

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
« Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ

На правах рукописи

Князькин Станислав Валерьевич

**Разработка технологии создания текстильных армирующих
компонентов композиционных материалов применяемых в атомной
промышленности.**

Специальность 05.19.02 – « Технология и первичная обработка текстильных
материалов и сырья»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук
профессор Панин И.Н.

ДИМИТРОВГРАД 2015

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	7
ГЛАВА I. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КРИТИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ.....	12
1.1. Проблемы и задачи технологий армирования композиционных материалов текстильными волокнами и нитями.....	12
1.2. Способы армирования композиционных материалов с использованием текстильных технологий.....	16
1.3. Анализ использования термостойких волокон в атомной энергетике и иных критических отраслях.....	22
1.4. Комбинированные армирующие текстильные материалы.....	26
1.5. Армирующие компоненты композиционных материалов, формируемые из нитей.....	29
1.6. Армирование композиционных материалов тканями.....	31
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I.....	33
ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОСТОЙКИХ ВОЛОКОН.....	35
2.1. Расчет коэффициента заполнения структур композиционных материалов текстильным армирующим компонентом.....	37
2.2. Расчет параметров подготовки (кручения) плетеных углеродных нитей для выработки армирующих тканей на механических ткацких станках.....	49
2.3. Разработка нового способа формирования плоских нетканых полотен из текстильных термостойких полотен.....	58

2.4. Способы получения высокообъемных слоисто-каркасных тканей из углеродных нитей для армирования композитов.....	63
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ II.....	69
ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕРМОСТОЙКИХ ВОЛОКОН.....	71
3.1. Исследование возможностей использования мотального оборудования фрикционного типа для формирования армирующих компонентов композитов намоткой.....	71
3.2. Разработка конструкции мотального механизма для формирования паковок увеличенных габаритов.....	82
3.3. О влиянии конструкции натяжного прибора на натяжение нити при сматывании ее с паковки.....	89
3.4. Расчет сил нормального давления витков нити на намотку при формировании армирующих паковок.....	94
3.5. К расчету нагрузок композиционных материалов с армирующим компонентом формируемым намоткой.....	101
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III.....	107
Глава IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ АРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФОРМИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	109
4.1. Экспериментальное исследование влияние некоторых факторов на структуру армирующих компонентов формируемых намоткой.....	111
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ IV.....	141
ГЛАВА V. Экономическая эффективность производства армирующих компонентов композиционных материалов на базе текстильных технологий.....	143
5.1. Расчет технико-экономических показателей выработки тканей из углеродных волокон.....	145

5.2. Расчет технико-экономических показателей выпуска препрегов намоткой углеродных нитей на оправку.....	150
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ V.....	154
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	155
ЛИТЕРАТУРА.....	157
Приложение 1.....	163
Приложение 2.....	165
Приложение 3.....	172

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня, в век атомной энергии и интенсивного освоения космического пространства потребность в новых термостойких прочных материалах возрастает с каждым днем. Для нашей страны особое значение при этом имеет импортозамещение.

Области деятельности людей, где нужны термостойкие, прочные и устойчивые к воздействию агрессивных сред материалы часто называют критическими. Данные отрасли связаны с работой оборудования в сложных условиях, при воздействии на него высоких температур, давления и агрессивных сред, что вызывает необходимость применения специальных материалов. Это не только сплавы стекол и керамика, но и материалы – композиты на основе текстильных армирующих компонентов.

Армированные текстильными волокнами, нитями, тканями и неткаными полотнами композиционные материалы приобретают все большее технологическое значение, а объем их производства нарастает во всем мире. Значительно расширяется ассортимент композиционных материалов, а в последние годы и области их использования.

В настоящее время наряду со стеклопластиковыми на основе терморезистивных связующих, широко используемых в композиционных материалах, все больше применяют волокна и нити иной природы, которые наряду с использованием терморезистивных смол образуют новые виды композиционных материалов, применяемых в различных критических областях жизнедеятельности людей. Новые технические возможности открываются также при армировании композиционных материалов формируемых на основе химических волокон.

Большая потребность в жаропрочных материалах возникает при создании термоэмиссионных генераторов, которые работают при температурах в районе 2000°C . Электроэнергию в данных генераторах вырабатывает поток электронов, испускаемый материалом при нагреве в вакууме. Термоэмиссионные преобразователи могут с успехом применяться

и в атомных станциях, для полного использования тепловыделений в сборках реакторных установок. Это устройство называется плазменным диодом, в котором используется пары цезия и катод, содержащий уран. Данные диоды могут быть вмонтированы в блоки ядерного топлива, где расщепление урана в катоде приводит к высоким температурам, необходимым для прямого преобразования энергии.

Особое место, армированные текстильным наполнителем композиционные материалы, занимают в конструкциях термостойких контейнеров, используемых для транспортировки радиоактивных и опасных для человека и окружающей среды веществ. Здесь, наряду с прочностными характеристиками и устойчивости к тепловым воздействиям, на первый план выступают весовые показатели, так как легкость и прочность конструкций контейнеров определяет не только вид транспортирования, но и необходимые энергозатраты на него. Особенно это важно для авиации, космонавтики и атомной энергетики.

Несмотря на кажущуюся простоту, вопросы армирования текстильными наполнителями различной природы композиционных материалов представляют собой сложные и многофакторные задачи, успешное решение которых позволит получить новые преимущества перед известными материалами. Огромное значение при этом приобретают технологии армирования композиционных материалов, а именно – использование не только отдельных волокон или нитей, но и комплексное сочетание структур текстильных полотен (тканей, нетканых полотен, намоток и их разверток, трикотажа, плетеных структур и т.д.) в одном изделии. На решение данных вопросов и направлена данная диссертационная работа.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Разработка технологии создания текстильных армирующих компонентов композиционных материалов для использования их в критических технологиях, в том числе и в атомной энергетике, является актуальной проблемой, решение которой позволяет:

- создавать с помощью «коротких» технологий способы формирования армирующих компонентов композиционных материалов изготавливаемых из термостойких волокон и нитей;

- создавать цельные конструкции изделий специального назначения, применяемых в атомной промышленности для хранения и транспортировки ОЯТ (отработанного ядерного топлива);

- разработать способы формирования комплексных (многослойных) текстильных армирующих компонентов композиционных материалов из тканей, волокон и нитей различной природы;

- создавать специальное мотальное оборудование для формирования намоткой нитей различной природы армирующих компонентов композиционных материалов применяемых в критических отраслях и покупаемых за рубежом;

- обеспечить импортозамещение композиционных материалов специального назначения применяемых в критических отраслях.

Развитие теоретических положений по созданию текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических технологиях, позволяет существенно расширить ассортимент материалов специального назначения (термостойких, прочных, стойких к воздействию агрессивных сред и радиации), отказавшись от использования аналогичных зарубежных образцов.

Выбор темы диссертационной работы обусловлен потребностью конструкторов и проектировщиков композиционных материалов, применяемых в критических отраслях, в новых высокопрочных и

термостойких материалах, при этом с качественными показателями, превосходящими зарубежные аналоги.

Особенностью данной работы является комплексное решение вопросов проектирования и производства текстильных армирующих компонентов из термостойких волокон и нитей, при условии снижения трудозатрат и расходов электроэнергии по сравнению с зарубежными аналогами. Для реализации данных задач используются последние достижения российских ученых текстильщиков, работающих в области технического текстиля.

Целью данной работы является разработка способов формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических отраслях (включая атомную энергетику).

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- исследуется существующее и создается новое специальное мотальное оборудование, конструкция которого позволяет формировать многослойные – комплексные армирующие компоненты композиционных материалов из текстильных термостойких волокон и нитей различной природы;

- проводится критический анализ существующих технологий армирования композиционных материалов, применяемых в нашей стране и за рубежом;

- разрабатываются теоретические положения по формированию высокопрочных и термостойких композиционных материалов, применяемых в критических отраслях;

- проводятся экспериментальные исследования процесса формирования изделий специального назначения на базе намоток и тканей из стеклонитей и углеродных волокон;

- исследуются комплексные структуры текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических отраслях;

- производится наработка опытных образцов композиционных материалов специального назначения на базе намоток и тканей из термостойких нитей, обеспечивающих импортозамещение зарубежных образцов.

Научная новизна работы заключается в разработке теоретических положений расчета прочностных характеристик композиционных материалов армированными различными структурами намоток мотальных паковок специального назначения, а также использование комплексных текстильных полотен из термостойких волокон и нитей различной природы.

В диссертации:

- проведен критический анализ технологий армирования композиционных материалов;

- разработан способ формирования армирующих компонентов композиционных материалов на базе мотальных паковок заданной структуры и формы намотки;

- разработан способ формирования армирующих компонентов композиционных материалов из нитей различной природы;

- разработаны конструкции специального мотального оборудования, обеспечивающего формирование и импортозамещение армирующих компонентов композиционных материалов на базе тканей и намоток;

- разработаны заправочные параметры ткацких станков для формирования тканей с переменной толщиной в продольном направлении, применяемых в качестве армирующего компонента композиционных материалов;

- выпущены новые опытные образцы комплексных компонентов композиционных материалов применяемых в критических областях, обеспечивающих импортозамещение аналогичных структур.

Практическая ценность результатов работы заключается в том, что:

- разработаны и внедрены в производство новые способы формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов из термостойких нитей различной природы;

- разработано и внедрено в производство специальное мотальное оборудование, позволяющее выпускать цельные конечные изделия композиционных материалов, проармированные текстильными нитями из стекло-, углеродных и базальтовых волокон.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации, подтверждается соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также использованием в качестве базовых исследований последних достижений ученых текстильщиков отечественных и зарубежных научных центров, работающих в области создания композиционных материалов, применяемых в критических отраслях.

Автор защищает:

- «короткую» намоточную технологию создания текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических областях, формируемых на базе термостойких и прочных волокон различной природы;

- теоретические положения расчетов и выводов по прочностным характеристикам армирующих компонентов композиционных материалов на базе термостойких текстильных волокон различной природы;

- технологию и конструкции специального мотального оборудования, обеспечивающего выпуск комплексных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических областях;

- результаты экспериментальных исследований процесса формирования композиционных материалов армированных текстильными термостойкими материалами, формируемыми на базе намоток и тканей из стекловолокон.

Апробации и реализация результатов работы:

Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 11 публикациях из них 4 в научных изданиях, включенных в список, утвержденный ВАК РФ.

По результатам работы сделано 2 доклада на научно-технических конференциях всероссийского и регионального уровня, где получили положительную оценку.

Результаты работы апробированы и внедрены в производство композиционных материалов специального назначения на:

- ЗАО «АК Рубин» г. Балашиха;
- ОАО «Нефтегазовые технологии МИФИ» г. Димитровград;

ГЛАВА I. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КРИТИЧЕСКИХ ОТРАСЛЯХ

1.1. Проблемы и задачи технологий армирования композиционных материалов текстильными волокнами и нитями

В настоящее время исследователями, занимающимися разработкой новых композиционных материалов, применяемых в атомной промышленности, ракетостроении и авиации, то есть в так называемых «критических отраслях», все больше внимания уделяется текстильным технологиям, с помощью которых производится армирование композитов. Прежде всего, это относится к области переработки термостойких материалов, устойчивых к воздействию ударных нагрузок и агрессивных сред. Об этом подробно говорится в работах [1 и 2], нацеленных на создание композиционных материалов нового поколения, где подчеркивается важность и их импортозамещение.

Вопросам армирования полимерных материалов текстильными наполнителями (волокнами, нитями, тканями и т.д.) посвящено много работ, как в России, так и за рубежом, начиная с 50-х годов прошлого столетия.

Авторы работ [3, 4, 5] рассматривали не только вопросы применения полимерных армированных материалов в какой-то отдельной отрасли хозяйствования (машиностроении, энергетике, транспорте, авиации), а исследовали проблемы совершенствования структур полимерных материалов и их способности противостоять внешним нагрузкам, воздействию высоких температур и агрессивных сред.

В работе [6] Рабиновичу А.Л. удалось создать физико-механическую модель структуры армированных стеклопластиков, что позволило построить довольно строгую теорию прочности армированных пластиков, используя

понятие высокоэластической компоненты. Однако, для чистых полимеров, да и для многих армированных полимерных материалов точных прочностных моделей создано не было. Это, по нашему мнению, было обусловлено тем, что в тот период времени еще не было точных теоретических положений и обоснованных структур текстильных полотен и тем более намоток, которые появились только в последние годы 20 века и отражены в работах [7, 8, 9]. Поэтому, с точки зрения теоретической и прикладной механики, структура полимерных армированных материалов, подверженных воздействию внешних сил описана не была.

