой (для правого края паковки):

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

где  $x_0 = S_m + 0,5d$  – координата начала уплотненного участка.

В результате непрерывного осциллятивного изменения длины раскладки зона уплотнения постоянно перемещается в соответствии с законом  $f(t)$ . С учетом этого перемещения распределение массы витка нити (ленты) можно описать следующим образом:

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

где  $f(t)$  – функция, характеризующая перемещение зоны уплотнения с течением времени.

Суммарное уплотнение в любой точке по длине паковки можно выразить зависимостью:

$$\frac{m_{\max}^*(x)}{m_0} = \int_0^T \frac{m(x, f(t))}{m_0} dt, \quad (2.33)$$

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

По полученным зависимостям в среде MATLAB был разработан алгоритм и программа, позволяющая моделировать степень уплотнения витка нити с учетом процесса разуплотнения торцов паковки. Блок-схема алгоритма программы представлена на рисунке 2.12 [76] (Приложение А).

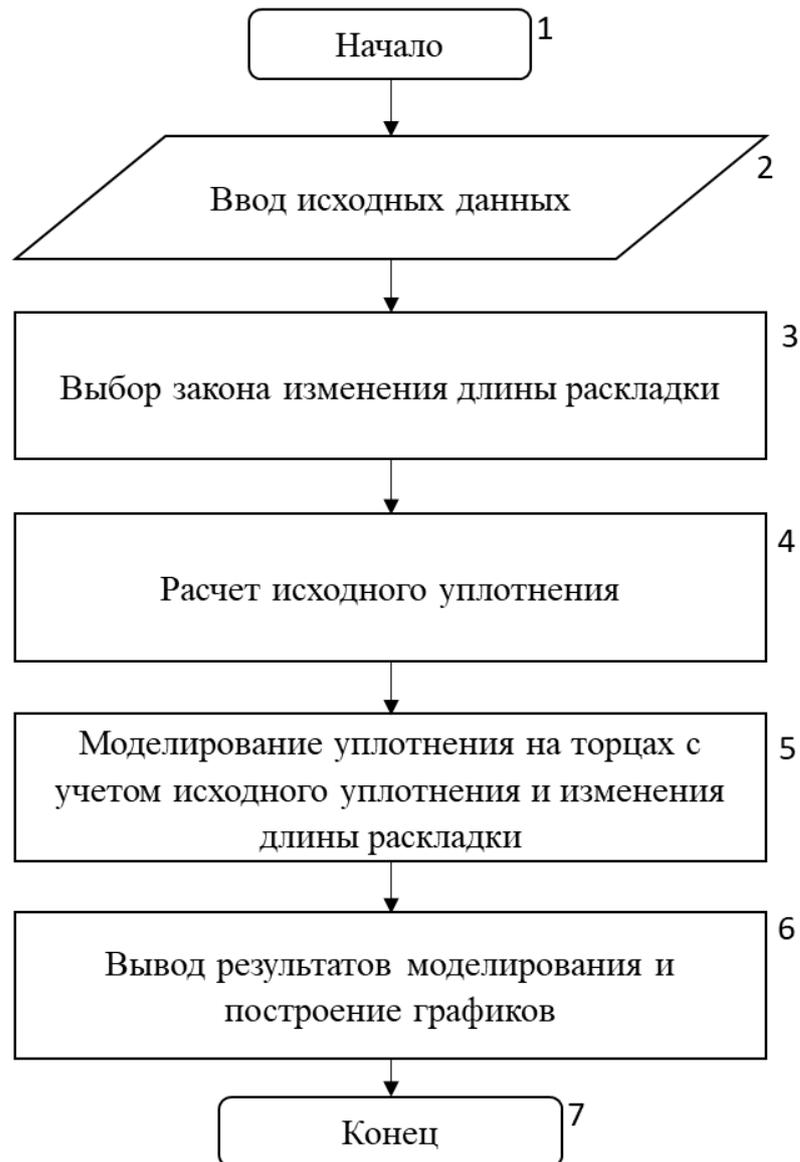


Рисунок 2.12 - Блок-схема алгоритма программы моделирования разуплотнения торцев modelling1

С использованием указанной программы проанализированы различные виды функции  $f(t)$ , реализуемых механизмом разуплотнения торцов (рисунок 2.13).

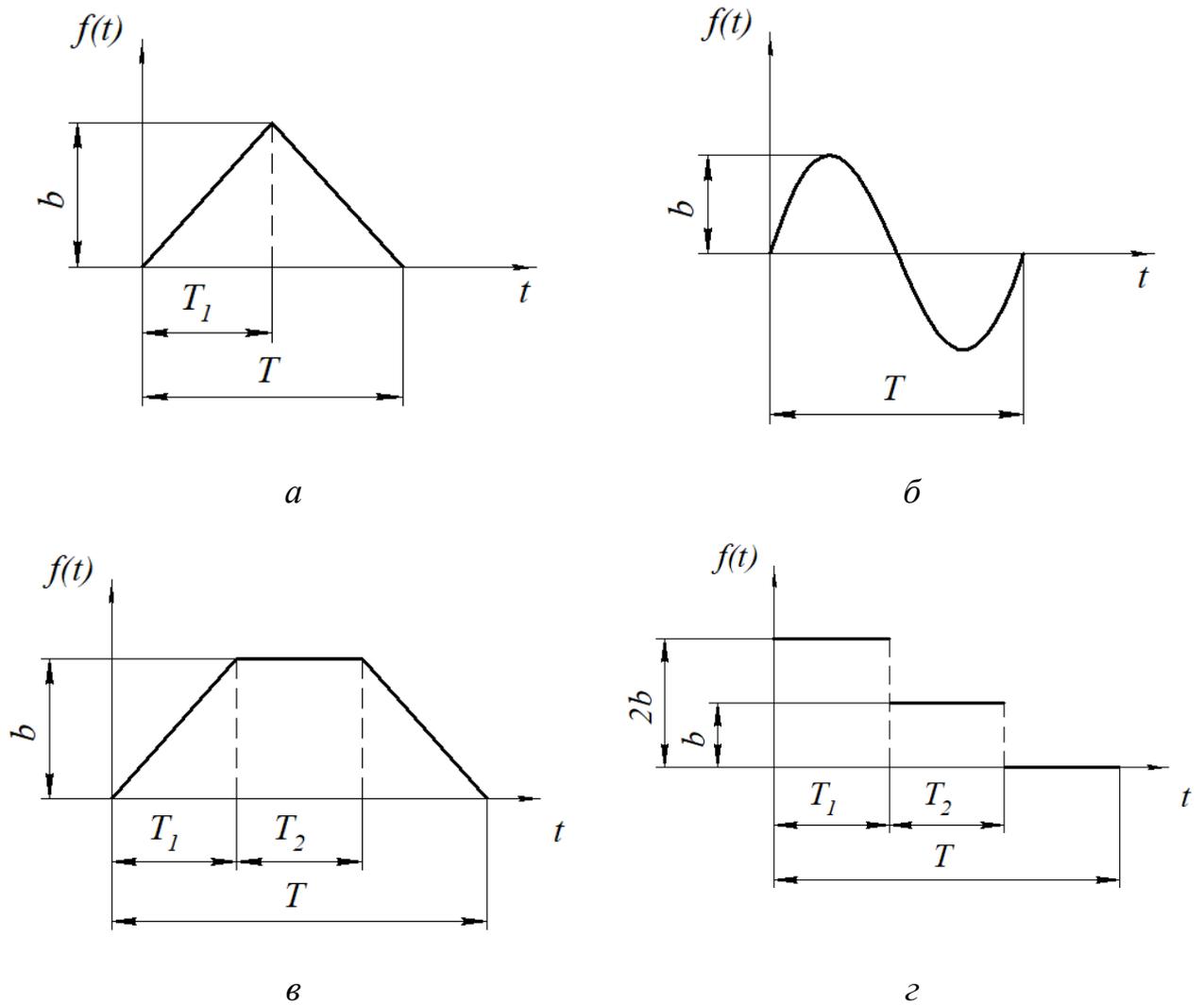
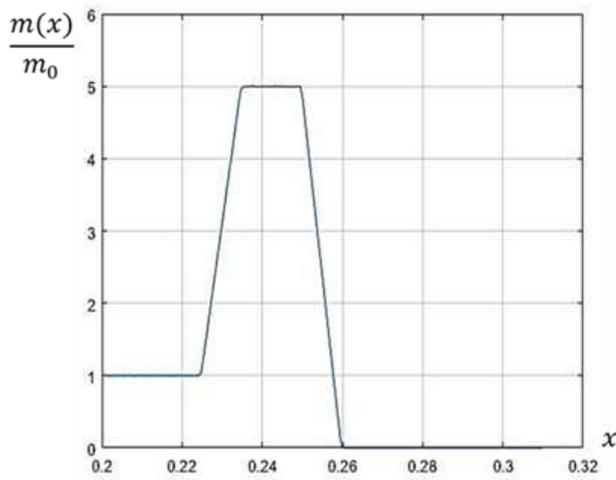


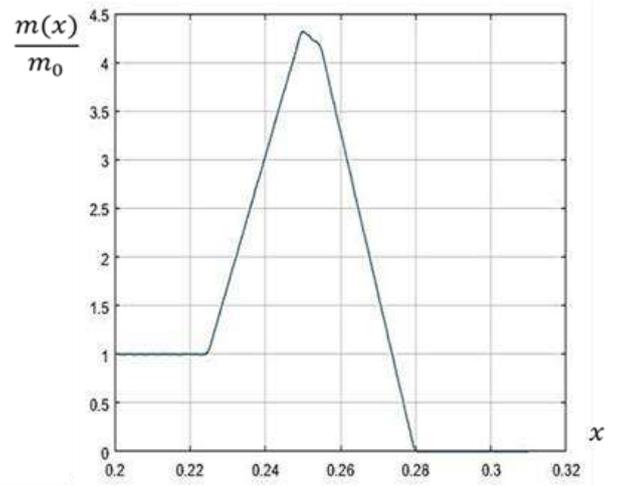
Рисунок 2.13 - Законы изменения функции  $f(t)$ :

- а) - пилообразный; б) - гармонический;  
 в) - трапециевидный; г) - кусочно-линейный

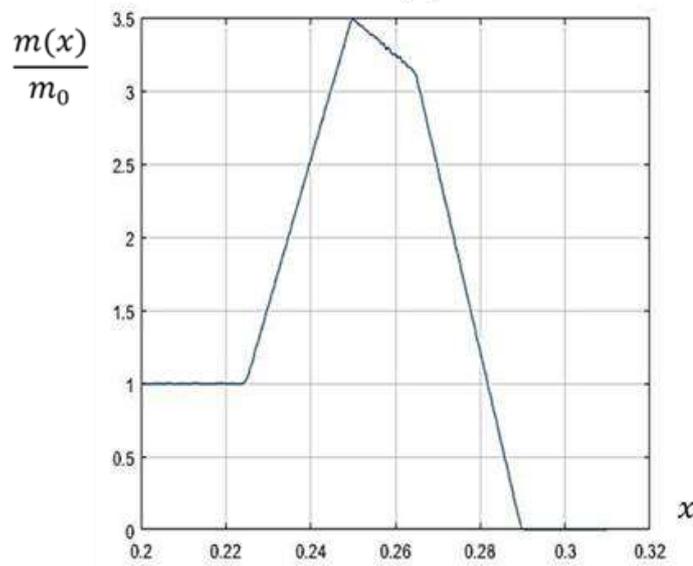
В качестве тестового уплотнения принят полученный ранее вариант, показанный на рисунке 2.11, соответствующий отсутствию воздействия на процесс образования торцев механнизма разуплотнения. Результаты моделирования, полученные по программе modelling1 [75, 76] для различных законов изменения длины раскладки и различных параметров представлены на рисунках 2.14 – 2.16.



а



б



в

Рисунок 2.14 – Зависимость  $m(x)/m_0$

(пилообразный закон изменения длины раскладки)

а)  $\delta = 0,01$  м, б)  $\delta = 0,03$  м а = 0.01 м, в)  $\delta = 0,04$  м

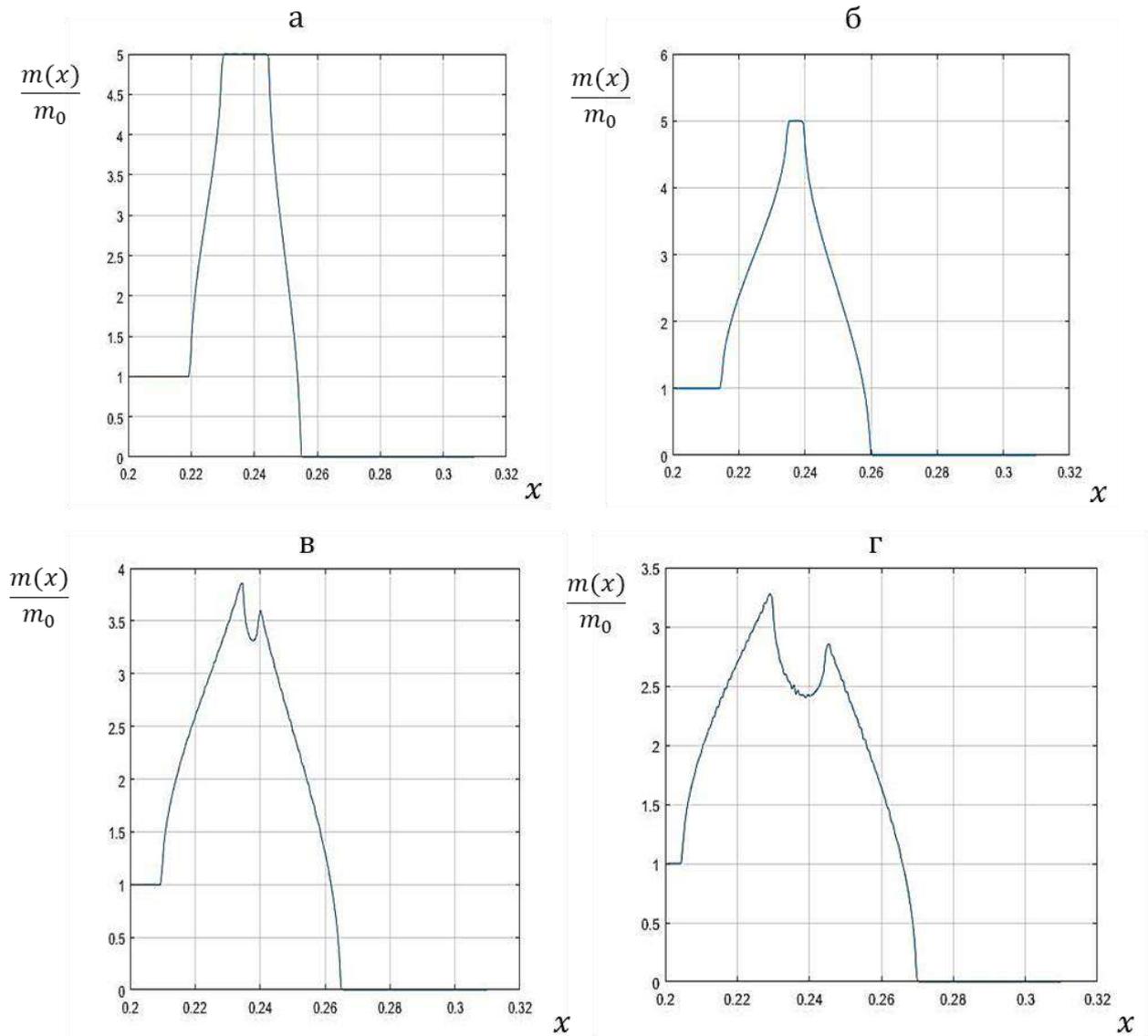


Рисунок 2.15 – Зависимость  $m(x)/m_0$

(гармонический закон изменения длины раскладки)

а)  $\delta = 0,01$  м, б)  $\delta = 0,02$  м, в)  $\delta = 0,03$  м, г)  $\delta = 0,04$  м

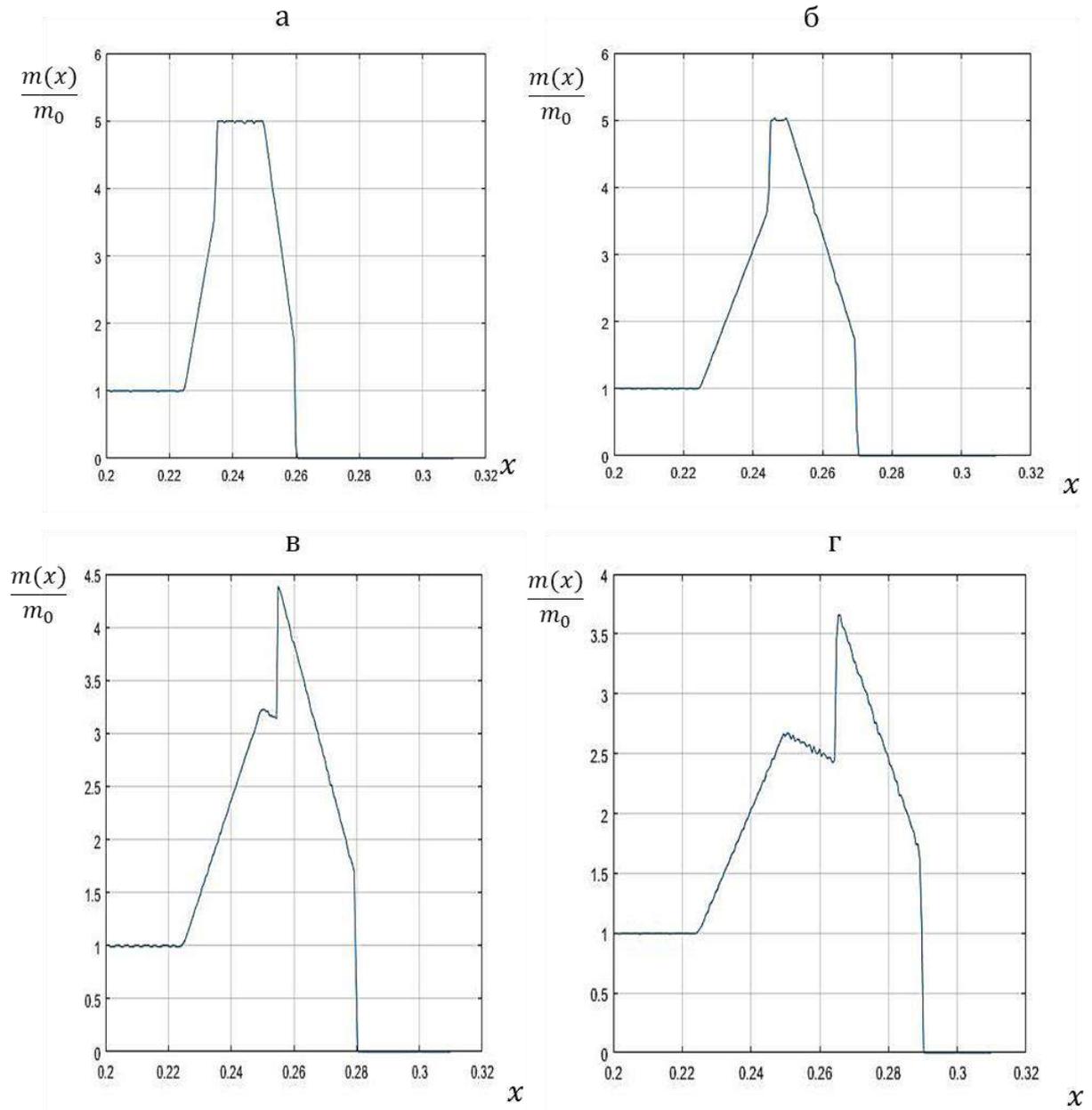


Рисунок 2.16 – Зависимость  $m(x)/m_0$

(трапецевидный закон изменения длины раскладки)

а)  $\delta = 0,01$  м, б)  $\delta = 0,02$  м, в)  $\delta = 0,03$  м, г)  $\delta = 0,04$  м

В результате компьютерного моделирования получено, что наилучшие результаты дает кусочно-линейный вид зависимости  $f(t)$  при следующих значениях параметров:  $T = 17,0$  с,  $T_1 = 7,0$  с,  $T_2 = 5,5$  с. Результаты моделирования для указанного вида зависимости  $f(t)$  представлены на рисунке 2.17.