Потребность в получении новых материалов с оптимальными физико-механическими характеристиками, при любом желаемом сочетании специфичных свойств (термостойкости, немагнитности, кислотостойкости и т.п.), привела ученых и инженерных работников к стеклопластикам, как основному конструкционному материалу. Впервые о практическом применении стеклопластиков у нас в стране было сказано в работах [10] и [11]. Наиболее полно конструкторско-технологические преимущества стеклопластиков и их композиций были применены в изготовлении оболочечных конструкций, в агрегатах типа цистерн, емкостей для хранения и транспортировки агрессивных жидкостей и растворов, в трубопроводах и т.п. (емкостях, работающих под высоким давлением).

При этом конструкторы сложного технологического оборудования успешно используют анизотропию прочностных характеристик материала, что позволяет изготавливать прочные и легковесные конструкции, отличающиеся от металлических высокой прочностью, немагнитностью, а главное высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред (влаги, органических растворителей, кислот, солей, щелочей и т.д.).

Однако, организация производства и выпуск изделий из стеклопластика с высокими и стабильными прочностными свойствами требует от инженерных работников большого объема подготовительных работ и специальных расчетов, связанных с выбором типа стеклоарматуры (намотка,

ткань), определением условий статического и динамического нагружения, а также равновесия стекловолокон в структуре армирующих компонентов композитов. Здесь, конструкторами новых изделий, была впервые использована теория и основы механики гибкой нити, разработанные профессором Минаковым А.П. [12].

Прочностные характеристики стеклопластиков определяются как свойствами стекловолокнистых наполнителей, так и связующими, которые использовались при их изготовлении. Так, стеклопластики на основе эпоксидных смол имеют высокую прочность, однако, в зависимости от химического состава смол и типа отвердителя свойства стеклопластиков могут изменяться в довольно широких пределах (20-25%) [13].

Известно [14], что прочностные свойства армированных стеклопластиком композиционных материалов можно изменять в значительной степени путем изменения состава стекла, из которого сделано волокно. Так замена стекловолокна из алюмоборосиликатного стекла Е на волокно из стекла S позволяет увеличить прочность изделий на их основе на 40%. А в работе [15] приведены сведения о том, что еще большего повышения прочности изделий из армированных стеклопластиков можно получить при использовании в качестве наполнителя высокомодульного волокна из стекла X. Прочность стеклопластиков, изготовленных армированием стеклонитью содержащей титаносодержащее стекло Т-273 и эпоксидное связующее, при сжатии составляет 44 кгс/мм² и при изгибе – 72,3 кгс/мм², в то время, как композиты на основе стеклоткани из алюмоборосиликатного стекла эти показатели соответственно имеют 37,6 кгс/мм² и 57,0 кгс/мм² [15].

В настоящее время новые материалы для использования их в критических технологиях создаются с таким расчетом, чтобы обеспечить оптимальное сочетание структурных и термических характеристик. Чтобы получить высокую прочность при минимальной плотности или же получить материалы, стойкие к высоким температурам, тепловому удару и окислению

конструкторы разрабатывают комплексные структуры. Так жаропрочные волокна в сочетании с термостойкими смолами, а также материалы из металла и керамики используются при изготовлении отдельных элементов ракет (диффузоры) и топливные сборки реакторов [16]. Это позволяет с помощью двух видов жаропрочных материалов формировать камеры сгорания топлива, температура наружной поверхности которых не превышает 150°C , даже при нагреве внутренней поверхности до 1000°C и выше. Комбинированная термоизоляция легче, чем монолитная (из фенопласта армированного асбестом).

По выводам аналитического доклада работы [17], армирование волокном пластмасс позволяет создать следующие преимущества:

- облегчается процесс формирования деталей сложной формы;
- исключаются дополнительные операции по механической обработке деталей (сверление, резка, сварка и т.д.);
- сокращаются трудозатраты на сборку изделий;
- снижается вес изделий (до 40%);
- снижается себестоимость продукции.

Однако, к недостаткам армирования композиционных материалов волокнами следует отнести:

- хаотическую ориентацию волокон в объеме пластика, что отрицательно влияет на прочностные характеристики готовых изделий (по нагрузкам, прилагаемым в различных направлениях);
- значительный вес изделия за счет большой доли связующего в объеме изделия.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что на качественные показатели композиционных материалов существенное влияние оказывают не только виды применяемых текстильных волокон, но и структура армирующего компонента.

1.2. Способы армирования композиционных материалов с использованием текстильных волокон

Как показали многочисленные исследования ученых-создателей композиционных материалов, отраженные в работах [18, 19, 20], основные качественные показатели композиционных материалов определяются не только видом связующего компонента, но главным образом и структурой армирующего материала. В качестве армирующего компонента современных композиционных материалов с успехом используются текстильные волокна, нити или жгуты, ткани (препреги), трикотажные и нетканые полотна и т.д.

Выбор того, или иного вида армирования определяет не только качественные показатели конечного продукта, но и технологию его изготовления, а следовательно и затраты на выпуск конечной продукции. Выбор технологического процесса армирования должен основываться на принципах минимального механического воздействия на нити или волокна при их переработке со стороны рабочих органов используемого в производстве оборудования, с целью сохранения их прочностных характеристик. Минимальное истирание нитей, при их переработке в изделие, обеспечивает высокие прочностные характеристики конечного продукта, что особенно важно при переработке углеродных и стекловолокон, по своей природе крайне не устойчивых к истиранию.

Кроме того, при выборе технологии армирования необходимо стремиться обеспечить максимально-возможное заполнение объема композита армирующим (более легким) компонентом. Невысокий удельный вес стекло- и углепластиков это одно из самых ценных свойств композиционного материала, благодаря которому данные материалы имеют повышенный спрос. При использовании иных химических волокон вес армирующего компонента дополнительно уменьшается. По результатам исследований проведенных в работе [21] составлена табл. 1.1, в которой

приводятся сравнительные показатели плотностей различных армированных смол и армирующих материалов.

Таблица 1.1

№, п/п	Вид армированного материала	Плотность, г/см ³	№, п/п	Армирующие материалы	Плотность, г/см ³
1	Стеклопластик	1,48	1	Стекловолокно	2,48-2,54
2	Вискозное волокно/смола	1,16	2	Вискозное волокно	1,5-1,52
3	Полиэфирное волокно/смола	1,12	3	Полиэфирное волокно (диолен)	1,38
4	Полиамидное (перлон) волокно/смола	1,09	4	Полиамидное (перлон)	1,14
5	Полиамидное (найлон) волокно/смола	1,03	5	Полиамидное (найлон)	1,14

В табл. 1.2 приведены значения плотностей различных армированных синтетическими волокнами полимерных композиционных материалов.

Анализ табл. 1.2 показывает зависимость плотностей полимеров от вида армирующего материала, однако, по нашему мнению более важным, качественным показателем композиционных материалов является процентное содержание текстильных волокон в общем объеме композита, так называемый коэффициент заполнения – k_z . Данный показатель приведен в табл. 1.3.

Таблица 1.2.

Полимер	Плотность в зависимости от армирующего материала, г/см ³							
	Стекловолоконно аппретированное аратоном	Стекловолоконно аппретированное силаном А 172	Стекловолоконно аппретированное воланом	Вискозное волокно	Полиэфирное волокно	Полиамидное волокно (перлон)	Полиамидное волокно (найлон)	Чистая смола
Ненасыщенная полиэфирная смола UP-3	1,51	1,51	1,46	1,2	1,05	1,16	1,09	1,21
UP-3А	1,62	1,58	1,48	1,23	1,20	1,13	1,07	1,21
UP-3В	1,54	1,49	1,53	1,16	1,14	1,12	1,04	1,21
Эпоксидные смолы EP-1	1,54	1,49	1,44	1,15	1,10	1,06	1,02	1,08
EP-10А	1,55	1,47	1,42	1,18	1,15	1,10	0,99	1,14
EP-11	1,40	1,29	1,47	1,07	1,11	1,07	1,04	1,10
Полиметакрилатные смолы АС-6	1,58	1,42	1,56	1,09	1,12	1,06	1,01	1,14
АС-14	1,36	1,49	1,41	1,20	1,09	1,05	0,99	1,13
Среднее значение	1,51	1,47	1,47	1,16	1,12	1,09	1,03	-

Таблица 1.3.

№, п/н	Волокно	Содержание волокна в матрице, %
1	Полиэфирное (диолен)	48
2	Полиамидное (найлон)	46
3	Полиамидное (перлон)	36
4	Вискозное волокно	40
5	Стекловолокно (силан)	48
6	Стекловолокно (аппретированное воланом)	46
7	Стекловолокно (аппретированное аратоном)	50

Из табл. 1.3 видно, что минимальное содержание армирующих волокон в составе полимерной композиции наблюдается у полиамидных и вискозных волокон. Стекловолокна обеспечивают довольно высокий коэффициент заполнения композитов, однако вес данных материалов остается высоким.

Композиционные материалы, армированные углеродными волокнами, имеют удельный модуль Юнга значительно более высокий, чем у стекловолокна. Только при такой жесткости волокон композиционные материалы имеют механические характеристики сравнимые, или даже более высокие, чем у металлов. Кроме прочности и жесткости углеродные волокна имеют очень низкую удельную плотность (менее 2 г/см^3), что резко расширяет области их использования в критических отраслях (авиации, космонавтике, атомной энергетике, машиностроении).

Армирующие углеродные волокна имеют микроскопическую структуру, их диаметр колеблется в пределах $6\div 10 \text{ мкм}$, это чистое вещество, на 99% состоящее из углерода. Армированные углеродными волокнами композиционные материалы в настоящее время называют «волшебными» материалами [22, 23], за их свойства, сопоставляемые с металлами, а доля армирующих волокон в объеме композита достигает 60%. Высокий модуль упругости углеродных волокон определяется силой межатомного

взаимодействия. Высокая прочность графита в плоскости атомной решетки обусловлена неполярным характером взаимодействия атомов углерода, а низкая прочность при растяжении в перпендикулярном направлении графита является следствием слабого взаимодействия между атомами соседних слоев [24]. Данные параметры определяют, наряду с температурой термообработки, прочностные характеристики углеродных волокон, а именно высокую устойчивость к растяжению волокон и низкую устойчивость к истиранию.

В настоящее время углеродные волокна вырабатывают при термообработке превышающей температуру графитизации (1400°C), их называют ПАН-волокна [25]. Температура термообработки волокон обеспечивает формирование: «НТ-волокон» (низкотемпературных до 1400°C); «СТ-волокон» (среднетемпературных $1300\div 2000^{\circ}\text{C}$); «ВТ-волокон» (высокотемпературных более 2000°C).

Теоретический предел прочности волокон определяется по формуле:

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{E\gamma}{a}}, \quad (1.1.)$$

где E – модуль упругости;

a – межатомное расстояние;

γ - энергия расширения.

Для графита $\sigma_{теор} \approx \frac{E}{10}$, теоретическая прочность углеродного волокна составляет 100 ГПа. Несмотря на высокие прочностные характеристики углеродных волокон, до сих пор точного ответа о максимально возможном наполнении им композиционного материала сделано не было и только в работе [26] данный вопрос был решен. Как показали расчеты максимально возможный коэффициент заполнения объема композиционного материала армирующим компонентом обеспечивает сомкнутая намотка углеродных нитей на цилиндрическую паковку и он составляет $k_3 = 0,785$. Данный вывод получен на основании расчетов упорядоченного расположения волокон в

мультифиламентных нитях (жгутах), которых может быть от 12000 до 320 000 моноволокон. Такое наполнение армирующим компонентом позволяет проектировать создание самых легких композиционных материалов для авиации и космонавтики.

1.3. Анализ использования термостойких волокон в атомной энергетике и иных критических отраслях

В настоящее время пристальное внимание ученых физиков, как в нашей стране, так и за рубежом, приковано к термостойким волокнам. Именно они составляют основу создания новых материалов и композиций для использования их в атомной энергетике и иных критических отраслях.

К таким волокнам в первую очередь относятся химические шерстоподобные, плавленые, кремнеземные и волокна из двуокиси кремния – рафразил [27]. Основой получения данных волокон является природный минерал – кремнезем. Он встречается в природе в различных формах (различной степени чистоты), в виде кристаллического кварца и в аморфном состоянии (в идее кварцевого песка).