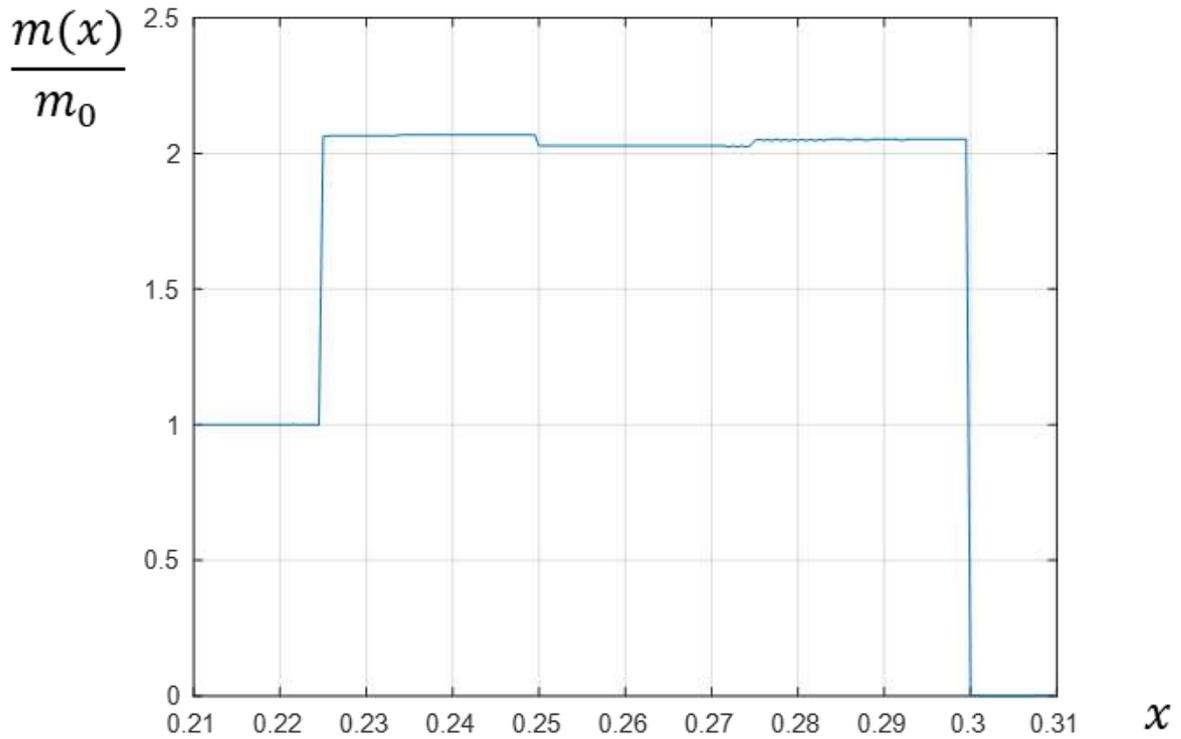


Рисунок 2.17 - Зависимость  $m(x)/m_0$

(кусочно-линейный вид зависимости  $f(t)$ )

Полученные аналитические зависимости позволяют определять оптимальные параметры механизмов раскладки нити. В результате исследования различных законов движения механизмов разуплотнения торцов показано, что наилучшие результаты дает кусочно-линейный закон с указанными параметрами. При этом происходит снижение уплотнений на краях паковки в 2,5 раза.

## 2.4 Выводы по главе 2

1. Разработано методическое, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для исследования уплотнения паковки на краях и связи величины этого уплотнения с параметрами наматывания, с учетом законов движения нитеводителя.

2. Разработано методическое, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для определения параметров механизма рассеивания витков нити для эффективного снижения уплотнений на краях паковки.

3. Выполнена серия численных экспериментов по моделированию процесса разуплотнения торцев паковки, проведен сравнительный анализ эффективности различных законов изменения длины раскладки.

4. Наилучшие результаты по снижению уплотнений на краях паковки показал кусочно-линейный закон изменения длины раскладки при следующих параметрах:  $T = 17,0$  с,  $T_1 = 7,0$  с,  $T_2 = 5,5$  с. При этом максимальные уплотнения на торце удалось снизить в 2,5 раза.

## ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЖГУТООБРАЗОВАНИЯ

### 3.1 Предварительные замечания

Образование жгутовой намотки, как было сказано ранее в главе 1, происходит, когда возникает определенное соотношение 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 [11, 12]. При этом последующий виток нити попадает в точности, на ранее уложенный. Рассмотрим это явление с точки зрения соотношения между периодами тех же процессов.

$$WR = \frac{T_{\text{нр}}}{T_{\text{пак}}}, \quad (3.1)$$

где  $T_{\text{нр}}$  – период одного двойного хода нитеводителя;  $T_{\text{пак}}$  – время одного полного оборота паковки.

В свою очередь  $T_{\text{нр}}$  и  $T_{\text{пак}}$  определяются следующими зависимостями:

$$T_{\text{нр}} = \frac{2B}{V_g}, \quad T_{\text{пак}} = \frac{2\pi}{\omega_{\text{пак}}},$$

где  $B$  – величина хода нитеводителя;  $V_g$  – скорость движения нитеводителя;  $\omega_{\text{пак}}$  – угловая скорость вращения паковки.

Подставляя эти выражения в (3.1), получим следующее выражение:

$$WR = \frac{B\omega_{\text{пак}}}{\pi V_g}. \quad (3.2)$$

Правая часть этого выражения непрерывно изменяется в результате плавного и непрерывного уменьшения  $\omega_{\text{пак}}$ , вызванного непрерывным увеличением диаметра паковки.

### 3.2 Исследование эффективности работы механизмов устранения жгутообразования

Устранение жгутообразования производят за счет периодического изменения величин, стоящих в правой части формулы (3.2). На мотальных машинах используются электрические прерыватели, периодически отключающие привод мотального барабана, за счет чего происходит проскальзывание паковки относительно поверхности мотального барабана, последующий виток нити смещается и жгутообразование нарушается. Этот метод неприменим в машинах для формования химических нитей, где требуется постоянное поддержание скорости приема свежесформованной нити [11, 12]. На этих машинах и других с аналогичным требованием используется второй метод разрушения жгутов. Этот метод основан на периодическом изменении скорости движения нитеводителя  $V_g$  в результате чего происходит периодическое изменение периода  $T_{\text{нр}}$ . Скорость движения нитеводителя может меняться по различным законам, например по гармоническому закону (рисунок 3.1):

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

где  $\omega_{\text{вб}}^0$  - средняя угловая скорость винтового барабанчика нитераскладчика;  $h$  - шаг винтовой канавки барабанчика;  $\delta$  - амплитуда изменения угловой скорости барабанчика;  $\omega_e$  - угловая скорость изменения скорости нитеводителя; или пилообразному закону (рисунок 3.2):

$$V_g = \begin{cases} \omega_{\text{вб}}^0 \frac{h}{2\pi} \left(1 + \delta \frac{t}{T}\right) & \text{при } uT \leq t \leq (u+1)T \\ \omega_{\text{вб}}^0 \frac{h}{2\pi} & \text{при } t = uT, u = 0, 1, \dots, \infty \end{cases}$$

где  $\delta$  - размах изменения скорости нитеводителя;  $T$  - период изменения скорости.

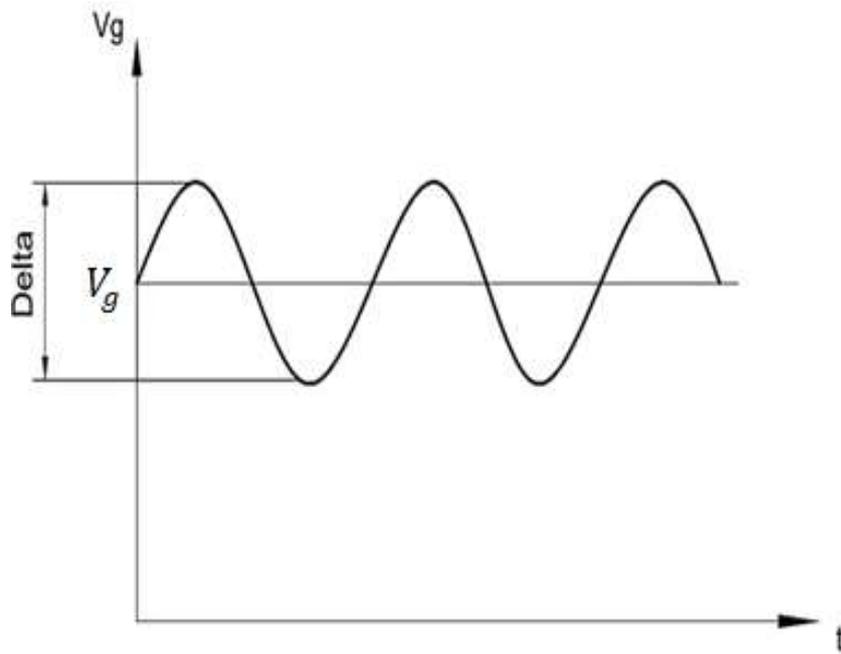


Рисунок 3.1 - Гармонический закон изменения скорости нитеводителя

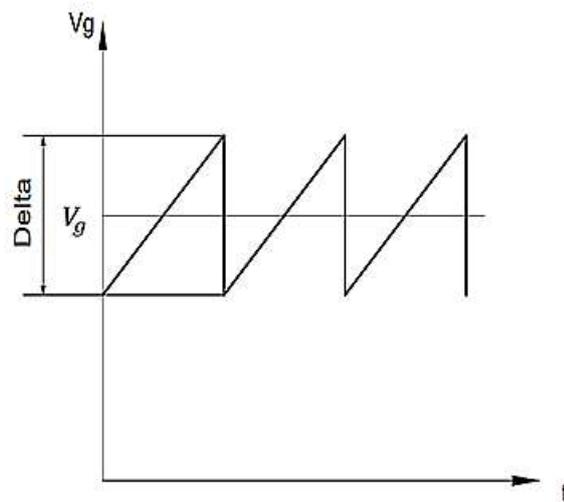


Рисунок 3.2 – Пилообразный закон изменения скорости нитеводителя

В этом случае возрастание скорости нитеводителя происходит плавно, а падение резко, одновременно. Исследования эффективности этих методов выполнено с использованием специальной программы в среде MATLAB [77] (см. Приложение Б), блок-схема алгоритма которой представлена на рисунке 3.3. Результаты моделирования представлены на рисунках 3.4 - 3.8. Разработанная программа использует методику моделирования, рассмотренную ниже.



Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритма программы моделирования процесса жгутообразования ribbon3

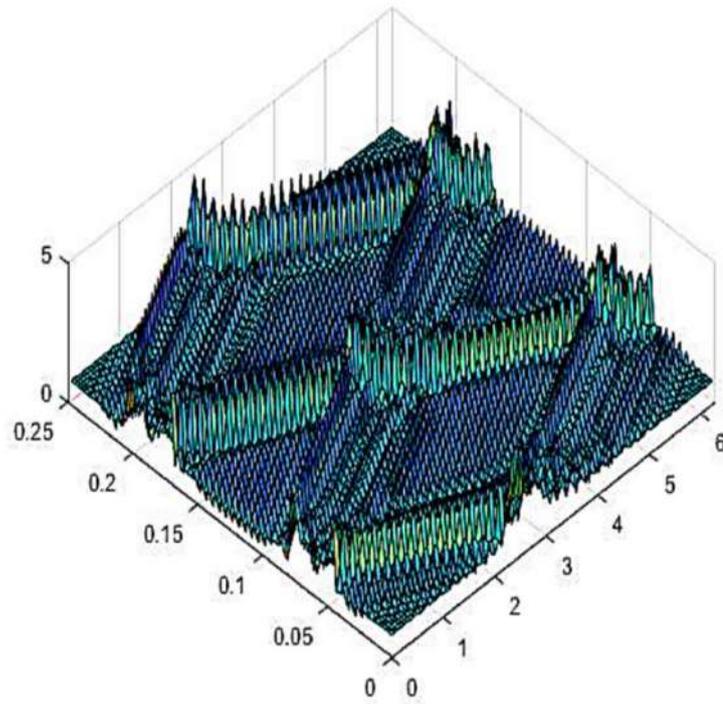


Рисунок 3.4 – Зависимость  $m(x, y)/m_0$   
(гармонический закон,  $\delta = 0,01 \cdot V_g$ ;  $\sigma = 0,889$ )

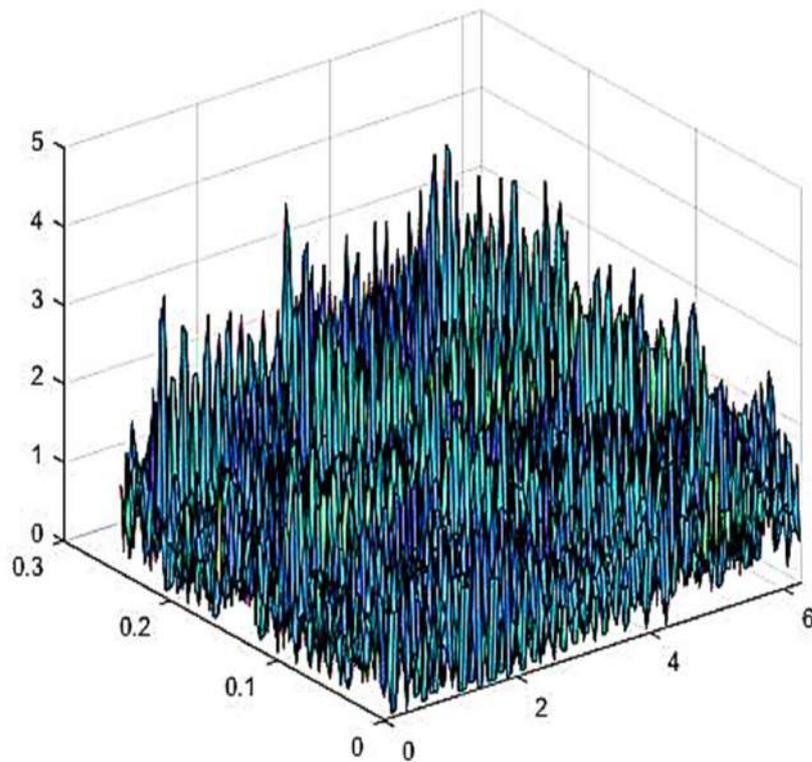


Рисунок 3.5 – Зависимость  $m(x, y)/m_0$   
(гармонический закон,  $\delta = 0,02 \cdot V_g$ ;  $\sigma = 0,858$ )

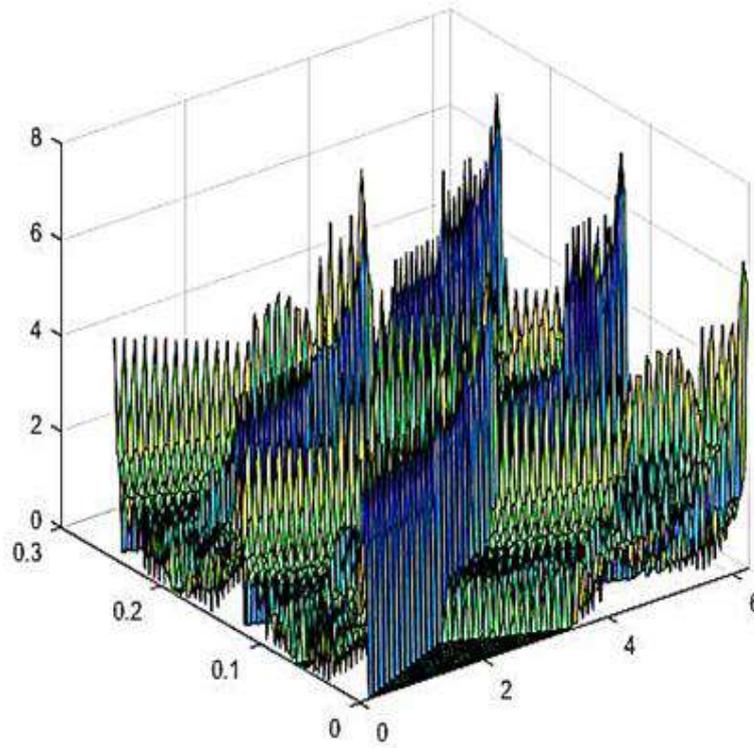


Рисунок 3.6 - Зависимость  $m(x, y)/m_0$   
(пилообразный закон при  $\delta = 0,01 \cdot V_g$  ;  $\sigma = 1,18$ )

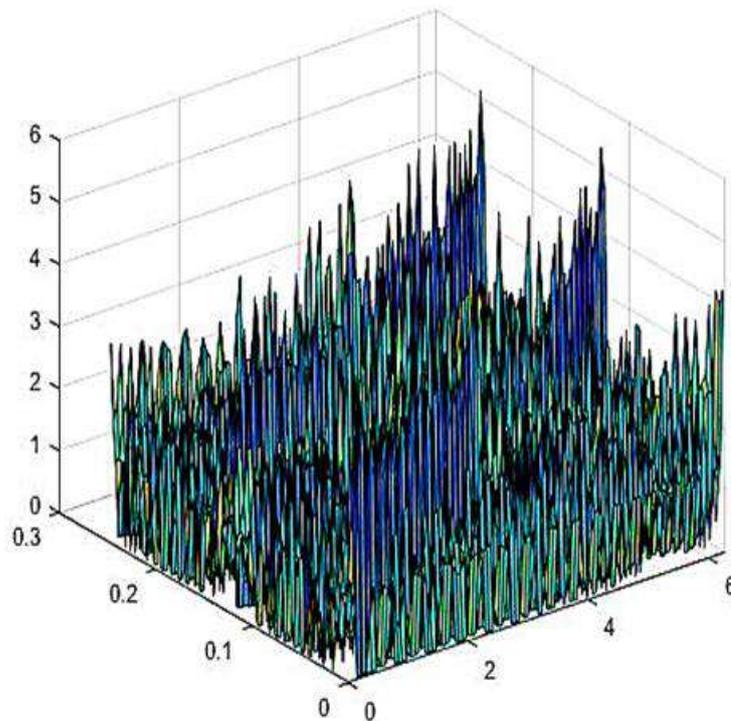


Рисунок 3.7 - Зависимость  $m(x, y)/m_0$   
(пилообразный закон,  $\delta = 0,02 \cdot V_g$  ;  $\sigma = 0,921$ )

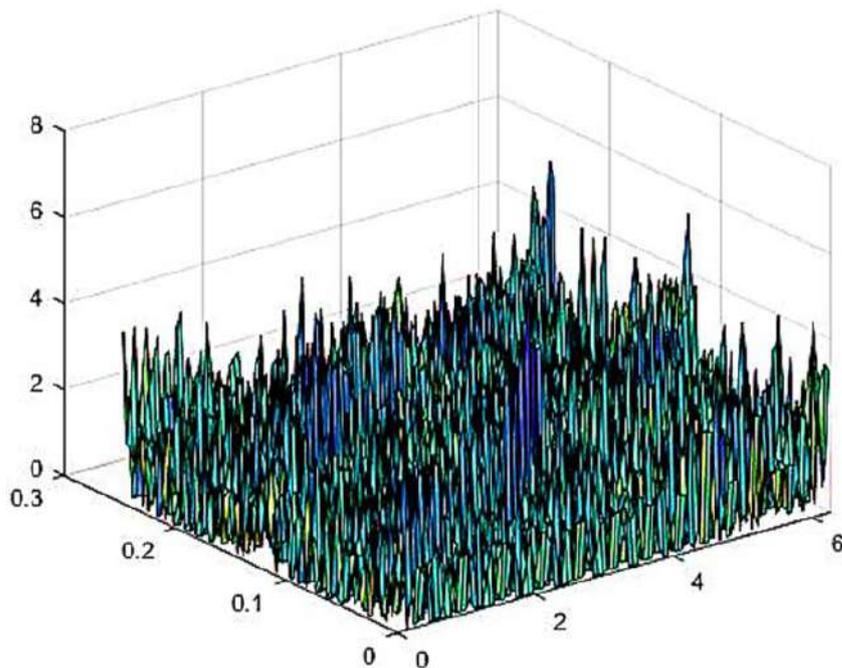


Рисунок 3.8 - Зависимость  $m(x, y)/m_0$   
(пилообразный закон,  $\delta = 0,03 \cdot V_g$ ;  $\sigma = 0,823$ )

Существует также метод устранения жгутообразования известный как RFR (Ribboning Free Random).

Этот метод похож на основной метод случайной намотки. Разница заключается в изменении в процессе наматывания намоточного отношения  $WR$ , чтобы избежать жгутовой намотки.

Намоточный механизм RFR очень похож по конструкции на тот, что используется в ступенчатой прецизионной намотке, как показано на рисунке 3.9 блок управления воздействует на привод с переменным передаточным отношением ( $V$ ) для достижения двух скоростей движения нитеводителя  $V_{g1}$  и  $V_{g2}$ . Отношение угловой скорости паковки  $\omega_{\text{пак}}$  к одной из двух скоростей нитеводителя обеспечивает постоянный угол подъема витка спирали, как при обычной случайной намотке. В результате полученная паковка нити имеет два угла подъема витка. Намотка переключается между ними таким образом, чтобы из-

бежать намотки при целых значениях намоточного отношения  $WR$ . Как показано на рисунке 3.10, намотка начинается с угла намотки  $\alpha_2$ . С увеличением диаметра паковки намоточное отношение достигает критического значения  $WR_2$ . На этом этапе скорость нитеводителя мгновенно изменяется блоком управления, а намоточное отношение падает до  $WR_3$ , что соответствует углу намотки  $\alpha_1$  на этом диаметре. Паковка образуется под тем же углом намотки до тех пор, пока новая критическая точка намоточного отношения  $WR_4$  не будет достигнута. Блок управления, использующий микропроцессорную технологию, контролирует скорость паковки  $\omega_{\text{пак}}$  и нитеводителя  $V_g$  все время, и под контролем программного обеспечения определяет точки изменения [11, 12].

Как и в ступенчатой прецизионной намотке Digiconer, получается паковка с переплетенными слоями, но в этом случае слои имеют два чередующихся значения угла намотки.

Развитие микропроцессорного управления привело к полному отказу от механического привода с регулируемым передаточным отношением, поскольку желаемые скорости могут быть получены теперь непосредственно с помощью частотно-регулируемых приводов двигателей.

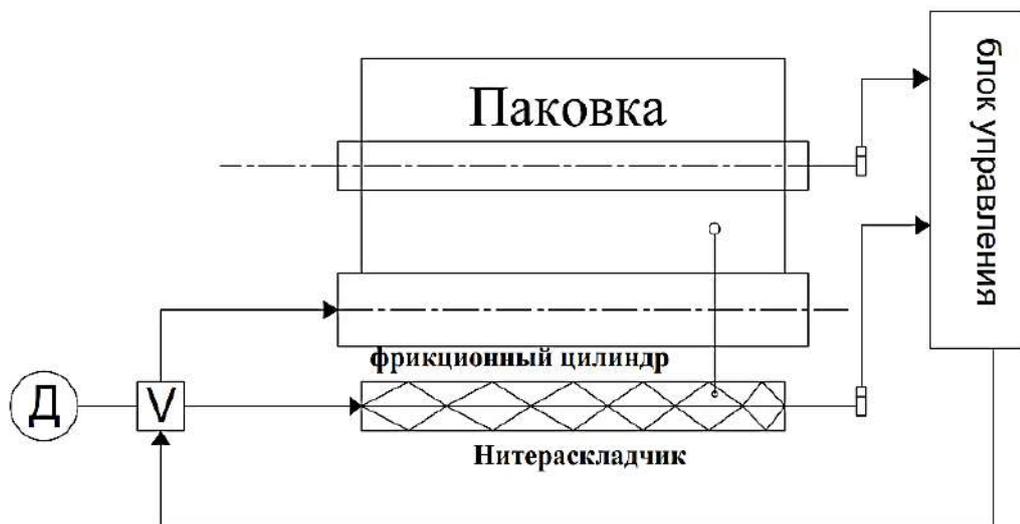


Рисунок 3.9 - Намоточный механизм RFR

С помощью разработанной программы в среде MATLAB было смоделирован процесс устранения жгутообразования с помощью намотки RFR при тех же исходных данных.

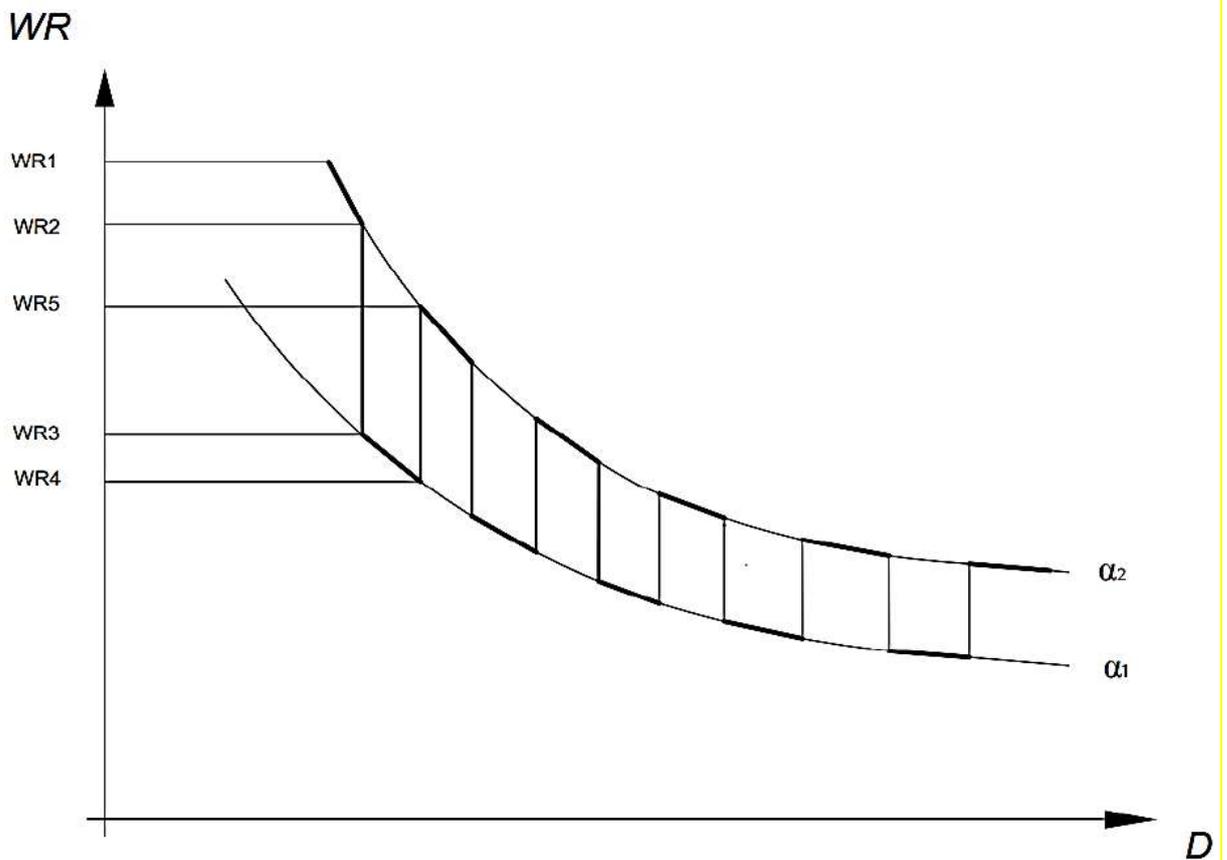


Рисунок 3.10 – Изменение намоточного отношения  $WR$  в процессе наматывания при намотке RFR

### 3.3 Методика моделирования жгутовой намотки и оценки степени жгутообразования.

При моделировании рассматривается процесс распределения массы нити по поверхности развертки паковки в течение заданного промежутка времени [11]. Поверхность паковки разбивается на прямоугольные элементарные площадки равной площади (рисунок 3.11).

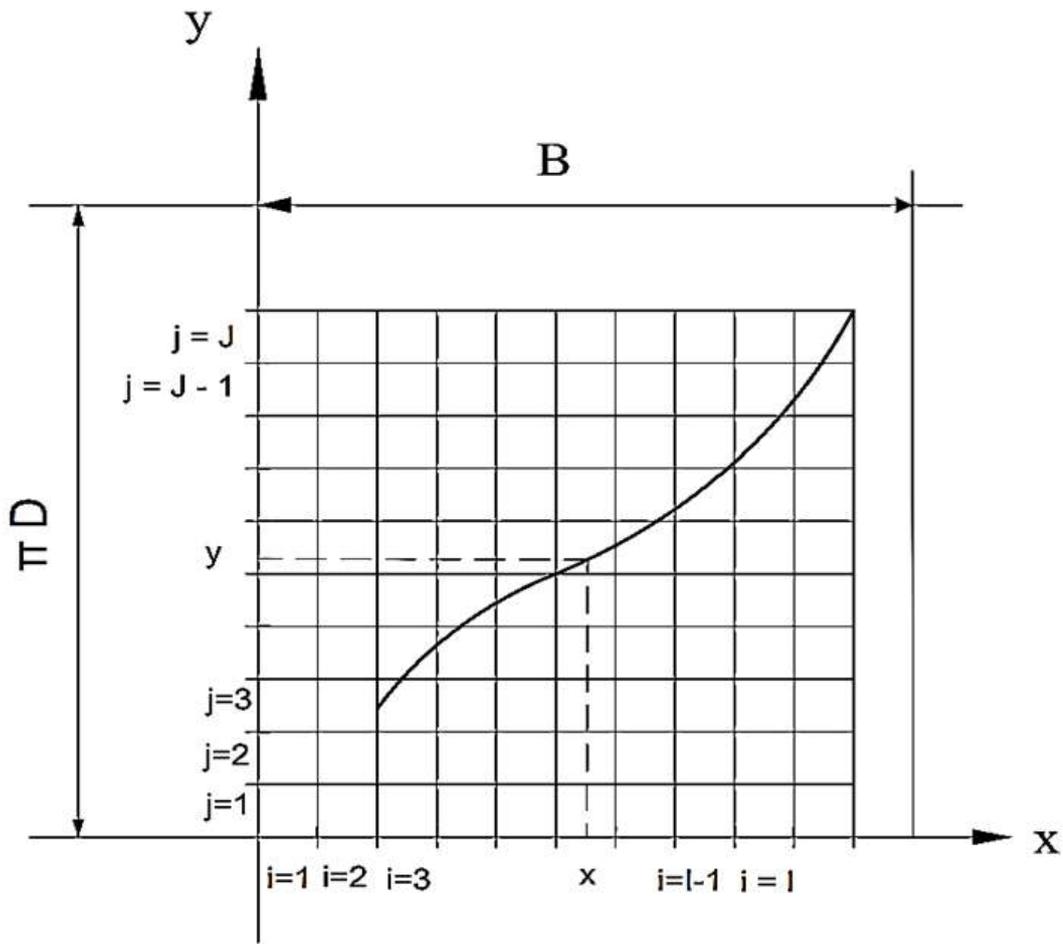


Рисунок 3.11 – Развертка поверхности паковки, разбитая на прямоугольные площадки равной площади

В каждом прямоугольнике определяется плотность паковки, рассчитанная как масса нити, заключенная в элементарном объеме ограниченным размерами элементарной площадки и начальным и конечным радиусами  $R_B$  и  $R_F$ . При достаточно мелком делении набор чисел, отражающих плотность паковки на всех элементарных площадках, характеризует распределение плотности в выделенном слое. Неравномерность этого распределения можно оценить при помощи среднеквадратического отклонения плотности от ее среднего значения

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{1}{IJ-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\gamma_{ij} - \gamma_{cp})^2} \quad (3.3)$$

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

Вынося из-под корня в выражении (3.3) величину  $\gamma_{cp}$  и обозначая

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{IJ-1} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left( \frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{cp}} - 1 \right)^2}$$

получаем выражение для оценки неравномерности распределения плотности в паковке в виде  $\sigma_\gamma = \gamma_{cp} \sigma$ , где масштабный фактор  $\gamma_{cp}$  и собственно неравномерность распределения отделены друг от друга.

Учитывая, что  $\gamma_{ij} = m_{ij} / V_{ij}$ , а величину  $\gamma_{cp}$  можно представить как

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J m_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J V_{ij}}$$

и также то, что  $V_{ij}$  одинаковы для любой пары  $i j$ , где  $m_{ij}$  – масса нити, попавшая на рассматриваемую площадку за время моделирования;  $V_{ij}$  – объем, в котором заключена масса  $m_{ij}$ , ограниченный размерами площадки и радиусами  $R_B$  и  $R_F$ , можем записать

$$\frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{cp}} = \frac{I \cdot J \cdot m_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J m_{ij}}.$$

Таким образом, для определения  $\sigma$  достаточно найти массу нити  $m_{ij}$ , уложенную на каждую площадку  $i j$ .

Для определения массы нити  $m_{ij}$  каждой площадке  $i j$  ставится в соответствие элемент двумерного массива  $M(i, j)$ , а непрерывное поступление нити в намотку заменяется дискретным поступлением элементарных порций  $dm$  через равные промежутки времени  $dt$ . Так как поступление нити в намотку происходит с постоянной скоростью и линейная плотность наматываемой

нити постоянна, можем заключить, что масса нити  $dm$  может быть определена как:

$$dm = TV_{нам} dt,$$

где  $T$  - линейная плотность нити, текс;  $V_{нам}$  - скорость наматывания нити.

Для определения массы нити, попавшей на каждую площадку, последовательно определяются координаты точки наматывания нити  $x$  и  $y$  с шагом  $dt$ .