Кварц характеризуется главными показателями:

- температура плавления – 1710-1756 °С;
- плотность – 2,6 г/см³;
- твердость (по Моосу) – 1;

Именно эти характеристики позволяют применять данные волокна и нити в композициях с термостойкими связующими для создания изделий, используемых в атомной энергетике и иных критических отраслях (ракетостроении, самолетостроении, энергетике и т.д.).

Так, например, в атомной энергетике для длительного хранения и транспортировки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) применяются контейнеры, включающие от двух до четырех герметичных пеналов, в которые помещают по одной тепловыделяющей сборке (ТВС) [28]. Устройство контейнера позволяет герметизировать пенал шиббером, а термоизоляция ТВС (которые могут быть разогреты в контейнере за счет остаточного тепловыделения до высоких температур) обеспечивается за счет кремнеземных или асбестовых матов, которыми выкладывается внутренняя поверхность пеналов.

Транспортировка ОЯТ и требования, предъявляемые к ней, обусловлены:

- высокой активностью ($n \cdot 10^{18}$ Бк на тонну);
- значительным остаточным тепловыделением (составляющим до десятков киловатт на тонну);
- наличием делящихся веществ;
- необходимостью предотвращения возможных транспортных аварий (необходимостью создания легких и прочных корпусов пеналов).

Данные требования, по мнению авторов работы [28], приводят конструкторов и проектировщиков нового оборудования к разработке и использованию новых термостойких материалов и конструкций. Поэтому все работы ученых текстильщиков, направленные на развитие технологий переработки термостойких кремнеземных волокон и создание из них армирующих компонентов композитов, следует считать актуальными.

Процесс производства кремнеземных волокон заключается в обработке стекловолокнистых материалов в виде нитей, ваты или тканей кислотами (кроме фосфорной и плавиковой) с последующей термообработкой для дегидратирования волокон. В результате этого волокна усаждаются (утоняются по диаметру), теряют прочность и эластичность. С целью снижения этих негативных явлений волокнистую массу или ткань покрывают кислотостойкими составами (с пористой структурой) или пропитывают фенол-фармальдегидными смолами. Обработанную массу затем погружают в кислоту для выщелачивания.

Порой вместо смолы используется кварцевая ткань из боросиликатного стекла.

Промышленный способ производства ваты из кремнеземных волокон включает следующие операции:

- 1) Штапелирование волокна в виде ровницы;
- 2) Выщелачивание соляной кислотой до высокого содержания SiO_2 , с последующей промывкой;

- 3) Свойлачивание (по принципу свойлачивания-валки шерстяных волокон) в водном растворе;
- 4) Сушка и термообработка материала.

При термообработке происходит усадка, которая ведет к образованию более прочных связей между волокнами и повышению прочности ватки и холстов, что позволяет в дальнейшем использовать традиционное оборудование текстильных предприятий для переработки их в изделия (ткани, намотки, нетканые полотна).

В процессе производства кремнеземные волокна приобретают свойства:

- диаметр волокон от 8 до 12 мкм;
- содержание SiO_2 – до 99%.

Вата и волокнистая масса принимает вид хлопка. Ткани и изделия похожи по внешнему виду на ткани из стекловолокна. Волокна не плавятся при температуре 1650°C и стойки к тепловому удару. При нагреве до 1100°C и последующим быстрым охлаждением водой в нем не происходит заметных прочностных изменений.

Кремнеземные волокна отличаются высокой химической стойкостью, по которым сходны с обычным кварцем (стойки к кислотам и слабым щелочам) при низких и повышенных температурах.

Благодаря очень низкому содержанию бора, кремнеземные волокна могут быть использованы в условиях инертного воздействия потоков нейтронов и гамма-лучей в сочетании с тепловым воздействием.

Испытания изделий из кремнеземных волокон, произведенные в исследовательском ядерном центре Харвелл (Англия) показали, что данные материалы пригодны для использования их в ядерных реакторах, тем более, что термические свойства их не изменяются под действием нейтронной бомбардировки.

Микроскопическое сечение поглощения нейтронов для керамических волокон и пряжи из них не превышают предела $0,016 \div 0,019 \text{ см}^2/2$ [29].

Учитывая вышеизложенное, следует отметить актуальность и важность использования термостойких кремнеземных волокон в качестве армирующих компонентов композиционных материалов при создании новых экранных изделий для атомной энергетики и других критических отраслей.

Высокую эффективность при использовании в атомной промышленности показали также волокна из кремнекислого алюминия – получившие торговое название «файберфракс» [30]. Первоначально оно использовалось для термоизоляции реактивных двигателей, но благодаря тонкопористой, разветвленной структуре, стало незаменимо в качестве фильтров при очистке горячих обходящих газов от радиоактивных частиц, образующихся в атомных реакторах.

Особенностью данных волокон является их очень малый диаметр и очень низкое содержание неволокнистых включений, что позволяет использовать их в качестве армирующего компонента композитов с целью увеличения их термостойкости или в виде волокнистых холстов (нетканых полотен), применяемых в обжиговых печах.

Характеристики данных волокон приведены ниже:

Цвет – белый;

Длина волокон – от 13 до 250 мм;

Средняя длина - 50÷75 мм;

Плотность, $\frac{г}{см^3}$ - 2,73;

Рабочая температура, $^{\circ}C$ – до 1260;

Температура плавления – свыше 1760 $^{\circ}C$.

Состав, вес, %:

Al_2O_3 – 51,3;

SiO_2 – 45,3;

ZrO_2 – 3,4.

Использование данных волокон в комбинациях с намотками и тканями из термостойких материалов открывает новые области их использования.

1.4. Комбинированные армирующие текстильные материалы

Необходимость придания новым композиционным материалам разнообразных свойств и качественных характеристик подталкивает конструкторов все чаще использовать различные текстильные волокна и нити различной природы для создания одного изделия [31].

Чаще всего исследователи используют формовочные смеси различных волокон и связующих. Так для производства легких прочных и термостойких деталей авиационной техники зарубежные фирмы («Карборундум Компании» США) используют формовочные смеси из керамических волокон (кремнекислого алюминия – «файберфракс») и неорганического связующего. Готовые изделия имеют прочную и жесткую наружную поверхность, но мягкую и упругую сердцевину. Благодаря различной температуре сушки и миграции связующего, более тонкостенные изделия получают более высокую относительную прочность при изгибе. (Так при толщине стенки 50 мм она составляет $0,035 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$). А рабочая температура использования изделий возрастает, но не линейно, а в зависимости от толщины твердосплавных слоев и толщины сердцевинного слоя. Покрытия из тканого комбинированного материала (являющегося полностью неорганическим), содержащие керамические волокна различных смесовых долей с термостойким связующим (отверждающимся на холоде), может с успехом использоваться в термоизоляции швов в покрытиях из матов. Они не требуют дополнительной термообработки и выдерживают тепловой удар при температуре до 1260°C , что делает возможность использовать их для термоизоляции высокотемпературных печей и камер, в том числе и пеналов для транспортировки твэлов ОЯТ, а высокая хемостойкость этого материала и смачиваемость многими металлами предоставляет возможность его использования в качестве защитного покрытия графитовых и металлических поверхностей от окисления и воздействия расплавленных металлов [32].

Однако, недостатком таких комбинированных текстильных армирующих компонентов является относительная хаотичность расположения волокон в структуре композиционного материала, что снижает его прочностные характеристики, по отношению к монолитным структурам из волокон и нитей.

Большой вклад в создание термостойких волокон, применяемых в комбинациях с различными связующими, внесли наши ученые текстильщики Вольф Л.Я. и Меос А.И. [33, 34]. Ими разработаны теоретические основы процессов формирования волокон со специфичными свойствами и даны четкие определения терминам «термостойкость» и «теплостойкость» волокон [35].

Термостойкость волокон оценивают по изменению их прочности после нагревания (в активной либо в инертной среде по отношению к волокнам до нагрева) при заданной температуре в течении определенного времени. Количественной характеристикой термостойкости является отношение прочности волокон после нагревания к исходной прочности, выраженной в процентах.

Теплостойкость волокон характеризуют по изменению прочности и удлинению волокон, измеряемым, непосредственно в процессе их нагревания (продолжительность которого, как правило, не превышает нескольких минут).

Данный показатель определяют обычно по температуре обрыва волокон при заданных нагрузках или по графической зависимости прочности (абсолютной или относительной) волокон от температуры, при которой она измерялась.

Следует отметить, что за теплостойкость иногда принимают температуру, при которой волокна разрушаются без нагрузки (так называемую температуру нулевой прочности, или формоустойчивость), хотя, по нашему мнению, строго говоря, это не является критерием теплостойкости, тем более комбинированных армирующих компонентов

композиционных материалов получаемых на основе смеси термостойких волокон.

В качестве комбинаций армирования используют все чаще различные текстильные материалы и продукты. Это могут быть жгуты специального назначения, сформированные из термостойких волокон, обернутых в стеклоткань и перевитых металлической проволокой [37]. Полученный жгут используют в качестве утка при выработке жаропрочных тканей различного переплетения. При этом основой служат проволока из нихрома или инконель [38].

Такие комплексные текстильные структуры могут использоваться как база армирующего компонента новых термостойких материалов, применяемых в критических отраслях.

1.5. Армирующие компоненты композиционных материалов, формируемые из нитей

В отличие от отдельных волокон и смесей волокнистых масс, нити представляют собой однородные протяженные гибкие тела, способные к изгибу и кручению [38]. Размеры их поперечного сечения малы по сравнению с длиной. Прочность нитей во много раз превосходит прочность отдельных волокон [39], что дает возможность использовать их в композиционных материалах в качестве самостоятельного армирующего компонента. Причем, несмотря на материал, из которого сделана нить, чем она тоньше, тем ее относительная прочность выше. Используя прочностные свойства нитей специального назначения, (термостойких углеродных, стеклонитей, базальтовых и т.д.) их с успехом используют в качестве армирующего компонента композиций, например, в качестве оплетки шлангов, экранов кабелей, тросов, канатов и т.д. Структура и строение нитей синтетических (капроновых, полипропиленовых, лавсановых) и искусственных (вискозных, ацетатных, арамидных, углеродных, кремнеземных) во многом определяет не только их свойства, но и главным образом области их применения [40,41].

Исследования механических свойств нитей, проводимые многими учеными [42,43] показывают, что они зависят от их текстильной структуры (взаимного расположения, формы и размеров волокон). В данных работах показано также, что свойства комплексных нитей, в том числе и механические, существенно зависят от формы поперечного сечения элементарных волокон, составляющих нить и их линейной плотности.

Нити специального назначения с давних времен используются в качестве армирующих компонентов композиционных материалов. Одним из таких способов является металлизация нитей. Прежде всего, это было связано с изготовлением доспехов [44], а затем изготовлением парчи, аксамита из золотых нитей [45]. Металлизированные нити «Люрекс» также используются

в виде дополнений к украшениям одежды [46] и изготовления войлоков и нитей «Фортекс-Майлар».

Углеродные нити используются в качестве армирующих компонентов при «выкладке» элементов плоских изделий или намоткой оболочек цилиндрической формы. Благодаря своей низкой объемной плотности (от 1,7 до $1,9 \frac{г}{см^3}$) углеродные нити используются для производства легких термостойких покрытий в виде тканей и их производных. Однако, область применения углеродных волокон ограничивается из-за их дороговизны и сложными многостадийными технологиями выработки конечных продуктов. Одним из активно развивающихся направлений использования углеродных нитей в изделиях специального назначения (текстильная броня), является применение арамидных нитей («кевлар»). Такие нити состоят из мультифиламентов (волокон диаметром 11 мкм) от 130 до 10000 единиц [47]. Основной проблемой переработки арамидных материалов в армирующие изделия композитов связаны с низким коэффициентом трения, что вызывает образование слетов витков с питающих паковок и необходимостью использования специального мотального оборудования. Кроме того, интенсивное истирание нитей о направляющие органы ткацкого станка (бердо, ламели) приводит к потере прочности нитей и повышению их обрывности, что в конечном итоге приводит к снижению качества выпускаемой продукции. Кроме того, при истирании нитей друг о друга и о направляющие элементы оборудования, на котором они перерабатываются, происходит выделение мелкодисперсных микрочастиц, вредных для здоровья человека. Поэтому при переработке углеродных волокон и нитей необходимо соблюдать особые правила техники безопасности (использовать респираторные маски и очки).

Учитывая вышеизложенное, следует отметить, что разработка новых – «коротких» технологий армирования композиционных материалов углеродными и арамидными нитями является актуальной задачей.

1.6. Армирование композиционных материалов тканями

Ткани и тканые многослойные структуры представляют собой большой интерес для конструкторов новых композиционных материалов. Это обусловлено тем, что только ткани, вырабатываемые на механических ткацких станках, имеют «натуральную» (не обрезную или закладную) кромку, что существенно повышает прочность изделия. Возможность формирования полых тканей создает условия для изготовления цилиндрических и конических изделий (фюзеляж, крыло, оболочку ракеты, каркас изолирующего слоя пены ядерного реактора) цельной формы, чего не позволяет сделать ни одна другая технология армирования, кроме намотки.

Раскрой тканей позволяет использовать их для изготовления отдельных многослойных (сшивных) конструкций, а в совокупности со связующими они составляют основную массу композиционных материалов выпускаемых во всем мире [48, 49].

Однако, при выработке многослойных тканей сложной формы (тавры, двутавры, фермы и т.д.) возникают большие проблемы с отводом элементов наработанной ткани из рабочей зоны станка, что требует специального ткацкого оборудования.

Большую проблему представляет и выбор фазы строения ткани, проектируемой для армирования изделий летательных аппаратов. Это связано с различной уработкой нитей основы и утка в ткани, а, следовательно, и объемом заполнения пор ткани связующими смолами. Чем меньше вес связующего компонента в объеме композита, тем изделие легче. Но максимальную долю армирующего компонента в объеме композита, при использовании тканей, удастся достичь лишь в пределах 0,5-0,6 при крайних фазах строения ткани. Это обусловлено минимальным изгибом (уработкой нитей одной из систем), а, следовательно, минимальным объемом пор в ее структуре.

Для повышения коэффициента заполнения тканых армирующих компонентов в композиционных материалах используют «плотность» нитей, то есть придают им форму тонких пленок (для углеродных нитей), что обеспечивает высокую застильность структуры тканых «препрегов» (элементов предварительно пропитанных смолами без отвердителя), и уменьшает размеры пор.

Большой интерес представляют технологии комплексного использования в армировании композиционных материалов тканей из нитей различной природы (стекло-углеродные), а также ткане-намоточные структуры и т.д.

Использование таких сочетаний открывает новые возможности для получения новых материалов с заданными свойствами, поэтому все работы в данном направлении, производимые учеными, следует считать актуальными. Новое направление в авиастроении связано с разработкой цельнотканых армирующих компонентов.

Разработка полых тканых структур с переменной толщиной в продольном направлении ткани, дает возможность получения цельных композиционных материалов (крыльев самолетов и фюзеляжей) без использования низко прочных слоистых структур.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I

1. Анализ литературных источников, касающихся технологий армирования композиционных материалов текстильными компонентами показал, что применение высокопрочных и термостойких текстильных волокон, нитей, тканей, нетканых полотен имеют большое значение для создания новых материалов для всех критических технологий, включая атомную энергетику.

2. Основным критерием выбора того или иного армирующего наполнителя композиционных материалов являются свойства исходных текстильных волокон и нитей, а также технология их переработки.

3. Технология армирования композитов оказывает существенное влияние на долевое содержание в изделии связующего и армирующего компонентов, что определяет в итоге вес конечного продукта.

4. Применение волокон в качестве армирующего компонента композиционных материалов требует большого объема связующих смол, при этом структура армирования остается хаотичной, что снижает прочностные характеристики конечного продукта.

5. Благодаря низкому содержанию бора кремнеземные волокна могут быть использованы для создания тепловых экранов и воздействия нейтронов и γ -лучей в атомной энергетике.

6. Высокую эффективность показывают при их использовании в атомной энергетике волокна из кремнекислого алюминия – «файберфракс», но с учетом их ограниченного выпуска необходимо провести мероприятия по импортозамещению, то есть увеличить объемы выпуска этих волокон в нашей стране.

7. Применение нитей специального назначения в качестве армирующего компонента позволяет расширить технологии их переработки, но при этом необходимо применять более «короткие» технологии, оказывающие меньшее истирающее воздействие на нити.

8. Армирование ткаными структурами композиционных материалов обеспечивает формирование цельных конечных изделий, но требует специального технологического оборудования, причем для переработки каждого вида (сырья) из которого изготовлены нити основы и утка.

9. Оптимизация новых «коротких» технологических процессов изготовления композиционных материалов с использованием текстильных армирующих компонентов является актуальной задачей.

10. Использование «коротких» технологий армирования композитов обеспечивает не только снижение трудозатрат на их изготовление, но главное позволит повысить их прочность за счет снижения вредного истирания нитей в процессе их переработки в изделие.

ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОСТОЙКИХ ВОЛОКОН

Потребность в получении для критических отраслей и производств (в том числе и атомной промышленности) материалов с оптимальными физико-механическими характеристиками, а также специфичными свойствами (устойчивостью к воздействию высоких температур, агрессивных сред и т.д.) привела конструкторов к изучению и разработке новых технологий армирования термостойкими волокнами композиционных материалов и изделий специальными связующими (в основном термореактивными смолами).

Следует отметить, что термореактивные полимеры отверждаются при нагревании, переходя в неплавкое и нерастворимое состояние. Это свойство связующих смол необходимо учитывать при пропитке армирующих компонентов различных структур. [51].

В качестве армирующих компонентов применяются термостойкие волокна, ткани различных переплетений, нетканые полотна, намотки и их комплексы (композиции на основе совместного использования ткане-намоточных, многослойных и многополотенных структур).

Многообразие используемых армирующих материалов и технологий их изготовления обуславливает необходимость их дополнительного изучения и выбора оптимальных параметров и способов армирования композиционных материалов с заданными свойствами, а именно:

k_3 – коэффициент заполнения композиционных материалов армирующим компонентом (характеризующего легкость изделия).

σ – напряжения в волокнах (нитях) текстильной арматуры при центральном одноосном растяжении, $\frac{кг}{мм^2}$.

ν – критерий анизотропии (характеризующий структуру и взаимное расположение волокон и нитей армирующего компонента).

Все иные качественные показатели физико-механических свойств будут определяться в зависимости от вида материала, из которого созданы волокна и нити армирующих компонентов композитов.

2.1. Расчет коэффициента заполнения структур композиционных материалов текстильным армирующим компонентом

Как отмечалось ранее, одним из основных качественных показателей создаваемых композиционными материалами, является коэффициент заполнения – k_z . Данный показатель показывает долю армирующего текстильного материала (волокон, нитей) в общем объеме изделия. Чем выше значение этого показателя, тем легче формируемое изделие по отношению к монолитному изделию из пластика, при этом прочностные характеристики сохраняются на высоком уровне.

Особенно актуально получать новые композиционные материалы с высоким значением k_z для авиа- и ракетостроения, где наряду с высокой прочностью и термостойкостью необходимо снижать вес создаваемых изделий.

Практика создания и использования новых композиционных материалов [52] показывает, что чем выше доля текстильного армирующего компонента в общем объеме композитного материала по сравнению с долей связующего (смолами), тем он легче. В настоящее время существующие технологии позволяют выпускать композиты с долевым отношением масс армирующего и связующего компонентов, максимум 60 на 40. Данное доленое соотношение обусловлено хаотичной (неупорядоченной) структурой расположения волокон в нетканых материалах, либо высокой пористостью и рельефностью тканей применяемых в качестве армирующего компонента композитов.

Следует отметить, что структура ткани более упорядочена, по сравнению с неткаными материалами и обладает значительно превосходящими их прочностными характеристиками. Однако, в процессе подготовки нитей основы и утка к ткачеству (перемотка, снование, проборка), а главное в процессе самого тканеформирования, нити подвергаются интенсивному истиранию в ремизках, о бердо и друг о друга,

что существенно снижает их прочностные характеристики (это особенно важно для углеродных и арамидных нитей).

Как отмечалось ранее, с целью повышения коэффициента заполнения объема ткани, углеродные нити подвергают плетению (утонению поперечника) и предварительному проклеиванию, однако, эти операции и создание препрегов не дают высоких результатов, т.к. рельефность ткани сохраняется.

В меньшей степени нити подвергаются истиранию при перематывании, а многообразие структур намотки мотальных паковок (сомкнутые, замкнутые, застилистые, спиралевидные, дисковые), отличающиеся друг от друга удельной плотностью намотки, пористостью и проницаемостью, позволяют на их основе создавать композитные материалы с заданным (расчетным) долевым соотношением армирующего и связующего компонентов. Очевидно, что данное соотношение может быть получено расчетным путем, на основе определения коэффициента заполнения намотки волокнистым материалом.

В общем случае, поскольку связующий компонент (смолы различного состава) заполняет в армирующем материале поры, как в самом материале, так и в межволоконном пространстве, то степень заполнения будет зависеть от его пористости и проницаемости, которая определяется отношением объема пор к единице объема самого композитного материала, т. е.:

$$\Pi = \frac{V_n}{V}, \quad (2.1)$$

где V - объем композитного материала;

V_n - объем занимаемый порами в общем объеме армирующего компонента.

Как отмечалось ранее, у нетканых материалов распределение пор в общем объеме носит хаотичный характер, а, следовательно, и коэффициент

заполнения объема волокнистым материалом, то есть объемное заполнение не высок и составляет от 0,3 до 0,4.

Упорядоченное расположение нитей основы и утка в структуре ткани позволяет создавать прочные армирующие каркасы композитов. Однако, объемный вес ткани E_v , определяемый как вес единицы объема ткани, и весовое заполнение ткани E_G , определяемое отношением веса нитей основы и утка в ткани к ее максимальному весу G_{max} (определяется при условии полного заполнения всего объема ткани волокнистым материалом), невелики. Как показали исследования, проведенные в работе [53], максимальное весовое заполнение у самой плотной ткани (льняная парусина), не превышает 0,64. Это обстоятельство обусловлено большой рельефностью поверхности тканей, высокой пористостью и рыхлостью структуры, а также порядком фазы строения ткани. Авторы работы [54] отмечают, что при рассмотрении схемы порядка фаз строения ткани видно, что около восьмого порядка фазы строения плотность по основе ткани полотняного переплетения достигает предельного значения, а около второго порядка фазы строения ткань имеет предельное значение плотности по утку, что в свою очередь, обуславливает неравномерную структуру ткани как армирующего компонента композитов.

Практика показывает, что на ткацких станках вырабатываются ткани 5-6 фазы строения, с более равномерной уработкой нитей и по основе и по утку, при этом толщина ткани в различных точках поверхности не является постоянной величиной. Под толщиной ткани понимают ее наибольшую величину, определяемую выступами нитей [54], а измерение толщины тканей сопряжено с трудностями из-за смятия нитей. Поэтому заполнение (весовое) ткани волокнистым материалом можно точно определить лишь экспериментальным путем (например, по массе воды вытесненной тканью при ее погружении в мерный стакан с водой), в этом случае будет учитываться пористость не только структуры ткани, но и нитей, а также волокон, из которых они изготовлены.

При использовании в качестве армирующего компонента композитных материалов намоток, можно определить максимальное значение коэффициента заполнения объема намотки (композита) волокнистым материалом расчетным путем.

Известно [55], что удельная плотность намотки нити на паковку определяется выражением:

$$\gamma = k_3 \cdot \gamma_H, \quad (2.2)$$

где k_3 – коэффициент заполнения объема паковки волокнистым материалом;

γ_H - объемная плотность нити.

Для мотальных паковок различных структур величина этого коэффициента может колебаться от 0,3 до 0,7. Максимальным заполнением объема намотки волокнистым материалом отличаются паковки сомкнутой структуры. Определим значение коэффициента заполнения объема волокнистым материалом для данных намоток.

При формировании сомкнутых намоток на цилиндрических паковках (рис.2.1. – фото сомкнутой структуры намотки; рис.2.2. – развертка односомкнутой опережающей намотки), число витков в объемном слое:

$$W_{oc} = k \cdot i_o \cdot \frac{x}{2v}, \quad (2.3)$$

где $2v$ - большая ось эллипса рис. 2.3 нити в сомкнутой намотке находящейся под натяжением и прессующей нагрузкой укатывающего ролика;

i_o - общее передаточное отношение от нитеводителя к веретену;

k - число оборотов пазового кулачка нитераскладчика за цикл движения нити;

x - минимальное расстояние между витками одного слоя намотки;

$$x = h \cdot \cos \frac{\beta}{2}, \quad (2.4)$$

где $h = \frac{2H}{k}$ - шаг канавки пазового кулачка нитеводителя;

H - высота намотки бобины.