После этого вычисляется номер площадки, на которую попадает рассматриваемая точка:

$$i = E\left(\frac{I}{B}x\right) + 1, \quad j = E\left(\frac{J}{2\pi D}y\right) + 1,$$

где  $E(x)$  – функция, определяющая целую часть величины  $x$ .

Затем значение элемента массива  $M(i, j)$ , соответствующего элементарной площадке с номером  $ij$ , увеличивается на единицу. Для случая, изображенного на рисунке 3.12, значение элемента массива  $M(i, j)$  увеличено на восемь.

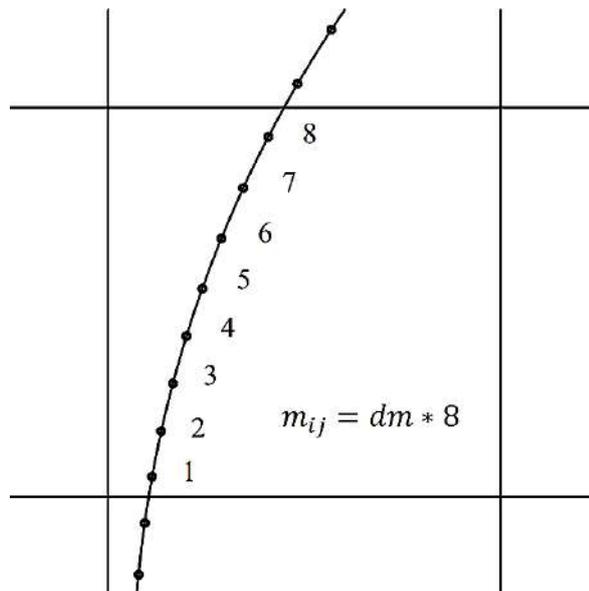


Рисунок 3.12 – Виток нити, проходящий через элементарную площадку

Для того чтобы ошибка метода не превышала 5%, необходимо  $dt$  выбирать таким образом, чтобы значение величины  $M(i, j)$  после окончания моделирования были не менее 20. Процесс повторяется в течение времени моделирования  $t_m$ . На рисунке 3.13 изображена элементарная площадка после окончания моделирования. Соответствующее ей значение элемента массива  $M(i, j) = 40$ . В процессе моделирования может быть учтено непрерывное изменение радиуса паковки.

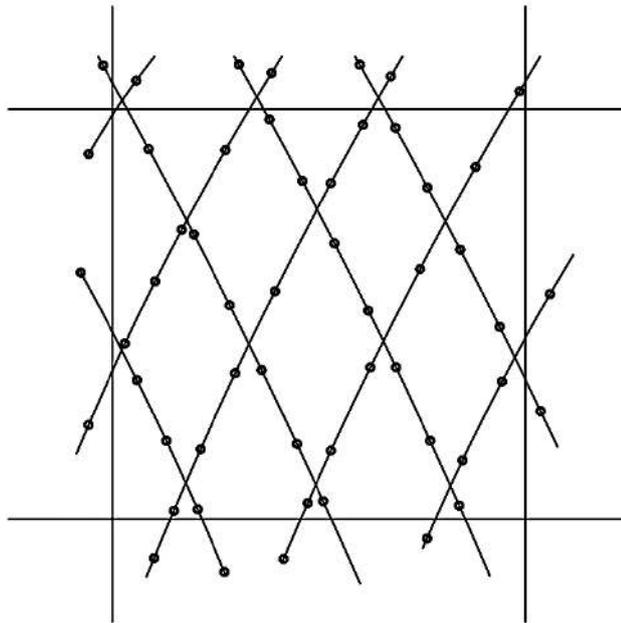


Рисунок 3.13 – Площадка после окончания моделирования

Для реализации предложенного метода моделирования разработан алгоритм и программы, реализованные в среде MATLAB [77]. Для каждой выделенной элементарной площадки определены  $M(i, j)$ , а также величина  $\Gamma(i, j)$ , соответствующая  $\gamma_{ij}/\gamma_{cp}$

Рассмотренные способы борьбы со жгутообразованием основаны на изменении периода возвратно-поступательного движения нитеводителя за счет изменения скорости движения нитеводителя  $V_g$ . При значительном изменении этой скорости скорость наматывания изменяется что в некоторых случаях,

например, при наматывании свежесформованной нити может привести к изменению натяжения и как следствие к дополнительной неровноте нити. Поясним это на примере. Скорость наматывания нити, определяется выражением:

$$V_{нам} = \sqrt{V_{окр}^2 + V_g^2}$$

где  $V_{окр}$  - окружная скорость паковки.

Требуемое натяжение нити обеспечивается за счет превышения скорости наматывания  $V_{нам}$  над скоростью подачи нити в намотку  $V_{нит}$ . При этом удлинение  $\Delta$ , которое получает наматываемая нить, можно определить из выражения:

$$\Delta = (V_{нам} - V_{нит}) / V_{нит}.$$

Можно показать, что при увеличении скорости нитеводителя на 5% удлинение, а, следовательно, и натяжение возрастают на 10% что приводит к увеличению неровноты свежесформованной нити.

Наряду с рассмотренными способами борьбы с жгутообразованием, которые основаны на изменении скорости нитеводителя  $V_g$ , приводящий к изменению периода  $T_{нр}$  возвратно-поступательного движения нитеводителя. Изменение периода  $T_{нр}$  можно добиться не только изменением скорости нитеводителя, но и изменением размаха движения нитеводителя при постоянной скорости  $V_g$ .

Для моделирования этого способа борьбы со жгутообразованием была разработана программа в среде MATLAB [78] (см. Приложение В), блок-схема алгоритма которой представлена на рисунке 3.14. Размах 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  $B_1$  обозначается  $N1$ , с размахом  $B_2$  –  $N2$  и с размахом  $B_3$  –  $N3$ . Таким образом, цикл раскладки нити может быть записан как  $N1-N2-N3$ . Результаты моделирования представлены на рисунках 3.15 – 3.18.

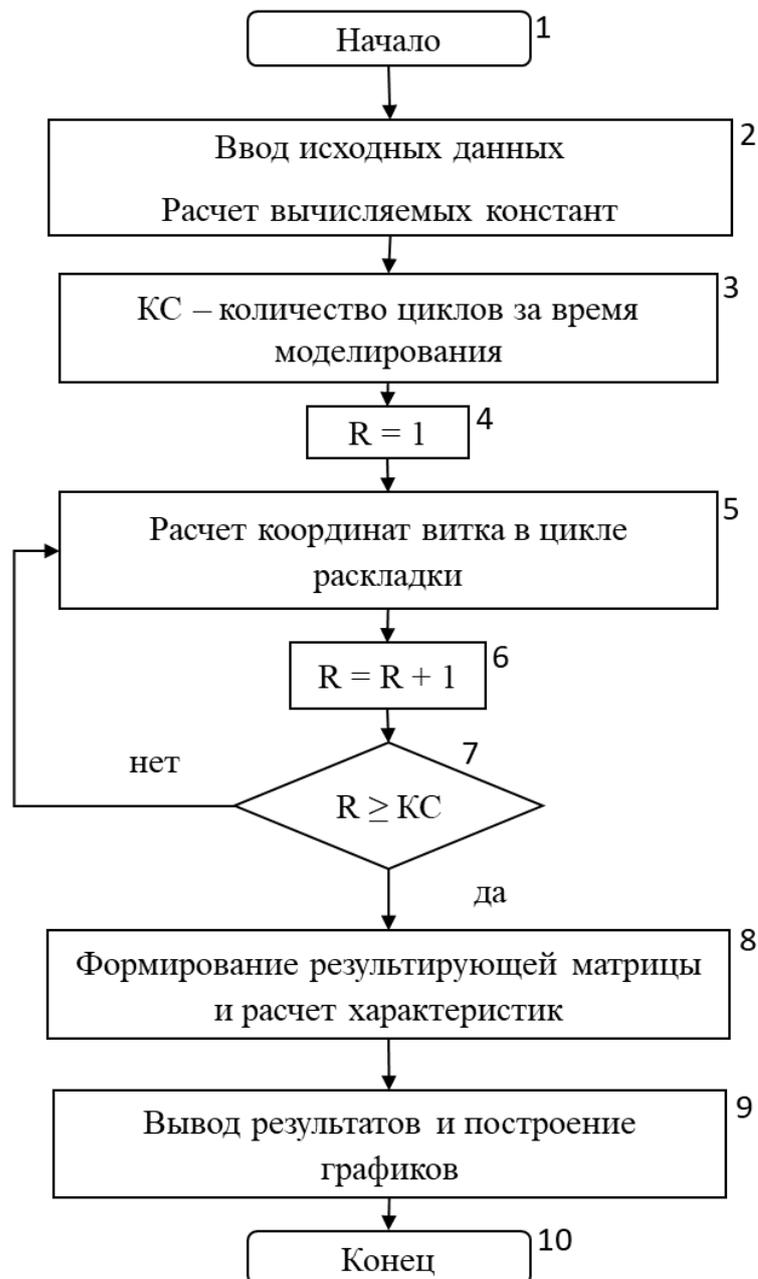


Рисунок 3.14 - Блока-схема программы моделирования устранения жгутообразования за счет циклического изменения длины раскладки ribbon7

Для моделирования приняты следующие исходные данные: длина паковки  $B_1=0,3$  м;  $B_2=0,29$  м;  $B_3=0,28$  м;  $WR=4$ . Остальные параметры и результаты указаны в подрисуночных надписях. Кроме этого, была разработана версия программы, под названием Ribbon8 [79] (см. Приложение Г), учитывающая ширину нити или жгута из нитей, что позволяет сделать результирующий 3D график более плавным и информативным. Результаты моделирования с использованием программы Ribbon8 представлены на рисунке 3.19. Как можно видеть на представленных графиках, устранение жгутообразования происходит более эффективно, чем при изменении скорости нитеводителя. Эффективность устранения жгутообразования можно оценить по величине среднеквадратического отклонения  $\sigma$ . Чем меньше значение  $\sigma$ , тем более равномерно распределяется масса нити по поверхности паковки.

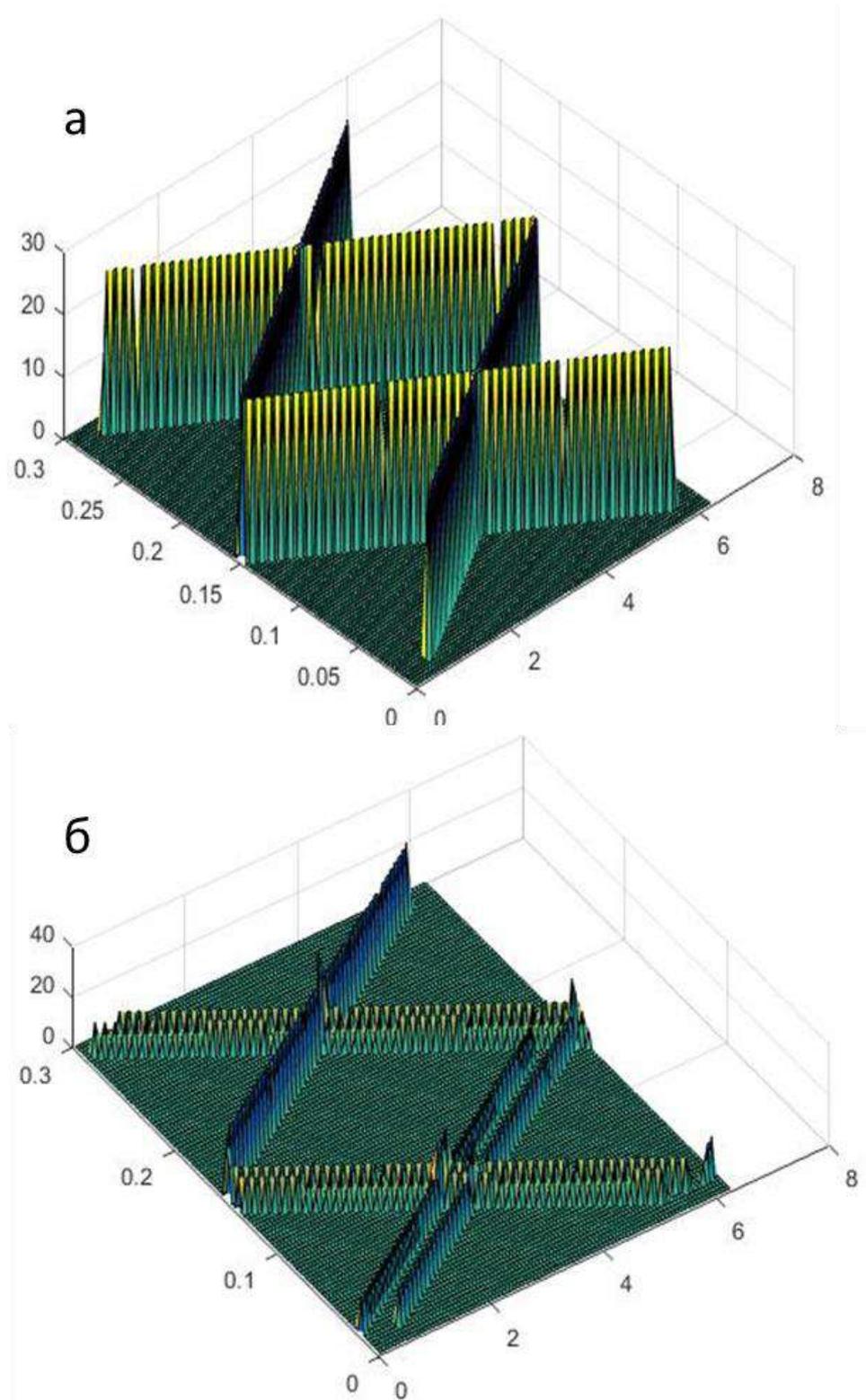


Рисунок 3.15 – Зависимость  $m(x, y)/m_0$

а)  $N_1=1, N_2=0, N_3=0, k_c=1, \sigma=4.957$ ;

б)  $N_1=1, N_2=1, N_3=0, k_c=1, \sigma=3.81$

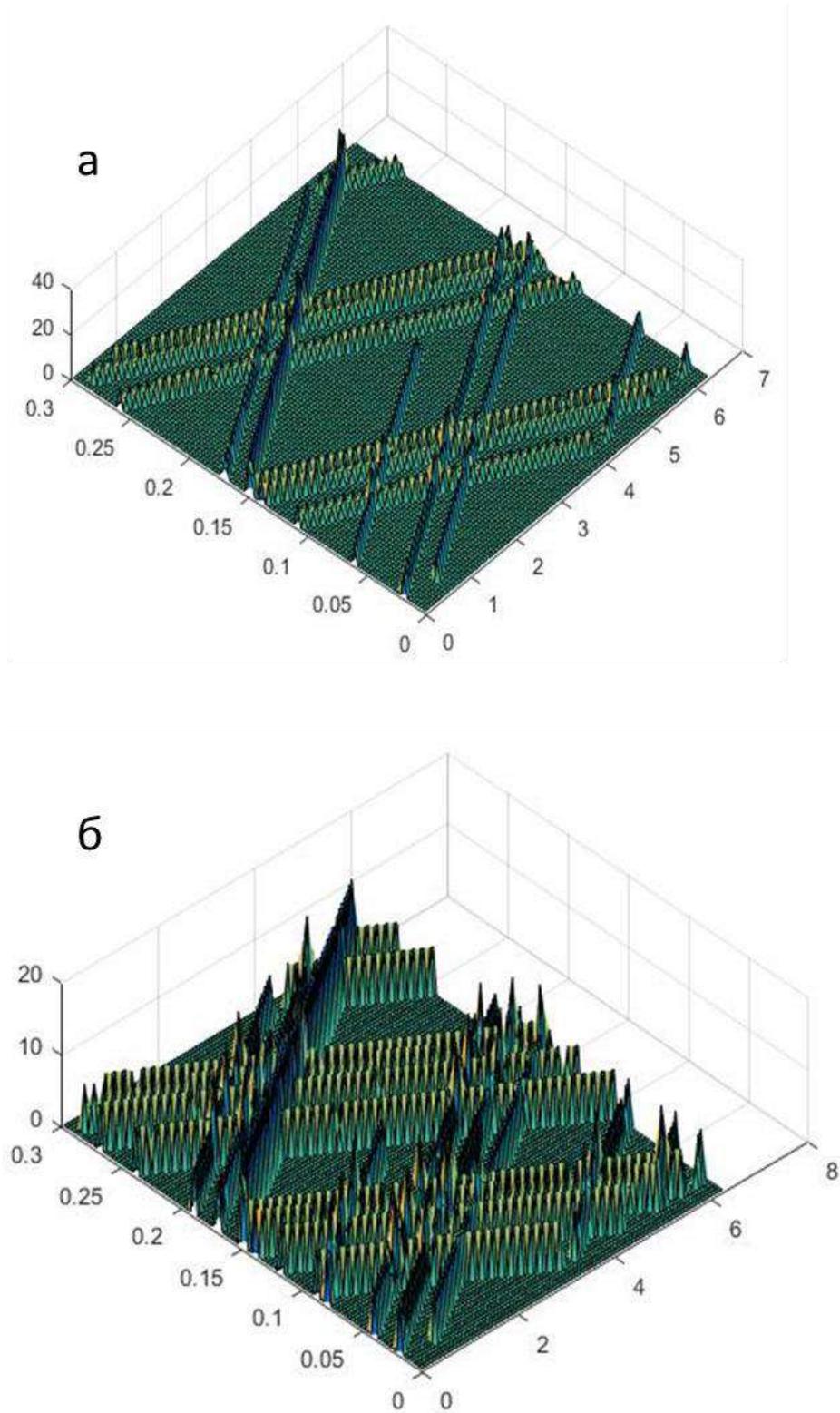


Рисунок 3.16 – Зависимость  $m(x, y)/m_0$

а)  $N_1=1, N_2=1, N_3=1, k_c=1, \sigma=2.95$ ;