Следовательно:

$$W_{oc} = \frac{k \cdot i_o \frac{2H}{k} \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{i_o \cdot 2\vartheta} = \frac{H \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{b} \quad (2.5.)$$

Суммарная длина всех витков нити в объемном слое:

$$L = l \cdot W_{oc} = \frac{\pi \cdot D}{\cos \frac{\beta}{2}} W_{oc} = \frac{\pi \cdot D \cdot H \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{b \cdot \cos \frac{\beta}{2}} = \frac{\pi \cdot D \cdot H}{b}, \quad (2.6.)$$

где l - длина одного витка намотки нити.

Масса объемного слоя намотки:

$$G = \frac{L}{N} = \frac{\pi \cdot D \cdot H}{b \cdot N}, \quad (2.7.)$$

где N - номер наматываемой нити.

Объем, занимаемый слоем намотки рис. 2.3, составит:

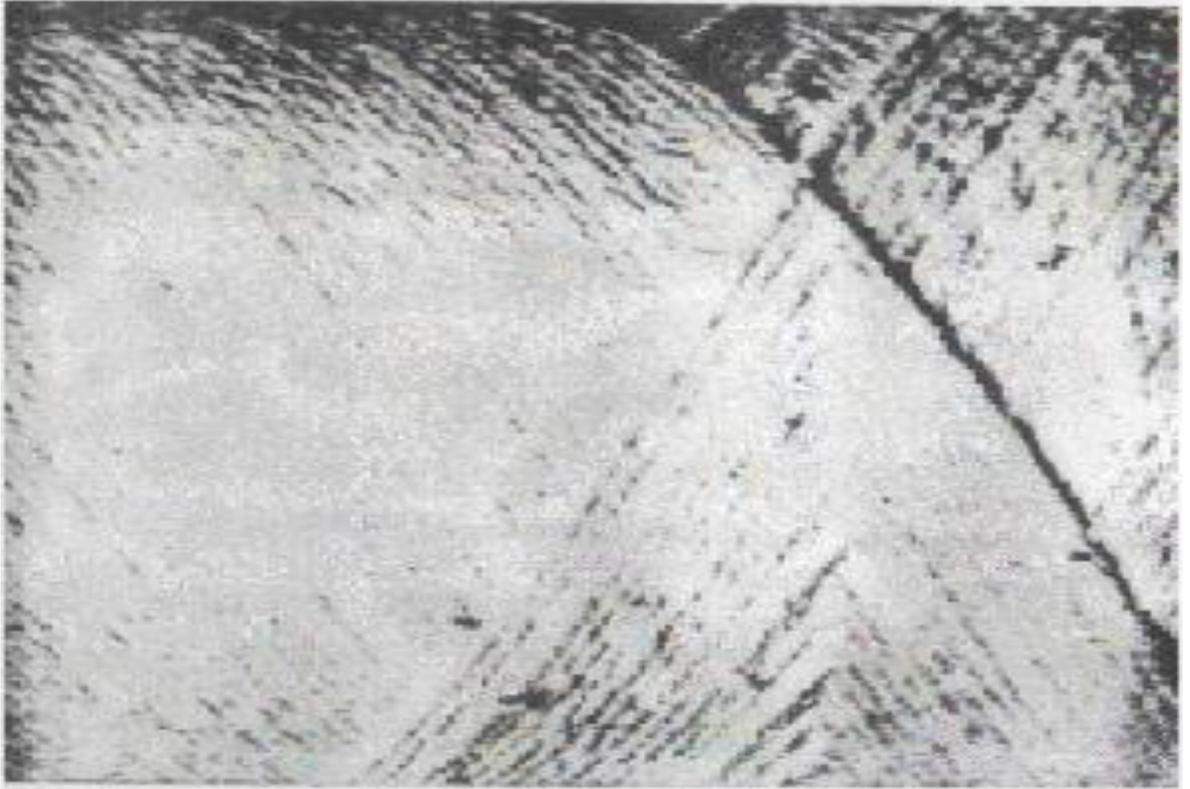


Рисунок 2.1. Фото односомкнутой структуры намотки

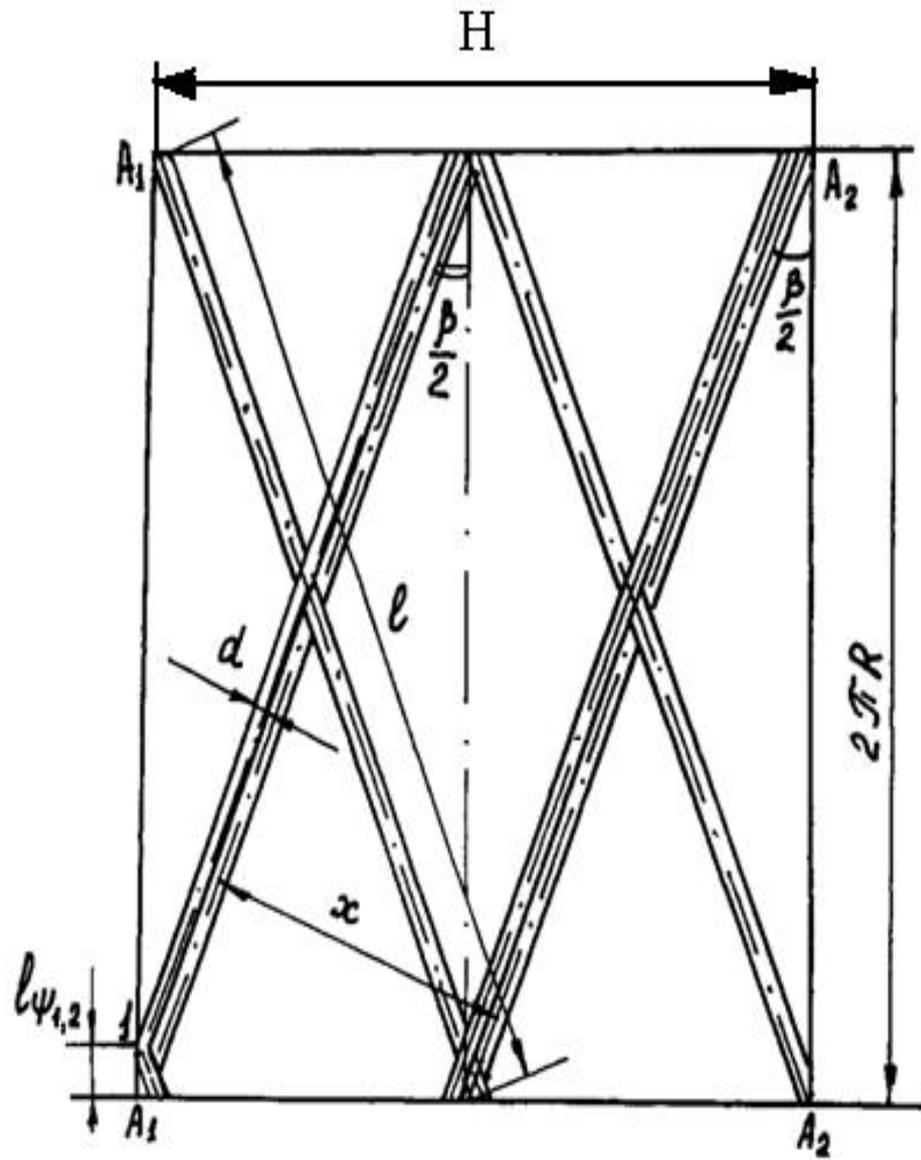


Рисунок 2.2. Развертка односомкнутой опережающей намотки

$$V = \pi \cdot D \cdot H \cdot \delta, \quad (2.8.)$$

где δ - толщина объемного слоя нитей.

Очевидно, что $\delta = 4a$, где a - малая ось эллипса в сечении нити.

$$V = \pi \cdot D \cdot H \cdot 4a \quad (2.9.)$$

Следовательно, удельная плотность сомкнутой намотки нити на цилиндрическую бобину может быть определена по формуле:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{\pi \cdot D \cdot H}{b \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot 4a} = \frac{1}{4a \cdot b \cdot N} \quad (2.10.)$$

Предположим, что при наматывании не произошло уплотнение нити, то есть площадь поперечного сечения круглой и эллиптической нити одинаковы, тогда:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \pi ab, \quad \text{или} \quad ab = \frac{d^2}{4},$$

$$\gamma = \frac{1}{4abN} = \frac{1}{Nd^2}, \quad (2.11.)$$

где $d = \frac{c}{\sqrt{N}}$ - диаметр наматываемой нити,

$c = \sqrt{\frac{4}{\pi \gamma_n}}$ - коэффициент, характеризующий рыхлость пряжи и ее вид;

γ_n - плотность наматываемой нити.

В этом случае:

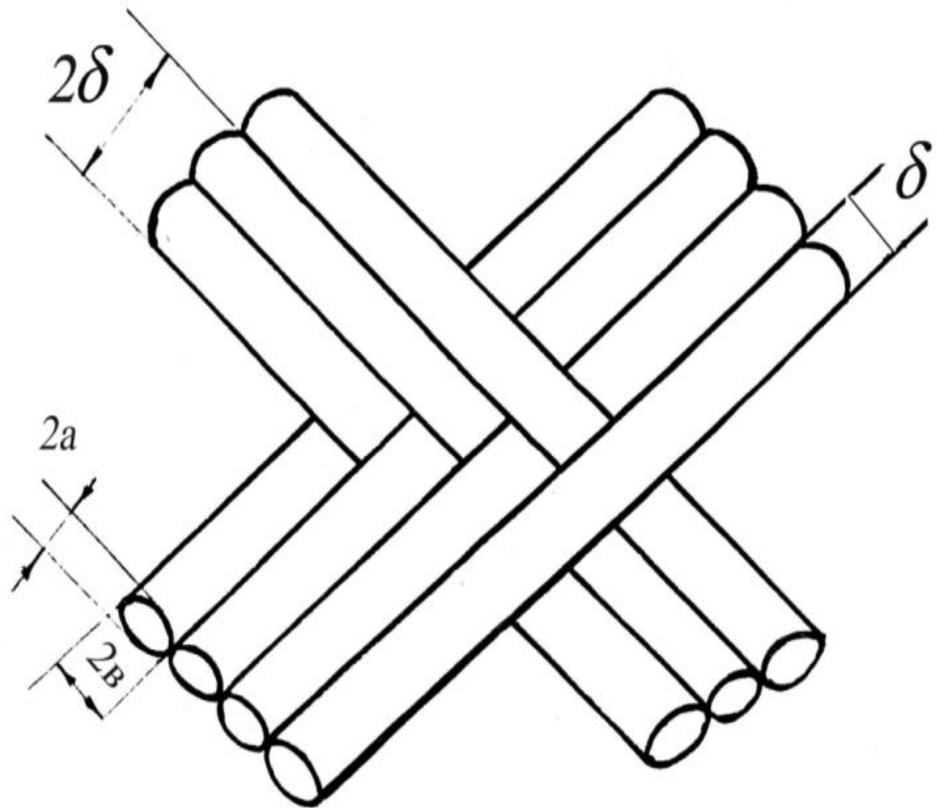


Рисунок 2.3. Взаимное расположение перекрещивающихся витков в сомкнутой намотке

$$\gamma = \frac{1}{Nd^2} = \frac{1}{c^2}, \quad (2.12.)$$

Подставив значение коэффициента c в формулу (12) получим:

$$\gamma = \frac{\pi}{4} \gamma_n \quad (2.13.)$$

Следовательно, как отмечено в работе [74], в случае формирования сомкнутых намоток, независимо от вида волокнистого состава нитей, коэффициент заполнения объема паковки волокнистым материалом будет равен:

$$k_s = \frac{\pi}{4} = 0,785 \quad (2.14.)$$

Это максимально возможное заполнение, которое может обеспечить текстильный армирующий компонент в структуре композитных материалов. Все остальные текстильные структуры (ткани, трикотаж, нетканые полотна) могут только приближаться к данному значению, ввиду более рыхлой и объемной структуры.