б)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=1, \sigma=2.48$

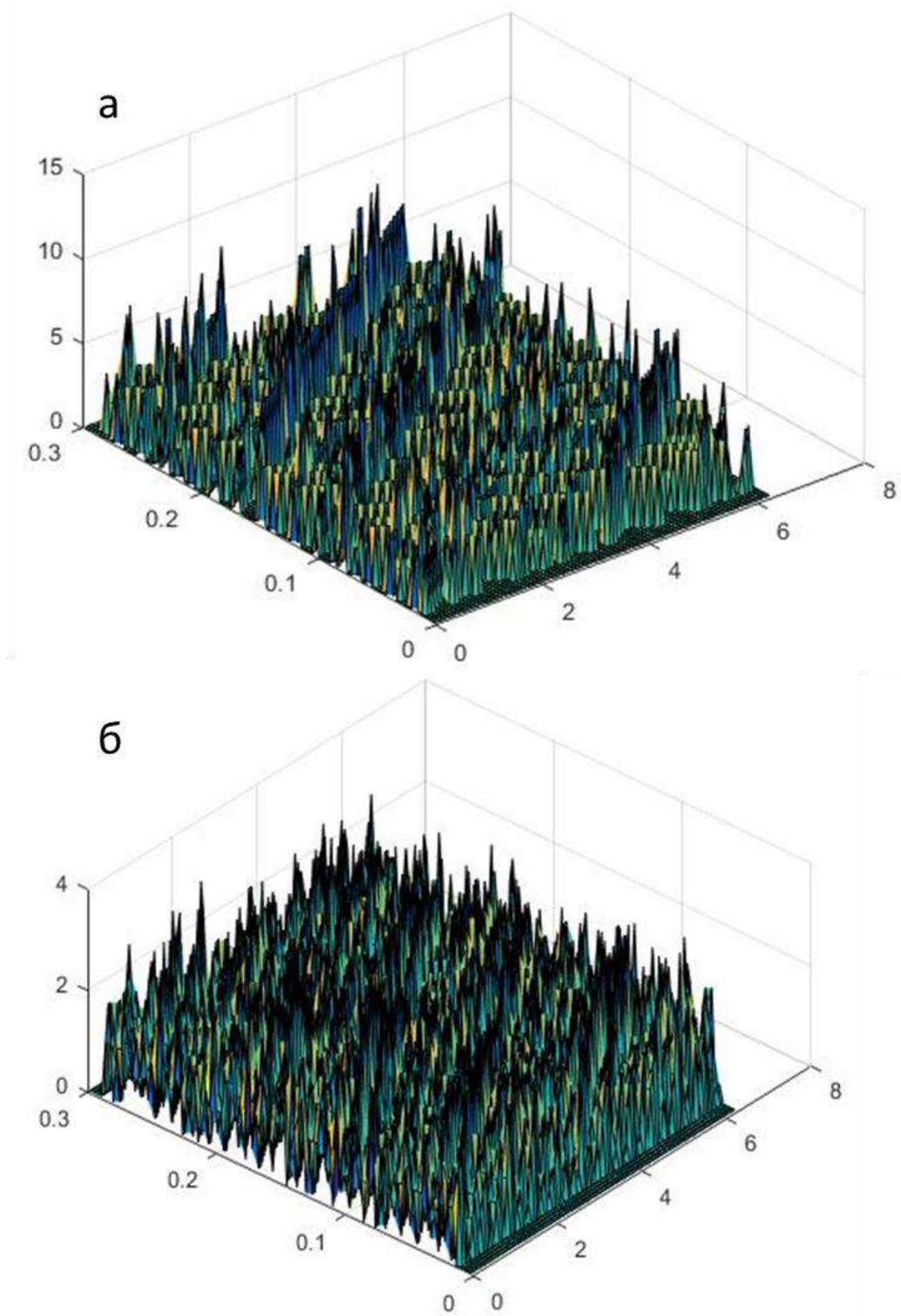


Рисунок 3.17– Зависимость  $m(x, y)/m_0$

а)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=2, \sigma=1.76$ ;

б)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=10, \sigma=0.74$

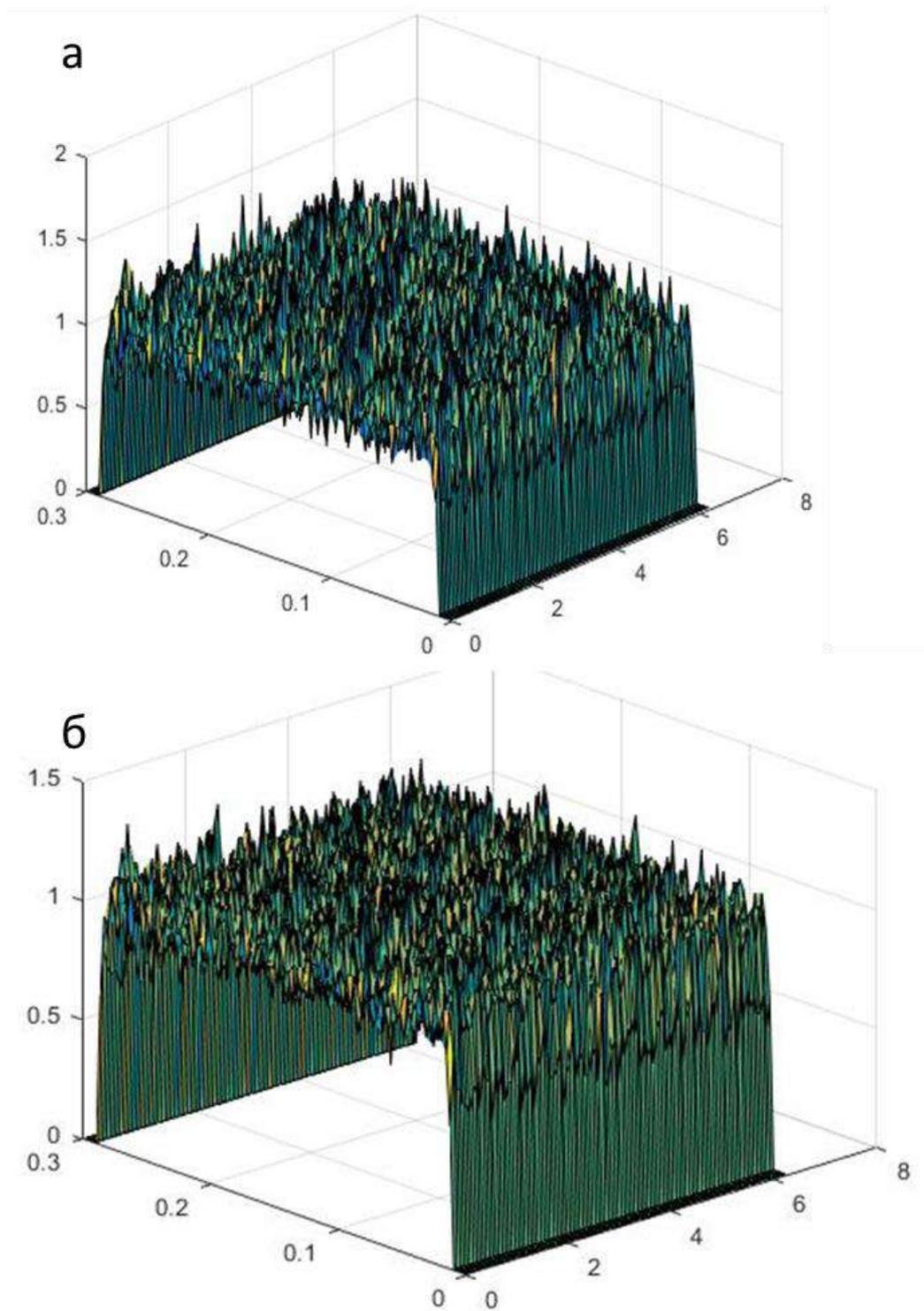


Рисунок 3.18– Зависимость  $m(x, y)/m_0$

а)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=50, \sigma=0,20$ ;

б)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=100, \sigma=0,178$

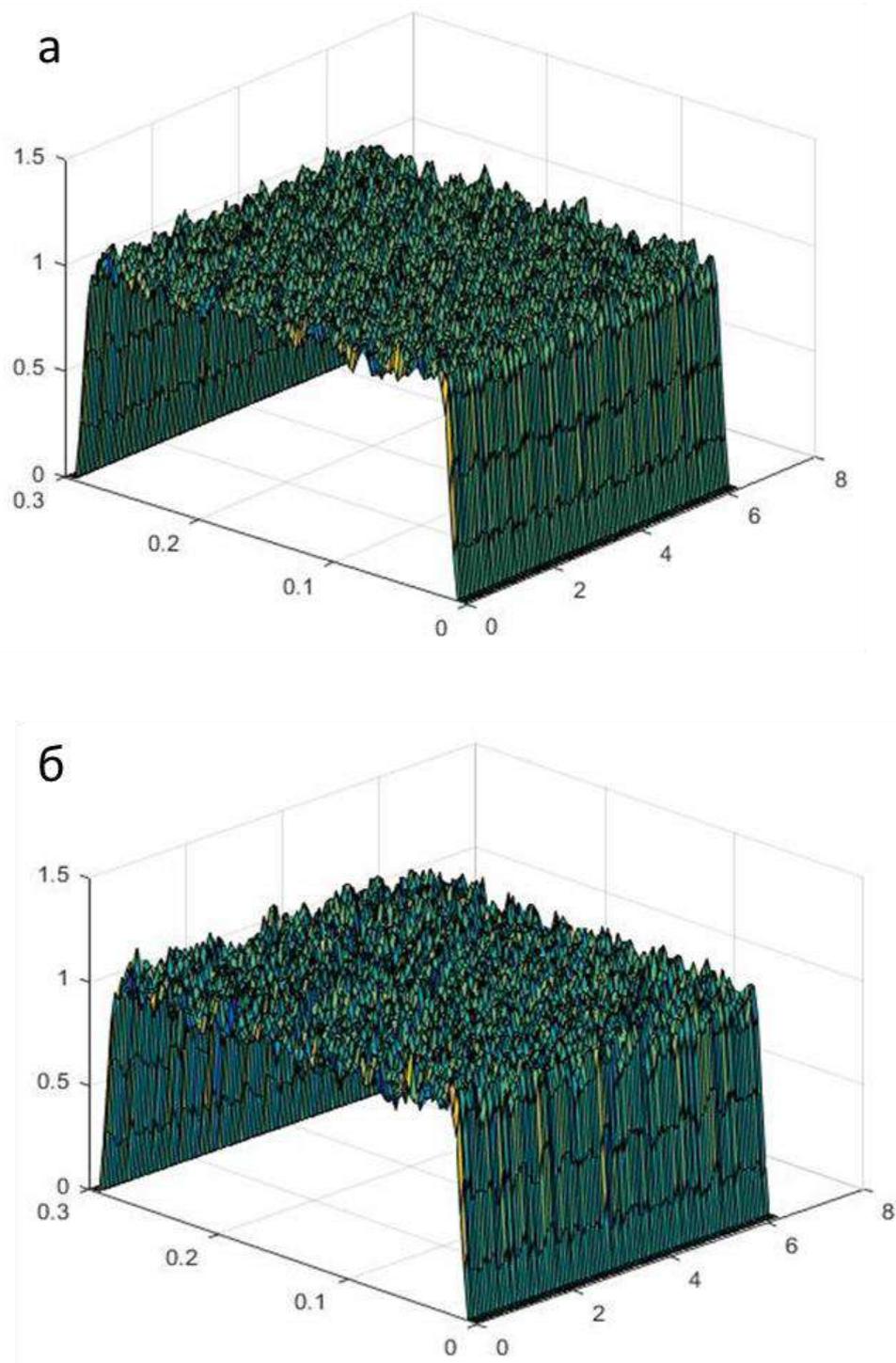


Рисунок 3.19 – Зависимость  $m(x, y)/m_0$

а)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=50, \sigma=0,142$ ;

б)  $N_1=1, N_2=2, N_3=1, k_c=100, \sigma=0,136$

### 3.4 Выводы по главе 3

1. Предложен параметр, описывающий степень жгутообразования и позволяющий сравнивать эффективность различных механизмов устраняющих жгутообразование.

2. Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для исследования эффективности работы механизма устранения жгутообразования для различных способов устранения жгутообразования.

3. Предложен новый способ устранения жгутообразования, заключающийся в периодическом изменении длины раскладки при сохранении постоянной скорости раскладки, а с ней и скорости наматывания.

4. Проведенный компьютерный эксперимент показал высокую эффективность предложенного способа устранения жгутообразования.

## ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОКРАЩЕНИЯ ДЛИНЫ ПАКОВКИ

### 4.1 Цели и задачи эксперимента. Описание лабораторной установки

В теоретическом исследовании представленном в главе 2 предполагалось что сокращение длины паковки  $S_m$  зависит от закона сопряжения винтовых канавок противоположны направлений в нитераскладочном механизме, угла поворота винтового барабанчика, за который происходит смена направления движения нитеводителя  $\varphi_p$  (угол реверса) и угла наматывания нити в средней части паковки.

Для проверки результатов и сделанных выводов на основе теоретического исследования в главах 2 и 3 настоящей работы, было выполнено экспериментальное исследование влияния угла наматывания нити на величину сокращения длины паковки [80].

Для проведения экспериментального исследования был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд [33-36], кинематическая схема которого представлена на рисунке 4.1. Привод шпинделя с закрепленной на нем паковкой 1 производится от шагового двигателя Д1, а привод винтового барабанчика 2 нитераскладчика с нитеводителем 3 от двигателя Д2 через зубчато-ременную передачу 7 с передаточным числом 2. Угловые скорости вращения двигателей Д1 и Д2, соответственно  $\omega_1$  и  $\omega_2$  задаются компьютером б. В ходе проведения эксперимента изменялся угол наматывания нити  $\alpha$  за счет изменения соотношения между окружной скоростью  $V_{окр}$  паковки 1 и скоростью  $V_g$  движения нитеводителя 3. При этом руководствовались следующими соотношениями:

$$V_{окр} = \omega_1 r, \text{ где } r - \text{ наружный радиус намоточного изделия (паковки);}$$

$$V_g = h \frac{\omega_2}{2\pi}, \text{ где } h - \text{ шаг винтовой канавки нитераскладчика;}$$

$$\alpha = \arctg \frac{V_g}{V_{окр}};$$

При проведении эксперимента изменялось расстояние  $L$  между линией движения нитеводителя и линией набегания нити на паковку. Для изменения этого расстояния был применен специально разработанный нитеводитель, изображенный на рисунках 4.2 - 4.4.

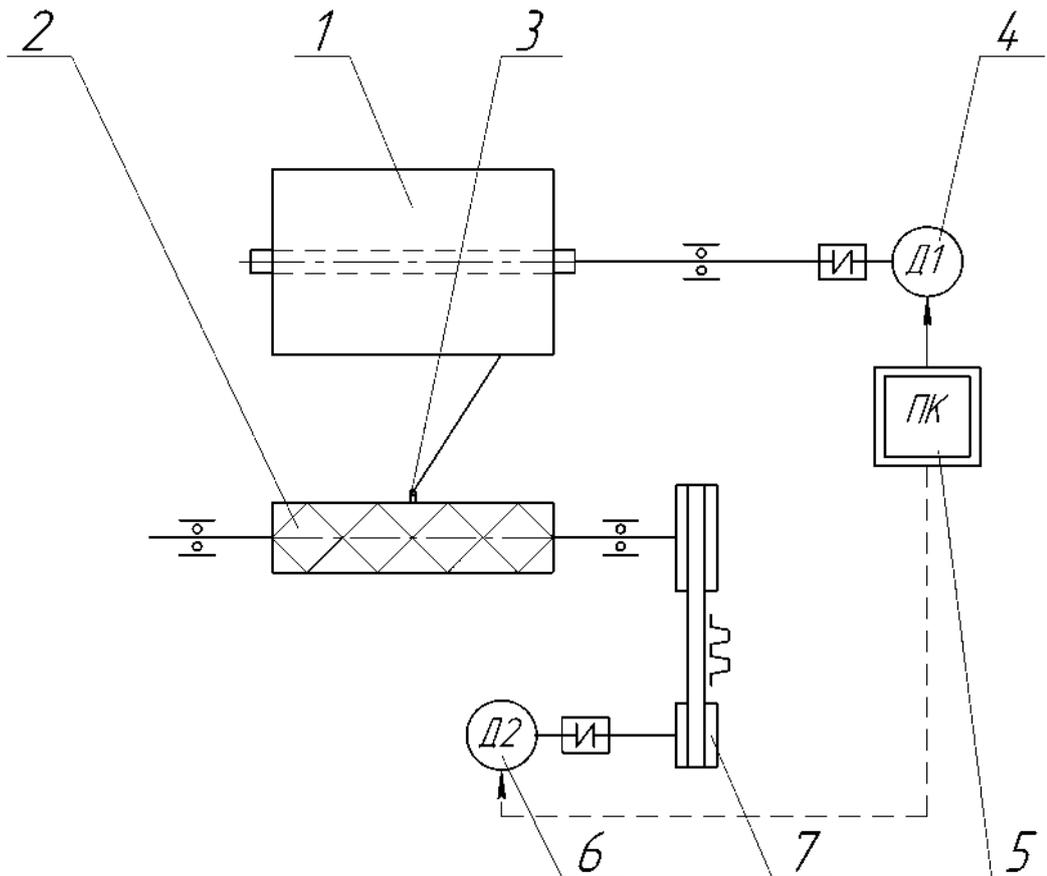


Рисунок 4.1 – Кинематическая схема экспериментального стенда.



Рисунок 4.2- Общий вид экспериментального стенда.



Рисунок 4.3 - Общий вид экспериментального стенда. Узел нитеводителя.



Рисунок 4.4 - Общий вид экспериментального стенда. Узел нитераскладчика.

На рисунке 4.5 представлены результаты расчетов теоретической зависимости одностороннего сокращения длины паковки от частоты вращения винтового барабанчика. Результаты рассчитаны при различных расстояниях  $L$  между линией движения нитеводителя и линией набегания нити на паковку. Вывод формул для расчетов и блок-схема алгоритма приведены в главе 2 [44].

## 4.2 Анализ результатов эксперимента

На рисунках 4.6 - 4.10 представлены результаты экспериментальных исследований зависимости одностороннего сокращения длины паковки от частоты вращения винтового барабанчика. При этом теоретическая зависимость [44] изображена сплошной линией, а экспериментальные результаты изображены точками. В процессе проведения эксперимента [80] устанавливали расстояние  $L$  между линией движения нитеводителя и линией набегания нити на паковку последовательно от 40 мм до 80 мм. При каждом значении  $L$  изменяли

скорость движения нитеводителя за счет изменения угловой скорости винтового барабанчика. Каждое измерение выполняли пять раз, отбрасывали выскакивающие значения, а оставшиеся значения усредняли.

Результаты эксперимента приведенные на рисунках 4.6 - 4.10 показывают, что экспериментальные значения хорошо согласуются с теоретическими [44]. Исключение составляют только результаты, полученные при  $L = 40$  мм в области больших углов наматывания. Увеличение сокращения паковки полученное экспериментально превышает теоретические значения в силу того, что нить соскальзывает по поверхности паковки после того как она уложена на ее поверхность.

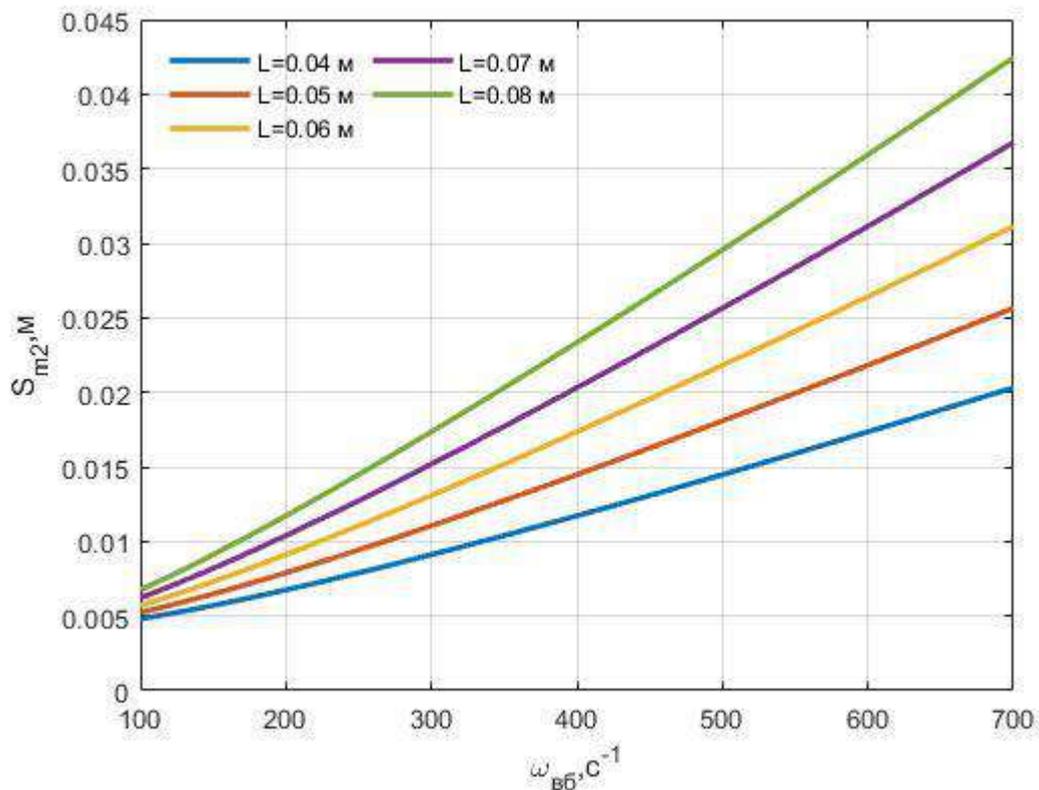


Рисунок 4.5 – Расчетные зависимости  $S_{m2}(\omega_{вб})$  для различных значений  $L$ .

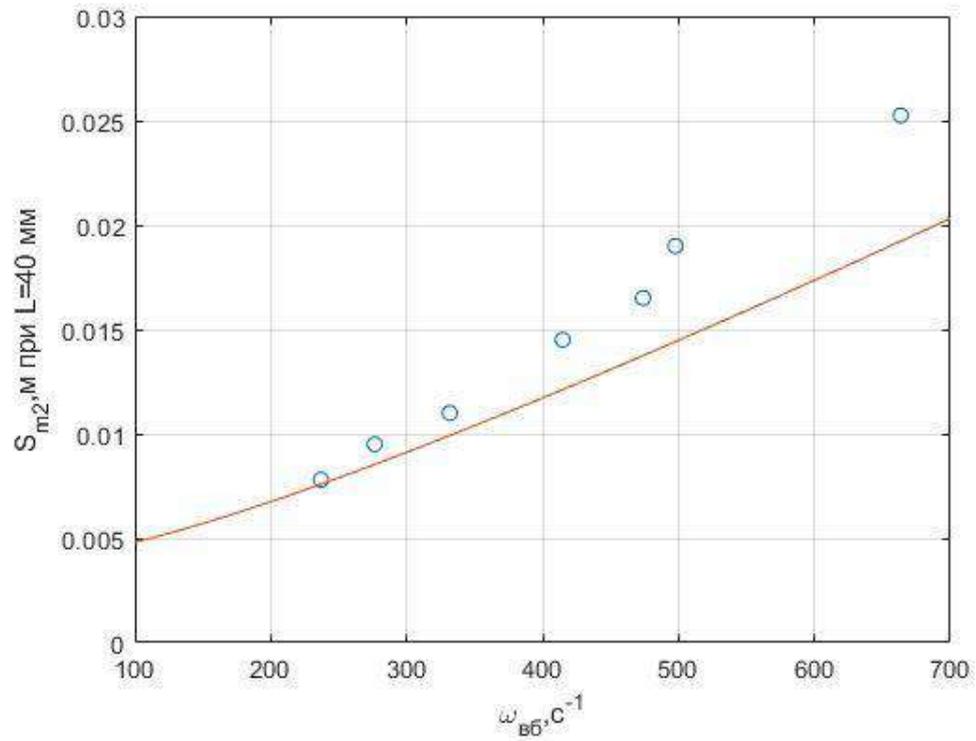


Рисунок 4.6 – Расчетные и экспериментальные значения  $S_{m2}(\omega_{вб})$   
при  $L = 40 \text{ мм}$

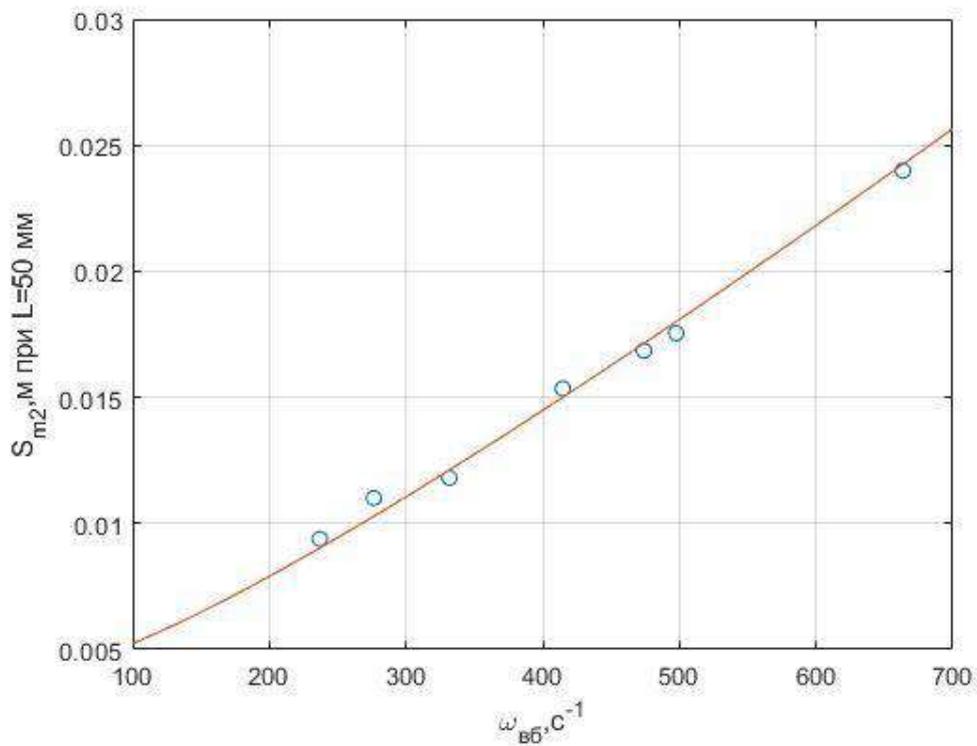


Рисунок 4.7 - Расчетные и экспериментальные значения  $S_{m2}(\omega_{вб})$   
при  $L = 50 \text{ мм}$

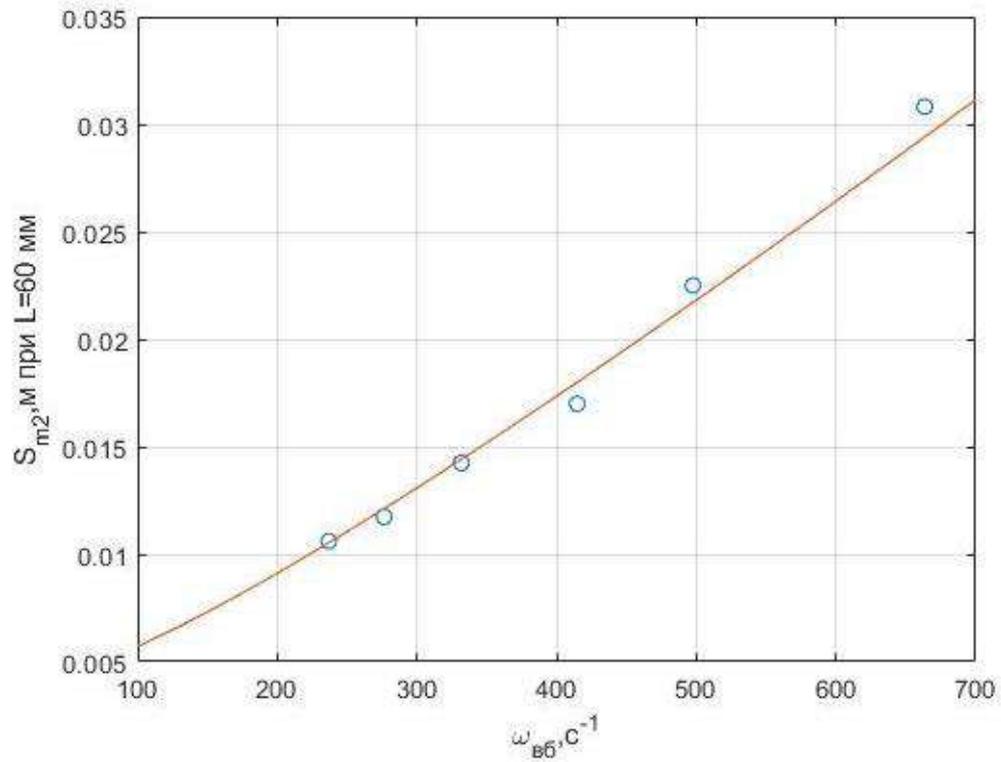


Рисунок 4.8 - Расчетные и экспериментальные значения  $S_{m2}(\omega_{вб})$   
при  $L = 60$  мм

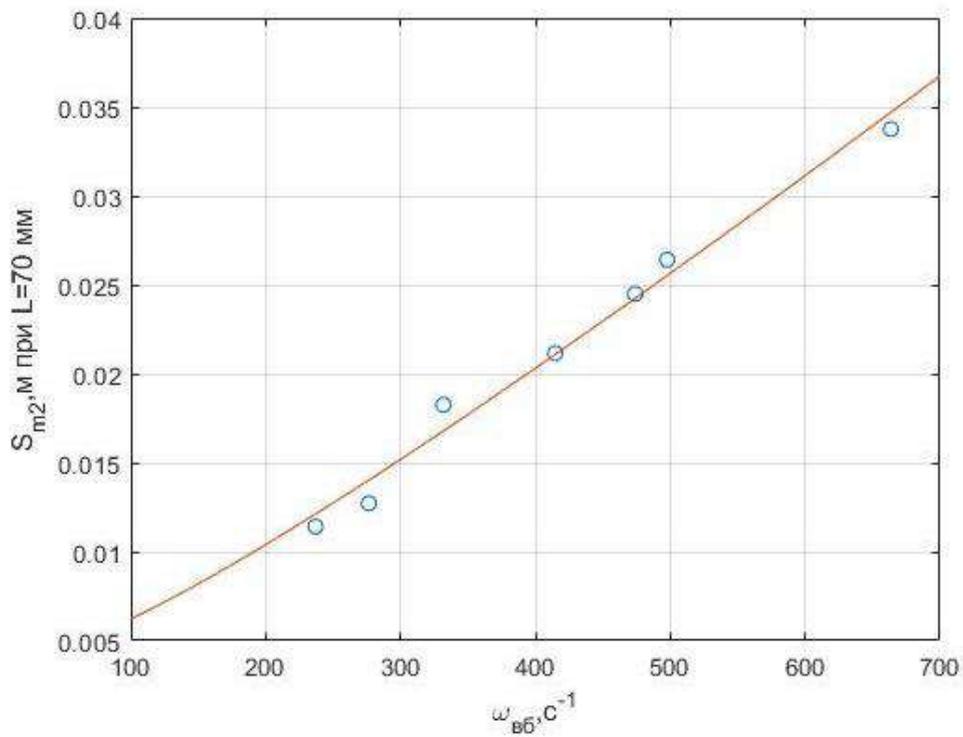


Рисунок 4.9 - Расчетные и экспериментальные значения  $S_{m2}(\omega_{вб})$   
при  $L = 70$  мм

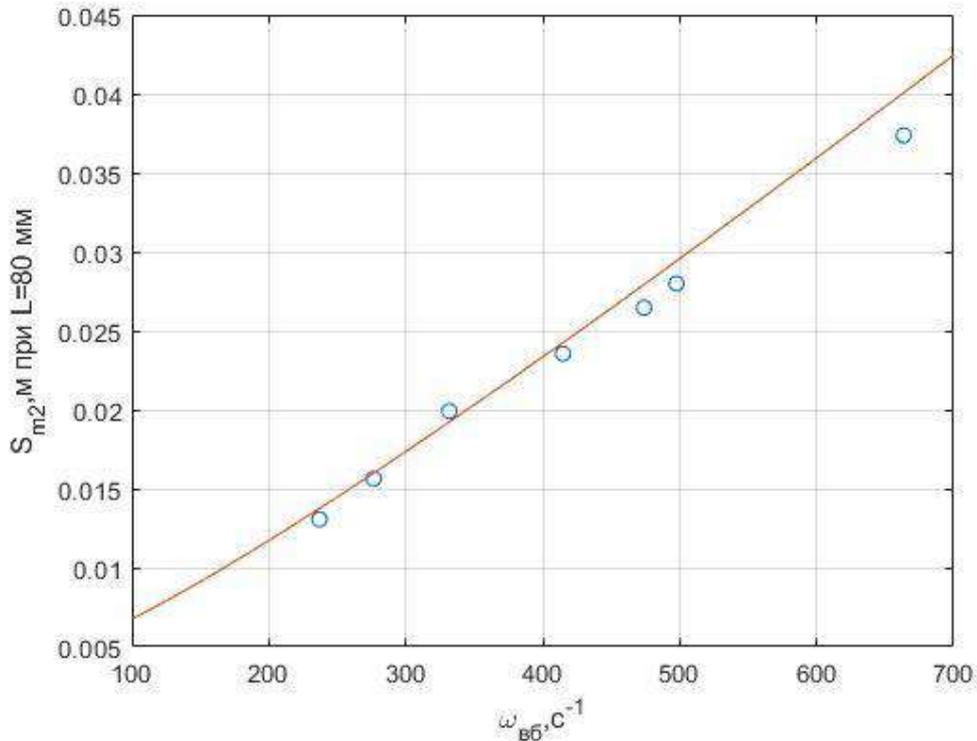


Рисунок 4.10 - Расчетные и экспериментальные значения  $S_{m2}(\omega_{вб})$

при  $L = 80$  мм

В результате проведенного в главе 2 теоретического исследования с использованием компьютерной модели процесса наматывания установлено, что уплотнения паковки на торцевых участках можно существенно уменьшить за счет изменения длины раскладки нити (хода нитеводителя) по кусочно-линейному закону. Такой же закон изменения длины раскладки нити при водит к существенному уменьшению процесса жгутообразования при наматывании с постоянным углом. Этот результат получен при проведении компьютерного эксперимента в главе 3. Таким образом изменение длины раскладки нити по кусочно-линейному закону приводит одновременно к устранению или существенному уменьшению двух основных дефектов паковок. Проведенные в главе 4 экспериментальные исследования показали справедливость теории, положенной в основу разработанных компьютерных моделей.

### 4.3 Конструкция нового нитераскладочного механизма

Для реализации предлагаемого метода получения паковок с равномерно распределенной плотностью разработана конструкция нового нитераскладочного механизма, 3D модель которого представлена на рисунках 4.11 и 4.12, где 1 - рамка нитераскладчика, 2 - ось рамки, 3 – шаговый / серво- двигатель, 4 - ведущий шкив, 5 - гибкий орган (нить, шнур), 6 - направляющие ролики, 7 – нитеводитель, 8 - глазок нитеводителя, 9 - направляющая планка нитеводителя, 10 - прикаточный ролик.

Нитераскладчик (рисунок 4.11) установлен на рамке 1, закреплённой на оси 2, которая зафиксирована в подшипниках корпуса намоточного механизма (на рисунке не показаны) и имеет возможность поворота при возрастании диаметра паковки. Нитераскладчик состоит из приводного шагового или серводвигателя 3 на выходном валу которого закреплён ведущий шкив 4, гибкого органа (нить, шнур) 5. Гибкий орган 5 огибает два направляющих ролика 6 и приводит в движение прикреплённый к нему нитеводитель 7 содержащий глазок 8, через который проходит наматываемая нить (на рисунке не показана). Нитеводитель 7 соединён с ползуном, расположенном в пазу направляющей планки 9. На рамке нитераскладчика 1 закреплён прикаточный ролик 10, контактирующий с поверхностью паковки (на рисунке не показана).