Прессование намотки укатывающим роликом (натяжным барабанчиком) можно охарактеризовать величиной удельного давления (интенсивностью уплотняющей нагрузки):

$$q_c = \frac{N_r}{H} \left[\frac{h}{cm} \right], \quad (2.15.)$$

где N_r - нормальная реакция, действующая со стороны мотального барабанчика или укатывающего ролика;

H – высота намотки паковки.

С увеличением степени прессования намотки q_c , происходит смятие нитей (особенно в местах их пересечения), уменьшается толщина намотанного слоя, и несколько возрастает k_3 и γ . На рис. 2.4. показан характер изменения удельной плотности намотки γ по мере увеличения степени прессования намотки q_c мотальным барабанчиком при перематывании х/б пряжи на автомате АМК – 150 – 3. Из графика рис. 2.4. видно, что с увеличением степени прессования вначале плотность намотки нити возрастает довольно быстро из-за увеличения коэффициента заполнения k_3 бобины волокнистым материалом (намотка застилистая – не сомкнутая).

В дальнейшем рост плотности намотки замедляется вследствие того, что коэффициент заполнения достигает максимального значения для застилистых намоток равного 0,5.

Аналогичная зависимость существует между плотностью намотки бобины и натяжением наматываемой нити.

Именно благодаря натяжению создается прессующий эффект вышележащих слоев намотки на нижележащие слои (2.4.).

$$q = \frac{10^5 K \cdot \gamma \cdot \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T} \ln \frac{R_1}{R_2} \left[\frac{H}{\text{см}^2} \right], \quad (2.16.)$$

где K - натяжение наматываемой нити;

β - угол скрещивания витков;

T - линейная плотность нити, текс;

R_1 и R_2 - соответственно внутренний и наружный радиусы намотки слоя.

Вследствие чрезмерного натяжения нити и давления наружных слоев на внутренние, происходит выдавливание последних на торцы паковки.

Происходит нарушение структуры намотки, а повышение коэффициента заполнения объема волокнистым материалом не происходит.

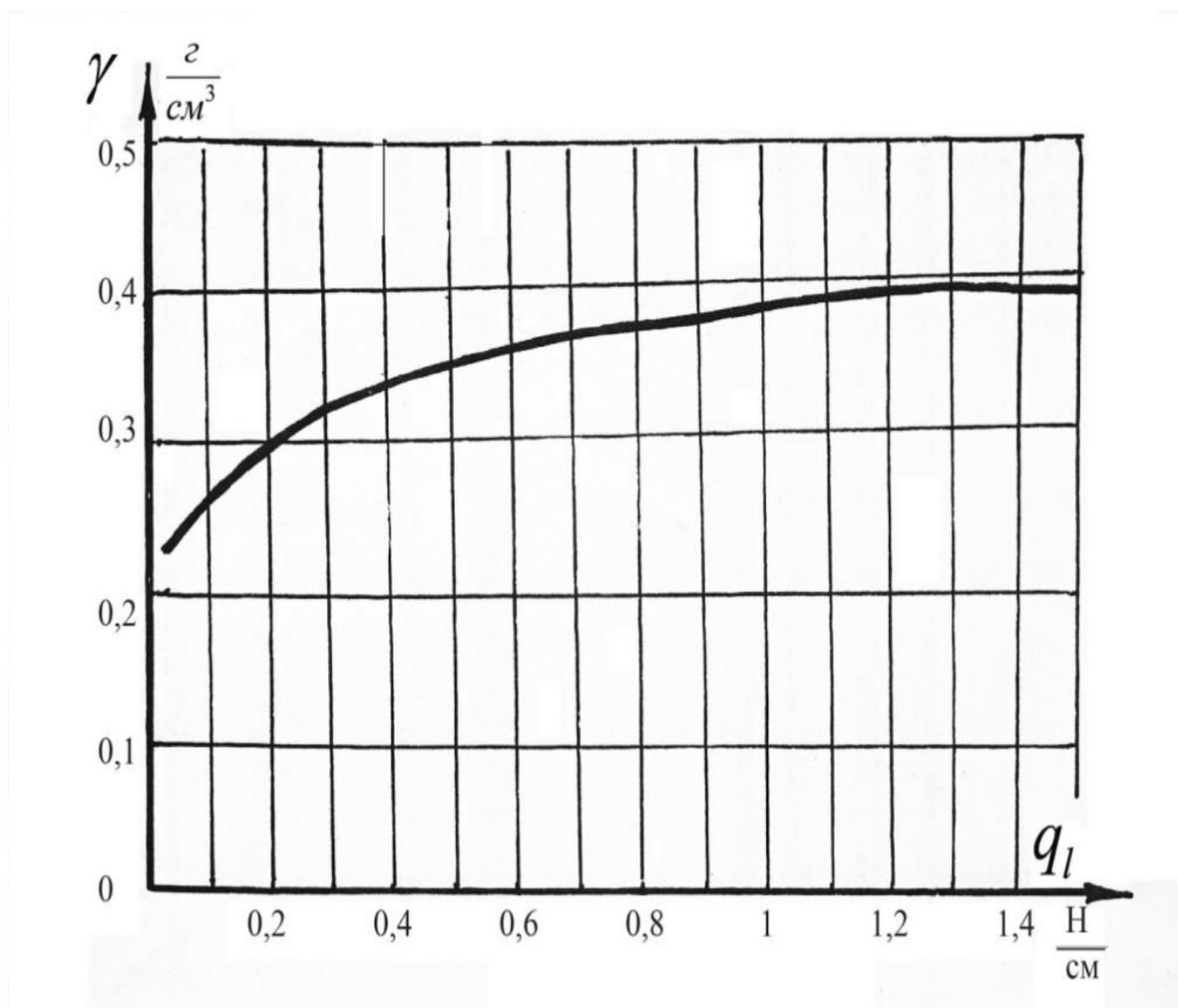


Рисунок 2.4. Зависимость удельной плотности намотки бобины от степени прессования намотки барабанчиком

Анализ проведенных исследований показал, что:

1. Максимально возможное заполнение композитов текстильным армирующим компонентом обеспечивает намотка сомкнутой структуры, которая составляет постоянную величину равную 0,785.

2. Прессующее воздействие на текстильный армирующий материал (при сохранении структуры) в незначительной степени влияет на коэффициент заполнения объема армирующего компонента композитов.

2.2. Расчет параметров подготовки (кручения) плоских углеродных нитей для выработки армирующих тканей на механических ткацких станках

Углеродные нити, благодаря своим высоким качественным показателям, широко используются для армирования композиционных материалов, применяемых в авиа- и самолетостроении. Особенно интенсивно углеродные нити используются для выработки тканей (препрегов) на бесчелночных (чаще всего рапирных) ткацких станках. Структура таких тканей однослойная, а базовыми переплетениями является полотно или саржа - $\frac{2}{2}$.

Однако, для выработки многослойных тканых структур бесчелночные тканые станки использоваться не могут, так как они формируют искусственную – закладную или перевивочную кромку (без разрыва уточной нити) можно сформировать только на челночных механических ткацких станках. Для чего уточная нить должна быть перемотана в уточную паковку (уточную шпулю или трубчатый початок), которая может быть помещена в челнок.

При работе ткацкого станка нити основы и утка интенсивно истираются о направляющие органы (зубья берда, скало, брус батана, ламели) и друг о друга, что приводит к снижению прочности углеродных нитей, их мшению (начесу) и обрыву. Для уменьшения истирания нитей должна быть обеспечена их гладкость, а также им необходимо придать более круглую форму, снижающую силу трения, уменьшая разрушение нитей.

Нити основы с этой целью подвергаются шлихтованию. В результате которого они покрываются тонкой эластичной пленкой шлихты, которая после выработки ткани удаляется с нитей при помощи термообработки. Нити после шлихтования должны быть достаточно эластичными и упругими, то есть обладать упругим и эластическим удлинением, необходимым для образования зева.

Эластичность нитей можно определить из выражения:

$$\varepsilon = \frac{l_y + l_\varepsilon}{\Delta L} = \Delta y + \Delta \varepsilon, \quad (2.17)$$

где l_y – упругое удлинение нити;

l_ε – эластическое удлинение нити;

ΔL – удлинение нити под нагрузкой;

Δy – доля упругого удлинения деформированной нити;

$\Delta \varepsilon$ – доля эластического удлинения в деформированной нити.

Для углеродных плоских нитей эти величины имеют очень маленькое значение ввиду высокой жесткости, что затрудняет переработку их на ткацком станке при перематке в уточные паковки заданной формы.

Для выработки армирующих многослойных тканых структур, применяемых в аэрокосмической отрасли и атомной энергетике, при создании цельных изделий из композитов, целесообразно использовать углеродные плоские нити с высокими прочностными характеристиками [57] и, как показали экспериментальные исследования, проводимые в условиях ОАО «Ковротекс» г. Димитровград, наилучшими прочностными характеристиками обладают те многослойные ткани, в основе и утке которых использованы (крученые из плоских) углеродные нити. Для создания таких нитей были определены основные параметры кручения пленочных плоских нитей, к которым относятся:

- величина крутки (K);
- величина укрутки (Y);
- скорость выпуска нити передним (питающим) цилиндром в зону кручения ($v_{\text{пц}}$);
- натяжение нити в процессе кручения (F);

Величина крутки (число кручений нити, приходящееся на метр её длины) определяется по формуле:

$$K = \frac{n_B}{v_{\text{пц}}} \approx \frac{n_B}{v_{\text{пц}}}, \quad (2.18)$$

где n_B – частота вращения бегунка, об/мин;

n_B – частота вращения веретена, об/мин;

$v_{\text{пц}}$ – скорость выпуска нити передним (питающим) цилиндром.

Укрутка – процентное укорочение пленочной нити вследствие крутки, определяется по формуле:

$$y = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100\%, \quad (2.19)$$

где l_1 – первоначальная длина одной или нескольких строченных нитей;

l_2 – длина плоченой нити на том же участке после кручения.

Коэффициенты укрутки:

$$K_y = \frac{l_2}{l_1} = \frac{100 - Y}{100}; \quad (2.20)$$

Скорость выпуска крученой нити питающим цилиндром - $v_{\text{пц}}$ производительность крутильной машины и лимитируется максимально возможно частью вращению веретен – n_B и выбранной величиной крутки – K .

$$v_{\text{пц max}} < \frac{n_{\text{в max}}}{K}, \quad (2.21)$$

где $v_{\text{пц max}}$ и $n_{\text{в max}}$ – максимально возможные значения показателей.

Натяжение нити (F) в процессе кручения зависит от массы бегунка, частоты вращения веретена, радиуса намотки нити на початок (r) и т.д. и может быть определена по формуле:

$$F = \frac{f \cdot G_b \cdot \omega^2 \cdot R^2 \cdot k}{q \cdot r} \quad [\Gamma], \quad (2.22)$$

где f – коэффициент трения бегунка о кольцо;

G_b – масса бегунка [г];

$\omega = \frac{\pi n_b}{30}$ - угловая скорость бегунка;

R – радиус кольца прядильной машины в см;

$q = 9,81 \frac{M}{c^2}$ - ускорение свободного падения;

r – радиус наматывания нити на початок, см;

k – коэффициент, зависящий от формы баллона нити.

Методика выбора параметров кручения ($K; Y; v_{\text{пл}}$) для выработки и кручения пряжи из различного вида волокон разработана достаточно полно.

Методики же определения параметров кручения пленочных нитей не существует. В процессе проведения экспериментальных исследований кручение углеродных плоских пленочных нитей производилось на машине ТК-250М, выпущенной Московским машиностроительным заводом имени 1 Мая.

Основные технические параметры машины ТК-250М:

1. Диапазон кручения пленочной нити – от 30 до 400 кр/м;
2. Диаметр кольца - 155 мм;
3. Тип веретена – ВТК-62-051;
4. Частота вращения веретена – от 4000 до 7500 через 500 об/мин.

Крученая пленка наматывалась на копсы.

На рисунке 2.5. приведена схема передачи вращения веретенам и питающим цилиндрам на машине ТК-250М.

Веретена 1 получают вращение от ремня 2. Число оборотов веретен:

$$n_{\text{вер}} = \frac{n_{\text{дв}} (D_{\text{см}} + 1,2)(1 - \eta)}{d_{\text{бл}}}, \quad [\text{об/мин}] \quad (2.23)$$

где $n_{дв} = 1440$ об/мин – число оборотов в минуту ротора электродвигателя;

$D_{см}$ – диаметр сменного шкива на валу электродвигателя;

$d_{бл} = 62$ мм – диаметр блочка веретена;

$\delta = 6$ мм – толщина ремня;

$\eta = 0,03$ – коэффициент проскальзывания ремня по блочку веретена.