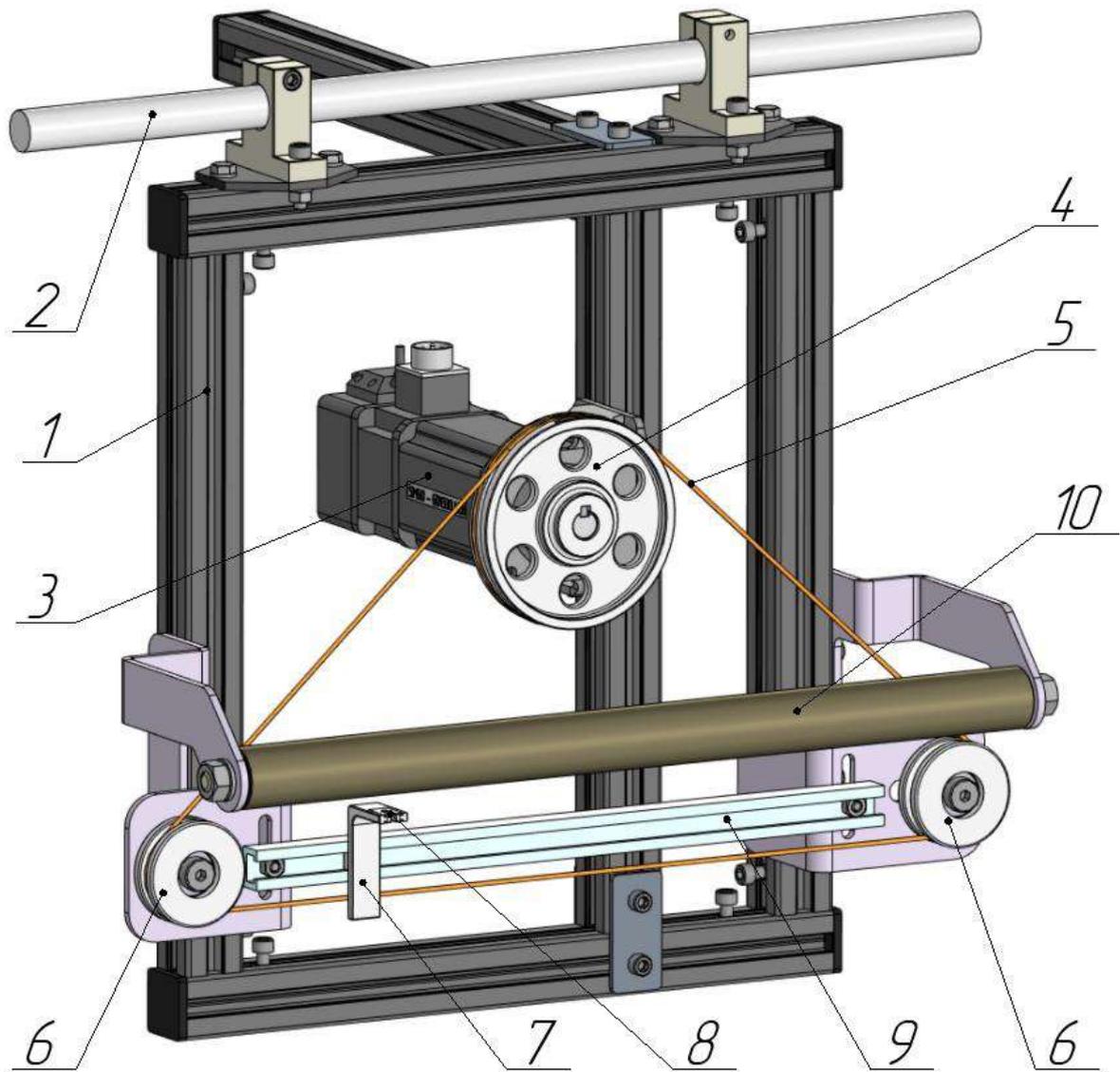


Рисунок 4.11 – 3D модель предлагаемого нитераскладочного механизма

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.

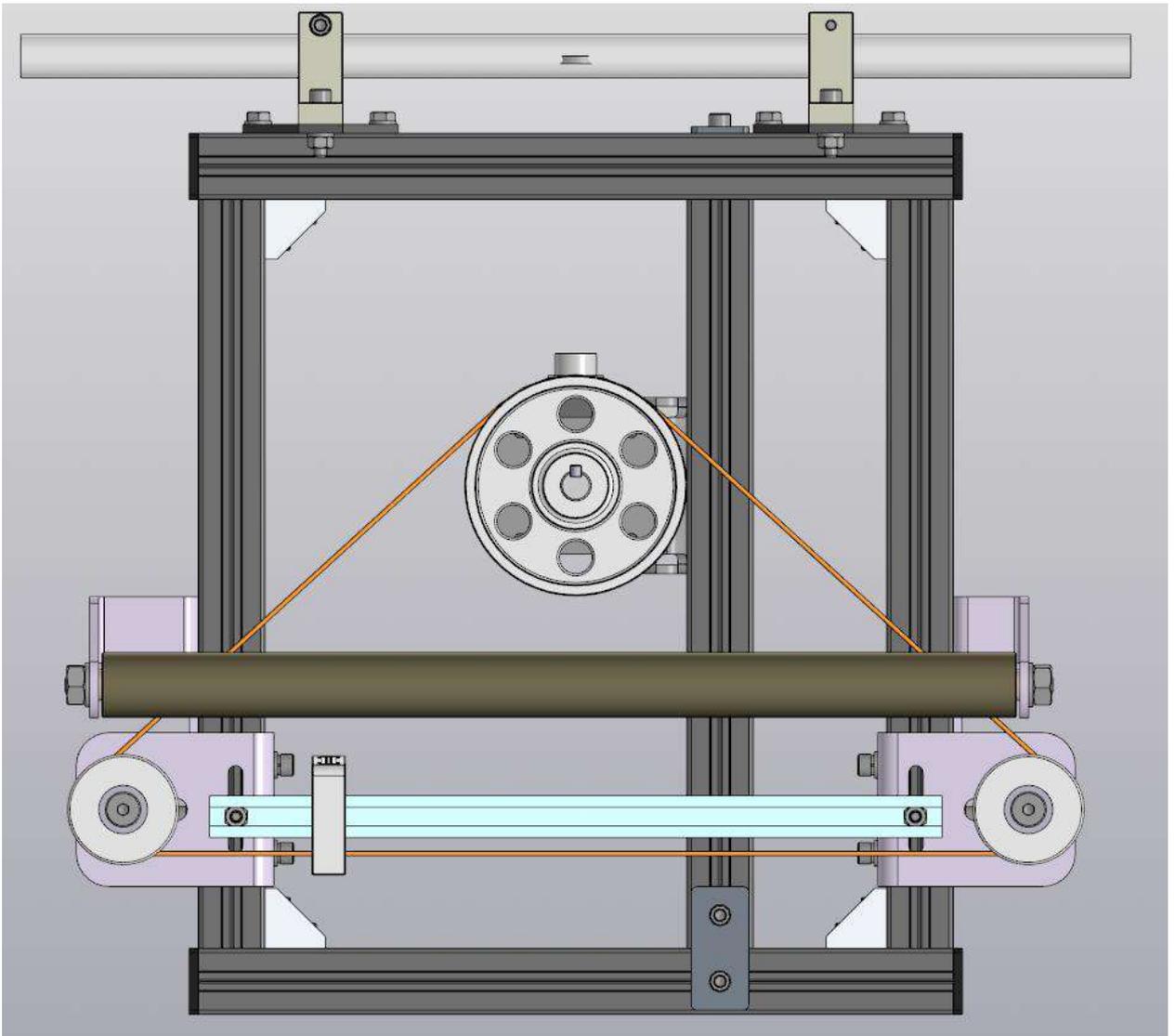


Рисунок 4.12 – 3D модель предлагаемого нитераскладочного механизма  
(вид спереди)

Предлагаемый нитераскладочный механизм интегрирован в конструкцию экспериментального намоточного механизма [33-36], 3D модель которого представлена на рисунках 4.13 и 4.14.

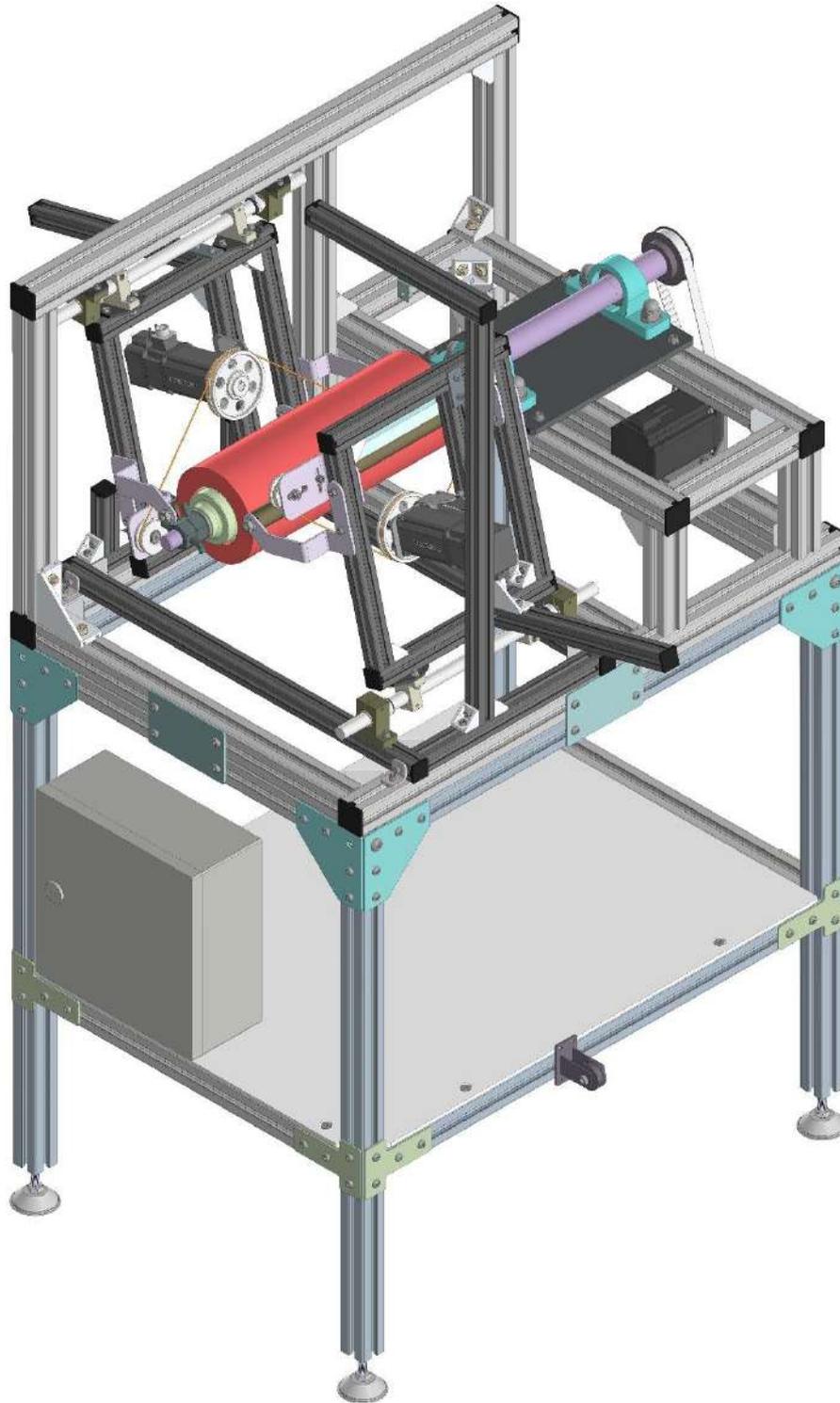


Рисунок 4.13 – 3D модель предлагаемого нитераскладочного механизма интегрированного в конструкцию экспериментального намоточного механизма (изометрия)

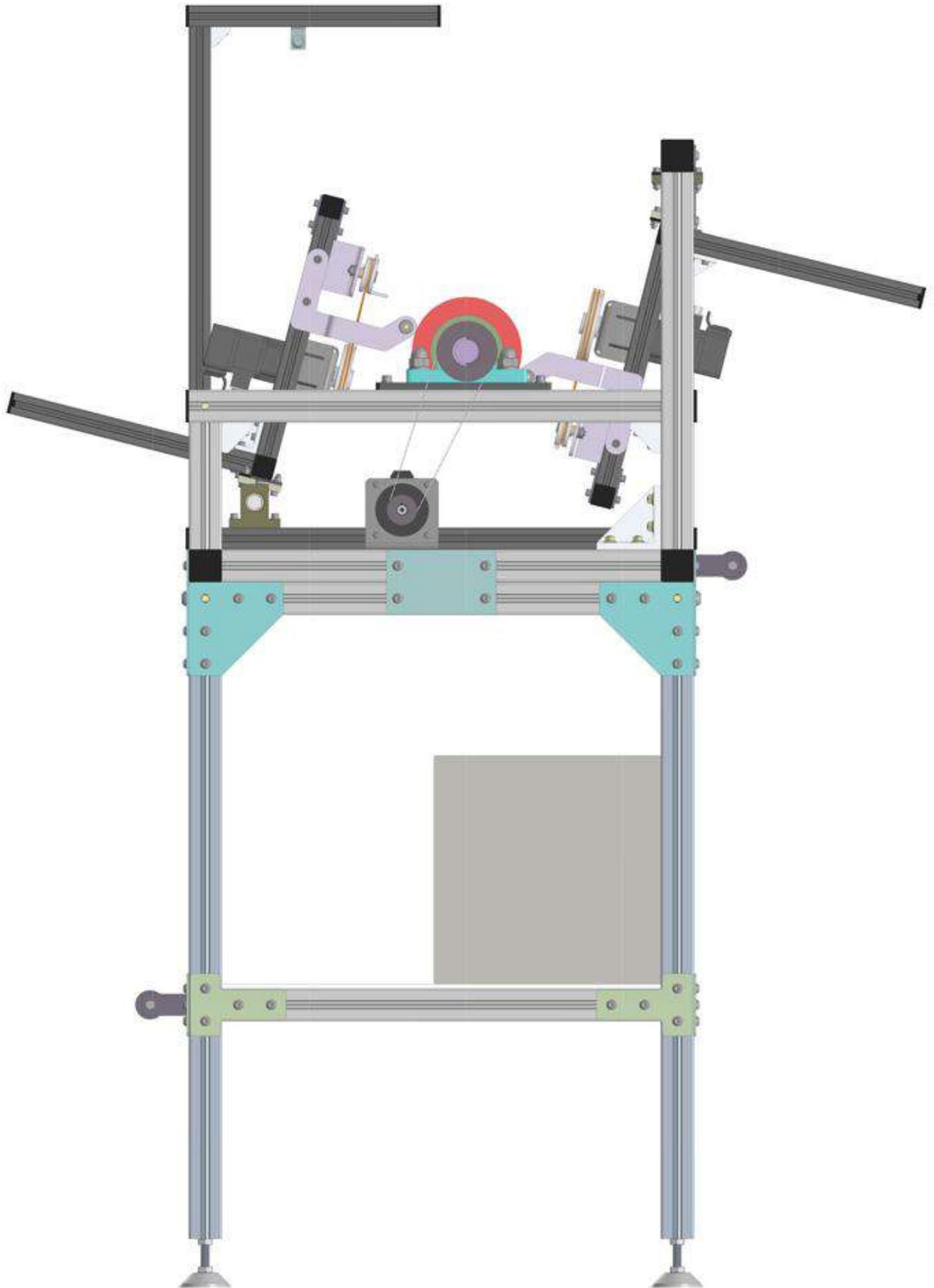


Рисунок 4.14 – 3D модель предлагаемого нитераскладочного механизма интегрированного в конструкцию экспериментального намоточного механизма (вид сбоку)

#### **4.4 Выводы по главе 4**

1. Для проведения экспериментальных исследований был разработан экспериментальный стенд. Результаты проведенных экспериментов подтверждают правильность закономерностей положенных в основу теоретических исследований.

2. Предложена конструкция нитераскладочного механизма позволяющего реализовать законы движения для устранения уплотнений на торцах и жгутообразования.

3. Конструкция предлагаемого нитераскладочного механизма интегрирована в разработанный на кафедре машиноведения экспериментальный намоточный механизм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика, математические модели и алгоритмы для анализа и совершенствования намоточных механизмов, обеспечивающих изучение 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.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Панин, А. И. Экспериментально-теоретическое исследование формирования мотальных паковок для создания и внедрения перспективных текстильных материалов : специальность 05.19.02 "Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Панин Алексей Иванович, 2015. – 309 с. – EDN YSDDNF.
2. Сухарев В.А. Расчет тел намотки / В.А. Сухарев, И.И. Матюшев. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с., ил.
3. Патент № 2856014 Германия, МПК В65Н 54/32. Сменное устройство на перематывающих устройствах для скручивания и обрезки : Дата заявки 1980-07-09.
4. Патент № US4767071 США, МПК В65Н 54/38, В65Н 54/32, Классификационные коды США: 242/18.1, 242/43 R, 242/43.1. Метод и устройство для намотки пряжи. Дата заявки 20.11.1987 г.
5. Патент № JP61145075 Япония, МПК В21Н1/00. Способ и устройство для определения объема наматывания. Дата заявки 1986-06-20.
6. Патент № US2003116672, США. МПК В65Н 54/28. Классификационные коды США: 242/480.9, 242/477.3. Метод и устройство для формирования намотанного пакета цилиндрического типа. Заявлено 20.12.2002 г.
7. Патент № JP2002104730, Японии. МПК В21Н1/00. Оборудование для наматывания и способ наматывания. Дата заявки 2002-04-10
8. Заявка № DE102010031705, Германия. МПК В65Н 54/28. Устройство управления, предназначенное для использования в устройстве для перемещения нити в зоне намотки машины для текстурирования полотна. Дата заявки 2011-01-27.