Величина крутки:

$$K \approx \frac{n_{вер}}{v_{выт}},$$

где:

$$v_{выт} = \frac{\pi D_{ц} \cdot n_{ц}}{1000},$$

$D_{ц} = 80$ мм – диаметр питающего цилиндра.

Число оборотов питающего цилиндра:

$$n_{ц} = \frac{n_{дв} \cdot z_1 \cdot z_3 \cdot z_5 \cdot z_7 \cdot z_9 \cdot z_{11} \cdot z_{15}}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6 \cdot z_8 \cdot z_{10} \cdot z_{12} \cdot z_{16}},$$

где $D = 305$ мм – диаметр второго шкива, огибаемого ремнем.

После соответствующих подстановок получим:

$$K = 0,0815 Z_8 Z_{12} Z_{10} / Z_9,$$

Величина крутки на машине ТК-250М может меняться от 30 до 400 кручений на метр через 10 кручений.

При $K \leq 70$ кр/м; $Z_8=34$; $Z_9=60$; $Z_{10}=30$;

а Z_{12} принимается по таблице.

При $70 < K \leq 140$ кр/м; $Z_8=34$; $Z_9=Z_{10}=45$;

При $140 < K \leq 280$ кр/м; $Z_8=34$; $Z_9=30$; $Z_{10}=60$;

При $280 < K \leq 400$ кр/м; $Z_8=28$; $Z_9=28$; $Z_{10}=62$;

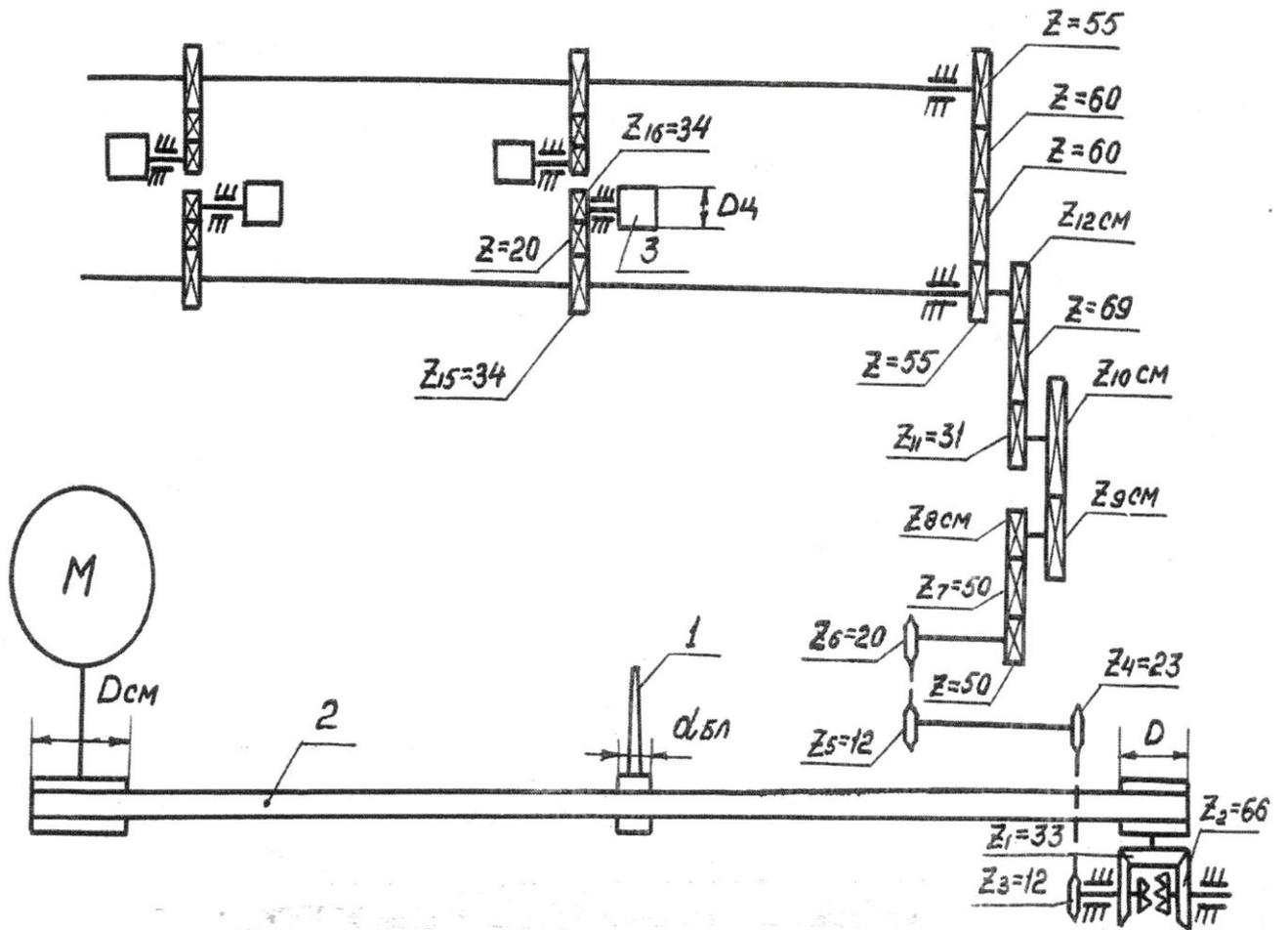


Рисунок 2.5. Схема передачи вращения веретенам и питающим цилиндрам на машине ТК-250М.

При изменении величины крутки изменяется величина укрутки и прочность крученой пленочной углеродной нити. На рисунке 2.6 показана зависимость укрутки углеродной пленки от величины ее крутки, а на рисунке 2.7 зависимость разрывной нагрузки пленки от величины крутки.

С увеличением крутки возрастает прочность крученой пленочной нити, но уменьшается равновесность полученной нити. Экспериментальные исследования показали [72], что при величине крутки $K=280$ кр/м получается нить имеющая достаточно высокую прочность и не слишком большую неравновесность. Вследствие этого величина первичной крутки пленки была принята равной 280 кр/метр, которая обеспечивает при установке на машине ТК-250М шестерен.

$$Z_8=34; Z_9=30; Z_{10}=60; Z_{12}=51;$$

Полученная после первичной крутки нить имеет еще недостаточную линейную плотность и является недостаточно равновесной. Номер крученой пленочной нити может быть определен по формуле:

$$N_{кр1} = N \cdot K_{y1}$$

где: $N=7$ – номер некрученой углеродной нити;

$K_{y1}=100-y/100$ – коэффициент укрутки;

Для нашего случая $K_{y1}=100-18/100=0,82$; а $N_{кр1}=7 \times 0,82=5,74$;

При кручении нити использовались латунные бегунки № 155.

Трошение и вторичное кручение двух плетеных углеродных нитей производилось на второй тростильно-крутильной машине ТК-250М при использовании левой крутки. Таким образом, окончательный продукт имеет крутку ZS и, вследствие этого, обладает достаточной равновесностью. Величина вторичной крутки подбиралась главным образом из условия получения равновесной нити и составила 160 кручений на метр.

Такая крутка обеспечивается при установке на машине шестерен:

$$Z_8=34; Z_9=30; Z_{10}=60; Z_{12}=33;$$

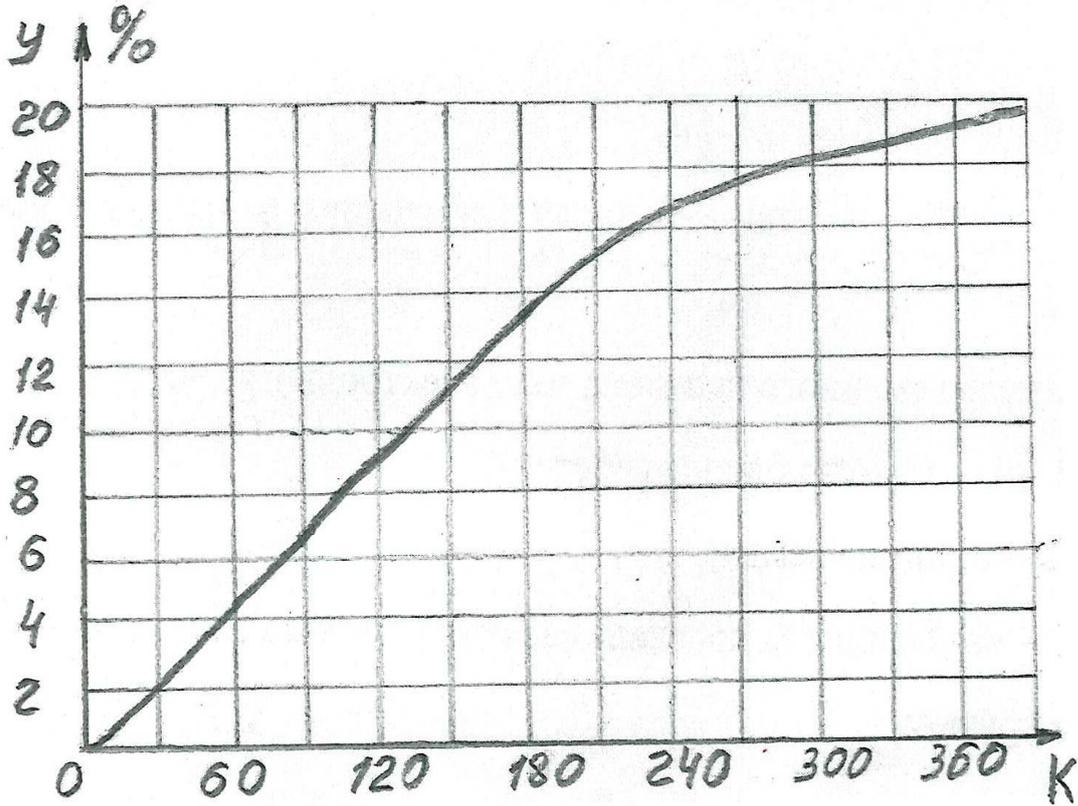


Рисунок 2.6. Зависимость укрутки плоских углеродных нитей от величины ее крутки.

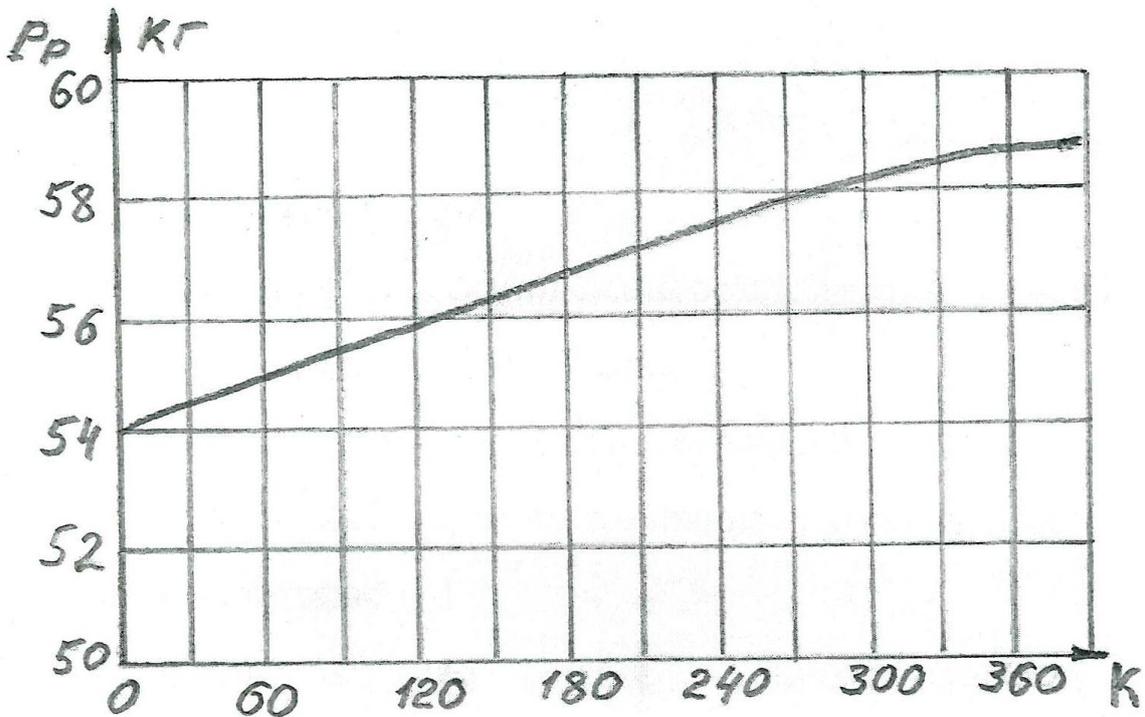


Рисунок 2.7. Зависимость прочности углеродной нити от величины ее крутки.