9. Патент № EP3865442, Европейский союз. МПК В65Н 54/38, В65Н 57/28, В65Н 54/02. Устройство для намотки пряжи и способ производства упаковки. Дата заявки 18.08.2021.

10. Заявка № JP2016108071, Япония. МПК В65Н54/28. Устройство для намотки нитяной линии. Дата заявки 2016-06-20.

11. Регельман, Е. З. Приемные механизмы машин для производства химических волокон / Е. З. Регельман, Н.В. Рокотов под ред. Е.З. Регельмана. – Л. : Издательство Ленинградского университета. 1988. – 248 с.

12. Прошков, А.Ф. Механизмы раскладки нити (вопросы проектирования). – М.: Легпромбытиздат. 1986. – 248 с.

13. Прошков, А.Ф. Динамика машин для производства химических нитей и волокон. / А.Ф. Прошков, А.П. Яскин – Учебник. – 2-е изд., испр. – М.:МГТУ, 2001. – 360 с.

14. Прошков, А.Ф. Расчет и проектирование машин для производства химических нитей и волокон. Учеб. для вузов. – М.: РИО МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001 – 497 с.

15. Вульфсон, И. И. Динамические расчеты цикловых механизмов. – Л., «Машиностроение» (Ленингр. Отделение), – 1976. – 328 с.

16. Мазин, Л. С. Частотный и модальный анализ приемно-намоточного механизма / Л. С. Мазин, Р. С. Ашур // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2008. – № 15. – С. 47-50. – EDN GXFIFT.

17. Мазин, Л. С. Исследование динамики приемно-намоточно механизма / Л. С. Мазин, А. С. Раед // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2007. – № 14. – С. 63-66. – EDN GHQWVS.

18. Мазин, Л. С. Динамическая и математическая модели намоточного механизма с подвесом параллелограммного типа / Л. С. Мазин, К. И. Мартынич // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2016. – Т. 31, № 1. – С. 37-41. – EDN WBPECР.

19. Мартынич, К. И. К вопросу выбора конструктивных параметров приемно-намоточного механизма с подвесом параллелограммного типа и револьверной головкой для химических нитей / К. И. Мартынич, Л. С. Мазин // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2018. – № 1. – С. 7-9. – EDN VYCYBU.

20. Мазин, Л. С. Определение силы контактного взаимодействия паковки с фрикционным цилиндром в намоточных механизмах / Л. С. Мазин // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2013. – Т. 20, № 2. – С. 55-57. – EDN RCDFBB.

21. Панин, И. Н. Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения : специальность 05.19.03 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Панин Иван Николаевич. – Москва, 1996. – 31 с. – EDN ZJRTIL.

22. Панин, М. И. Дефекты намотки мотальных паковок и причины их возникновения / М. И. Панин, И. В. Синякина, С. Д. Николаев, Н. А. Николаева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2009. № 6(321). С. 48-53. EDN LGONKL.

23. Панин, И. Н. Условия формирования мотальных паковок сомкнутой структуры / И. Н. Панин, С. Д. Николаев, О. В. Кащеев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 129-133. – EDN YRGIUT .

24. Николаев, С. Д. Анализ причинно-следственных связей между параметрами, структурой паковки и свойствами нитей при перематывании на основе бинарной теории информации / С. Д. Николаев, И. Н. Панин, М. В.

Назарова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2001. – № 1(259). – С. 28-33. – EDN MPIROX.

25. Николаев, С. Д. О структуре осадка и тонкости очистки воздуха трубчатыми текстильными фильтрами / С. Д. Николаев, А. И. Панин, А. Е. Цимбалюк [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2012. – № 3(339). – С. 148-152. – EDN PFKCGL.

26. Панин, И. Н. Структура мотальной паковки для очистки сточных вод, обеспечивающая прохождение пузырьков воздуха через нее / И. Н. Панин, С. Д. Николаев, О. В. Кашеев, Н. А. Николаева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 2(368). – С. 172-176. – EDN ZEJPMJ.

27. Панин, А. И. О влиянии конструктивных и кинематических параметров мотальных механизмов на структуру намотки и равновесность витков / А. И. Панин, Л. Я. Сухотерин, И. В. Рыбаулина, А. А. Калмыков // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 1(349). – С. 51-56. – EDN SHUFFT.

28. Рудовский, П. Н. Формирование паковок мотальным механизмом с периодическим подтормаживанием мотального вала / П. Н. Рудовский, С. Г. Смирнова // Технологии и качество. – 2020. – № 3(49). – С. 12-15. – DOI 10.34216/2587-6147-2020-3-49-12-15. – EDN ХНРТНТ.

29. Рудовский, П. Н. Формирование паковок с периодическим сокращением хода нитеводителя / П. Н. Рудовский, А. Р. Корабельников // Технологии и качество. – 2018. – № 4(42). – С. 9-14. – EDN VQSMRU.

30. Rudovsky, P. N. Control of package build in random winding / P. N. Rudovsky // Melliand Textilberichte. – 1997. – Vol. 78, No. 3. – P. 138-141+E30-E31. – EDN RQKUGZ.

31. Рудовский, П. Н. Влияние диссипативных свойств текстильной паковки на демпфирование колебаний в мотальном механизме текстильной машины / П. Н. Рудовский, С. В. Палочкин, П. А. Ларюшкин // Известия высших

учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 4(364). – С. 114-117. – EDN WWPDST.

32. Рудовский, П. Н. Формирование паковок с периодическим изменением силы прижима бобины к мотальному валу / П. Н. Рудовский // Технологии и качество. – 2019. – № 4(46). – С. 20-24. – DOI 10.34216/2587-6147-2019-4-46-20-24. – EDN IXYTOQ.

33. Колесников, В. А. Разработка намоточных механизмов для формирования паковок с управляемой структурой / В. А. Колесников, Е.С. Бакалов // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, Витебск, 21–22 ноября 2018 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2018. – С. 153-156.

34. Колесников, В.А. Разработка намоточного механизма для формирования паковок с управляемой переменной структурой / В.А. Колесников, Н.В. Рокотов, К.И. Молчанов, Марковец А.В. в сборнике: XXVI Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов МИКМУС-2014. Труды конференции. Российская Академия наук; РФФИ; Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления; Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. 2015. С. 503-506.

35. 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 ; в сборнике: XXVII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2015). Труды конференции. 2015. С. 419-422.

36. Колесников, В.А. Экспериментальный стенд для полиструктурной прецизионной намотки / В.А. Колесников, Н.В. Рокотов, А.В. Марковец, И.М. Беспалова // Химические волокна. 2019. Т.50. №5 С. 480-482.

37. Рокотов, Н. В. Анализ зазоров, влияющих на работу нитеводителя // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы,

достижения и инновации: сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч. Ч. 1. – Пенза : Наука и просвещение, 2018. – С. 100–105.

38. Рокотов, Н. В. Анализ прецизионной намотки / Н. В. Рокотов, И. М. Беспалова, А. В. Марковец // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2016. – Т. 32, № 2. – С. 22-26. – EDN WWPDBL.

39. Колесников, В. А. Экспериментальное исследование процессов получения поволоки 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, 02–04 декабря 2015 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2015. – С. 419-422. – EDN WGJIWR.

40. Рокотов, Н. В. Моделирование процесса жгутообразования при намотке 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. – EDN VAAQKE.

41. Колесников, В. А. Анализ структуры прецизионной намотки с использованием компьютерного моделирования / В. А. Колесников, Н. В. Рокотов // XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2019) : Сборник трудов конференции, Москва, 04–06 декабря 2019 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2020. – С. 636-639. – EDN RCYESQ.

42. Рокотов, Н. В. Критерии оценки неравномерности распределения нитей в теле паковки / Н. В. Рокотов, В. В. Смелкова, И.М. Беспалова // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна.

Серия 1: Естественные и технические науки. 2017. № 2. С. 101-105. EDN ZVRNUD.

43. 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. EDN VAAQIO.

44. Альшибли, А. А. Г. Анализ влияния параметров наматывания на сокращение длины паковки / А. А. Г. Альшибли, Н. В. Рокотов, Н. Н. Гуляев, А. А. Пономарь // 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. – EDN ХНХАGR.

45. Безденежных, А. Г. Структурный анализ текстильных паковок сомкнутой крестовой намотки // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2009. Т. 3, № 1. С. 3-7. EDN JXQKRT.

46. Безденежных, А. Г. Анализ напряженного состояния текстильных паковок сомкнутой крестовой намотки / А. Г. Безденежных, Е. А. Борисова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2011. – № 5(334). – С. 105-108. – EDN

47. Kut'in, A. Y. Modelling the production of cylindrical packages / A. Y. Kut'in, Y. K. Kut'in // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. – 2001. – No. 2(260). – P. 113-117. – EDN MPINAV.

48. Кутьин, А. Ю. Моделирование процесса намотки композитных цилиндрических оболочек / А. Ю. Кутьин, Г. П. Арясов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 283-289. – DOI 10.17586/2226-1494-2020-20-2-283-289. – EDN ZHPHBY.

49. Кутьин, А. Ю. Динамика точки наматывания текстильной паковки рулонного типа / А. Ю. Кутьин, Ю. К. Кутьин, Ю. А. Косинов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 2(306). – С. 47-51. – EDN JUWCNX.

50. Babaarslan, O. Tension Variations During Cone Winding on an Open-End Spinning System / O. Babaarslan, Ch. Iype // Textile Research Journal. – 1998. – Vol. 68, No. 9. – P. 649-654. – DOI 10.1177/004051759806800905. – EDN JTVPSR.

51. Махмудова, Н. Р. Метод расчета параметров параллельной намотки несомкнутой структуры / Н. Р. Махмудова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4(382). – С. 88-93. – EDN XEBVRM.

52. Akdag, A. Problems of high-speed winding of continuous filament yarns (winding, yarn) / A. Akdag, 1992. – 1 p. – EDN FPVKRB. Дефекты при высокоскоростной намотке

53. Арипов Н. М. Основные технические требования по диапазону и точности регулирования скорости перемотки шелка-сырца / Н. М. Арипов, О. З. Тоиров, Ш. Ю. Усмонов, Д. Т. Кучкарова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13, № 1(49). – С. 218-231. – EDN APQGLU.

54. Валиев, Г. Н. Аналитическая зависимость пространственного распределения давления слоя крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки / Г. Н. Валиев // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2015. – № 1. – С. 212-216. – EDN UACMCD.

55. Валиев, Г. Н. Теоретическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание по мере формирования паковки / Г. Н. Ва-

лиев // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2016. – № 1-1. – С. 257-261. – EDN WCOQZZ.

56. Валиев, Г. Н. Теоретическая зависимость пространственного распределения давления крестовой намотки на её основание / Г. Н. Валиев, Ж. И. Орипов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2018. – № 1-1. – С. 181-185. – EDN YLSLRB.

57. Hebbberling, F. Design of Winding-Speed Programs for Cylindrical and Tapered-End Textile Package / F. Hebbberling // Textile Research Journal. – 1970. – Vol. 40, No. 1. – P. 48-55. – DOI 10.1177/004051757004000108. – EDN JQJWDF.

58. Koroteeva, L. I. Study of package formation in the winding of optical glass fibre yarns / L. I. Koroteeva, A. P. Yaskin, O. V. Lehtinen // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. – 1998. – No. 3(243). – P. 86-88. – EDN MOZZXF.

59. Nuriyev, M. N. Development of a method for the combined control of the hardness of winding textile package / M. N. Nuriyev, A. M. Jafarova // Eureka: Physics and Engineering. – 2022. – No. 1. – P. 74-84. – DOI 10.21303/2461-4262.2022.002237. – EDN OERKVO.

60. Development of the method of constructing the graphic model of textile packages by experimental data / M. Nuriyev, I. Seydaliyev, K. Dadashova, G. Jabbarova // Technology audit and production reserves. – 2018. – Vol. 3, No. 1(41). – P. 4-10. – DOI 10.15587/2312-8372.2018.135763. – EDN USSBXF.

61. Нуриев, М. Н. Контроль профиля образующих паковок крестовой намотки методом теневой проекции сечения / М. Н. Нуриев, К. С. Дадашова, И. С. Раджабов // Научная дискуссия: инновации в современном мире. – 2016. – № 5-1(48). – С. 44-51. – EDN VZGMSH.

62. Джанпаизова, В. М. Некоторые аспекты определения технологического сопротивления при наматывании нити на коническую паковку / В. М.

Джанпаизова, Г. Д. Кайранбеков, С. Д. Баубеков // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 6(348). – С. 86-88. – EDN TVWPFR.

63. Столяров, А. А. Анализ процесса наматывания пряжи на паковку при выработке ее на кольцевой прядильной машине / А. А. Столяров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 6(321). – С. 41-44. – EDN LGOHIN.

64. Nakazawa, M. A Technique for Direct Measurement of Roving Speed and Its Application to Winding Draft Analysis / M. Nakazawa, T. Isshi, A. Shinohara, S. Matsuhashi // Textile Research Journal. – 1986. – Vol. 56, No. 3. – P. 171-179. – DOI 10.1177/004051758605600304. – EDN JTUYDJ.

65. Babaarslan, O. Tension Variations During Cone Winding on an Open-End Spinning System / O. Babaarslan, Ch. Iype // Textile Research Journal. – 1998. – Vol. 68, No. 9. – P. 649-654. – DOI 10.1177/004051759806800905. – EDN JTVPSR.

66. Вайнер, И. И. Анализ процесса формирования паковок текстильных нитей / И. И. Вайнер, И. А. Шатохина // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2017. – № 1(60). – С. 92-97. – EDN YQQCER.

67. Медведев, А. В. Особенности радиального сматывания нитей из оксида алюминия с вращающейся катушки / А. В. Медведев, К. Э. Разумеев // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2017. – Т. 36, № 2. – С. 88-90. – EDN ZDFLHD.

68. Porat, I. Computer Simulation of Cone Winding Mechanisms with Constant Rate of Yarn Delivery Systems / I. Porat, K. Greenwood, Z. Bandukda // Textile Research Journal. – 1999. – Vol. 69, No. 2. – P. 113-120. – DOI 10.1177/004051759906900206. – EDN JTVQ TZ.

69. Xiang Ming Kong. Steady-State Unwinding of Yarn from Cylindrical Packages / Xiang Ming Kong, Ch. D. Rahn, B. C. Goswami // Textile Research

Journal. – 1999. – Vol. 69, No. 4. – P. 292-306. – DOI 10.1177/004051759906900409. – EDN JTVRET.

70. Кулида, Н. А. 3-D модели формы паковки партионного снования / Н. А. Кулида, А. В. Круглов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 2(356). – С. 59-64. – EDN TXJFYJ.

71. Махмудова, Н. Р. Метод расчета параметров параллельной намотки несомкнутой структуры / Н. Р. Махмудова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4(382). – С. 88-93. – EDN XEBVRM.

72. Поликарпов, А.В. О недостатках наматывающего устройства пневмомеханических прядильных машин ППМ / А.В. Поликарпов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности - 2008 г., № 2с, с.148,

73. Фатдахов, Р.М., Исследование структуры намотки бобины с превмопрядильных машин. / Р.М. Фатдахов, В.П. Пашаева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 1983. – №6. – 112 с.

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

75. Альшибли, А. А. Г. Компьютерное моделирование работы механизма разуплотнения торцев паковки / А. А. Г. Альшибли // 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.

76. 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».

77. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688671 Российская Федерация. Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения скорости движения нитоводителя : № 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».

78. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688670 Российская Федерация. Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения длины раскладки («gibbon7») : № 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».

79. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688681 Российская Федерация. Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью изменения длины раскладки («gibbon8») : № 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».

80. 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 государственной университет, 2024. – С. 86-89.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023682261  
«Моделирование работы механизма разуплотнения торцев паковки»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023682261

Моделирование работы механизма разуплотнения  
торцев паковки

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (RU)*

Авторы: *Рокотов Николай Викторович (RU), Альшибли Али Абдулзахра Гатеа (IQ), Марковец Алексей Владимирович (RU), Гуляев Николай Николаевич (RU), Бакалов Евгений Сергеевич (RU)*

Заявка № 2023681004

Дата поступления 11 октября 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 октября 2023 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023688671  
«Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью  
изменения скорости движения нитеводителя»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№ 2023688671

**Моделирование процесса устранения жгутообразования  
с помощью изменения скорости движения нитеводителя**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-  
Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна» (RU)*

Авторы: *Рокотов Николай Викторович (RU), Альшибли Али  
Абдулзахра Гатеа (IQ), Марковец Алексей Владимирович  
(RU), Гуляев Николай Николаевич (RU), Степанов Михаил  
Витальевич (RU)*

Заявка № 2023686043  
Дата поступления 28 ноября 2023 г.  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 25 декабря 2023 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



Ю.С. Zubov

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023688681  
«Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью  
изменения длины раскладки “ribbon8”»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№ 2023688681

**Моделирование процесса устранения жгутообразования  
с помощью изменения длины раскладки («ribbon8»)**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-  
Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна» (RU)*

Авторы: *Рокотов Николай Викторович (RU), Альшибли Али  
Абдулзахра Гатеа (IQ), Марковец Алексей Владимирович  
(RU), Гуляев Николай Николаевич (RU), Степанов Михаил  
Витальевич (RU)*

Заявка № 2023686044  
Дата поступления 28 ноября 2023 г.  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 25 декабря 2023 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности  
  
Ю.С. Зубов



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023688670  
«Моделирование процесса устранения жгутообразования с помощью  
изменения длины раскладки “ribbon8”»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023688670

**Моделирование процесса устранения жгутообразования  
с помощью изменения длины раскладки («ribbon7»)**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-  
Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна» (RU)*

Авторы: *Рокотов Николай Викторович (RU), Альшибли Али  
Абдулзахра Гатеа (IQ), Марковец Алексей Владимирович  
(RU), Гуляев Николай Николаевич (RU), Степанов Михаил  
Витальевич (RU)*

Заявка № 2023686042  
Дата поступления 28 ноября 2023 г.  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 25 декабря 2023 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



Ю.С. Зубов