Номер полученной площадью углеродной нити определялся по формуле:

$$N_{кр2} = \frac{N_{кр1} \cdot K_{y2}}{2} = \frac{5,74 \cdot 0,995}{2} \approx 2,9;$$

Полученная после трощения и вторичного кручения углеродная нить наматывалась на катушки. Форма нити на катушке 700 грамм.

Длина нити на катушке:

$$L_k = G_k \cdot N_{кр2} = 700 \cdot 2,9 = 2030 \text{ м}$$

В заключении следует отметить, что для кручения площадью углеродной нити лучше применять машины тяжелого типа (например, машину К – 132 - 2, выпускаемую Серпуховским механическим заводом «Десятый Октябрь»). Машина К – 132 – 2 снабжена веретенами ВКТ – 38 – 80 (веретено под катушку с тормозком, с диаметром блочка 38 мм и 80^м типом катушки).

Проведенные исследования позволили сделать выводы:

1. Полученная после первичного кручения углеродная площадь нить имеет недостаточную плотность и недостаточно равновесна.
2. Трошение и вторичное кручение углеродных площаемых (пленочных) нитей необходимо проводить с изменением направления крутки нити на противоположное, что обеспечивает требуемую плотность и равновесность формируемой нити.

2.3. Разработка нового способа формирования плоских нетканых полотен из текстильных термостойких полотен

Технологические процессы переработки термостойких (углеродных, базальтовых и стекловолокон) волокон и нитей в текстильные полотна могут осуществляться различными способами:

- 1) с помощью ткачества;
- 2) плетения или вязания;
- 3) намотками различных структур;
- 4) неткаными способами:
 - методом пропитки волокнистых холстов связующим (растворы, латексы, смолы);
 - методом горячего прессования волокон со связующим (эпоксидные смолы);
- 5) с помощью разверток намоток [29].

Наиболее распространенным в настоящее время способом является ткачество. Выработка тканых полотен различной ширины (чаще всего выполняются с шириной заправки станков не более 120 см), причем используются главные переплетения нитей основы и утка (полотняное, саржевое и их производные).

Основными причинами, препятствующими выработке широких тканей сложным переплетением, является:

- сильное истирание нитей основы о направляющие органы ткацкого станка и друг о друга;
- большой объем подготовительных операций к ткачеству (перемотка, сновка и т.д.), что приводит к дополнительному истиранию нитей и потере их прочности;
- использование сложных переплетений в ткани вызывает увеличение ее объемов (за счет увеличения величины изгиба систем нитей) и, как следствие, ведет к снижению коэффициента заполнения объема

композиционного материала армирующим компонентом (при условии использования данных тканей в качестве арматуры композитов – препрегов).

Использование технологических процессов формирования нетканых холстов из коротких волокон методом склеивания или пропитки связующим приводит к формированию конечного продукта с хаотичным, слабоориентированным расположением армирующих волокон, что снижает прочностные характеристики нетканого полотна по отношению к тканям.

Наименьшее истирающее воздействие при переработке испытывают нити при перематке, а использование разверток намотки позволяет создавать плоские нетканые полотна заданных размеров.

Поэтому, с учетом вышеизложенного, вопрос о разработке новых – коротких технологий выработки из термостойких материалов плоских текстильных полотен различной ширины имеет большое практическое значение, особенно для производителей новых легких материалов, применяемых в критических отраслях.

Для реализации данной задачи нами разработан способ формирования плоских нетканых полотен заданной ширины с помощью «фальшнамотки». Данный способ холстообразования одностадиен и базируется на использовании преимуществ технологии намотки нитей на паковку, но позволяет формировать протяженное полотно любой длины.

Суть способа поясняется чертежом, показанным на рис. 2.8, где приведена технологическая схема процесса формирования плоских нетканых полотен из термостойких текстильных волокон методом «фальшнамотки».

Нити со шпулярика 1 подаются в зону перемещения гребенок 2, которые движутся навстречу друг другу по заданному закону. Нити, пробранные в разные гребенки, переплетаются между собой и навиваются на вращающийся барабан 3, причем, только на часть его периметра ($\frac{2}{3}$ периметра). Прижимные валы 4 направляют сформированное плоское полотно в клеевое корыто 5, где с помощью клеевого связующего

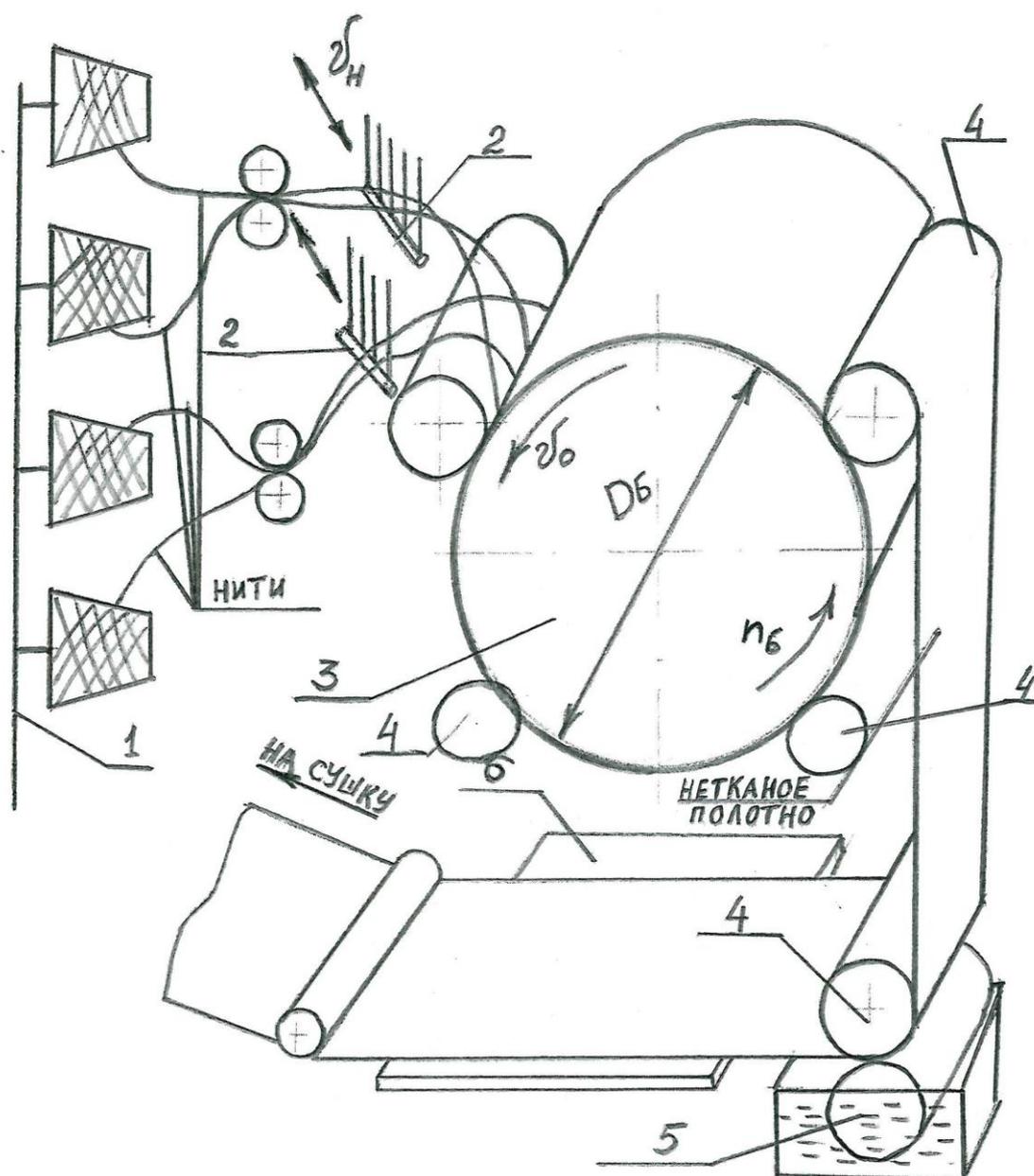


Рисунок 2.8. Технологическая схема процесса формирования плоских нетканых полотен из термостойких текстильных полотен методом «фальшнамотки».

происходит закрепление перекрещенных между собой нитей. Из клеевого корыта сформированное «фальшнамоткой» плоское полотно поступает в сушильную часть 6 для термофиксации.

- 1 – Шпулярник.
- 2 – Гребенки.
- 3 – Барабан.
- 4 – Прижимные валы.
- 5 – Клеевое корыто.
- 6 – Сушильная часть.

Данная технология была реализована в условиях ООО «Ткач» г. Димитровград на специальном стенде.

Основными технологическими параметрами установки являются:

- 1) Емкость шпулярника – $E = 228$ бобин;
- 2) Размах перемещения гребенок – $H = 2000$ мм;
- 3) Диаметр главного барабана $D_6 = 1200$ мм;
- 4) Частота вращения барабана регулируется с помощью электрического двигателя постоянного тока.

Кинематические параметры установки принимаются в зависимости от:

- получения заданного значения угла скрещивания нитей β , перемещающимися гребенками;
- скорость формирования лимитируется временем предварительного отверждения связующего в сушильной части машины и регулируется длиной сушильной части (числом переходов), температурой подаваемого на сушку (от 40^0 до 120^0).

Угол скрещивания групп нитей в полотне определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{v_r}{v_o}, \quad (2.23)$$

где $v_r = \frac{H}{t}$ - скорость перемещения гребенок вдоль барабана;

H – размах движения гребенок;

t – время движения гребенок вдоль барабана из одного крайнего положения в противоположное;

$v_0 = \pi D_B n_B$ – окружная скорость вращения главного барабана.

Главный барабан установки, на котором производится формирование «фальшнамотки» получает вращение от приводного электродвигателя постоянного тока через вариатор, позволяющий плавно изменять частоту его вращения. Через систему зубчатых и цепных передач движение от главного барабана получают гребенки нитераскладчика.

Задавая необходимый угол скрещивания нитей, расчетным путем определяют необходимую скорость вращения главного барабана, при этом фиксация нитей в полотне осуществляется помощью четырех прижимных (направляющих) прорезиненных валов.

На данный способ формирования плоских нетканых полотен поданы заявки на изобретение.

2.4. Способы получения высокообъемных слоисто-каркасных тканей из углеродных нитей для армирования композитов

Известно, что толщина ткани, вырабатываемых слоисто-каркасной структурой, зависит от числа уточных нитей в заполненном слое и числа каркасных слоев. Однако увеличение числа уточных нитей в заполнительном слое приводит к возрастанию разрушающего воздействия на нити основы, особенно каркасные [58]. Решение данной проблемы возможно путем выработки высокообъемных тканей многосекционной слоисто-каркасной структуры.

Многосекционная слоисто-каркасная ткань состоит из «n» секций, расположенных друг над другом и соединенных между собой с помощью соединительного элемента. За основу строения секции принимается многослойная слоисто-каркасная структура. Отличительной характеристикой строения многосекционной ткани является подобие, а в некоторых вариантах и симметрия расположения отдельных секций, а также наличие соединительного элемента между секциями.

Создание соединительного элемента между секциями возможно за счет нитей заполнительной основы самих же секций (рис. 2.9-а) и специальных соединительных основных нитей (рис. 2.9-б).

В первом случае соединительный слой образуется путем переплетения нитей заполнительной основы каждой секции с крайними нижними и (или) верхними уточными нитями секций, расположенными в зоне соединения. Во втором случае – путем переплетения специальных соединительных нитей основы с крайними нижними и верхними уточными нитями двух смежных секций. В обоих случаях происходит попарно соединение крайних уточных нитей смежных секций, при этом каждая пара соединяемых уточных нитей находится на одной вертикали. В случае соединения секций соединительными нитями основы (рис. 2.10), помимо скрепления секций в вертикальном направлении, образуется продольная непрерывная связь. При

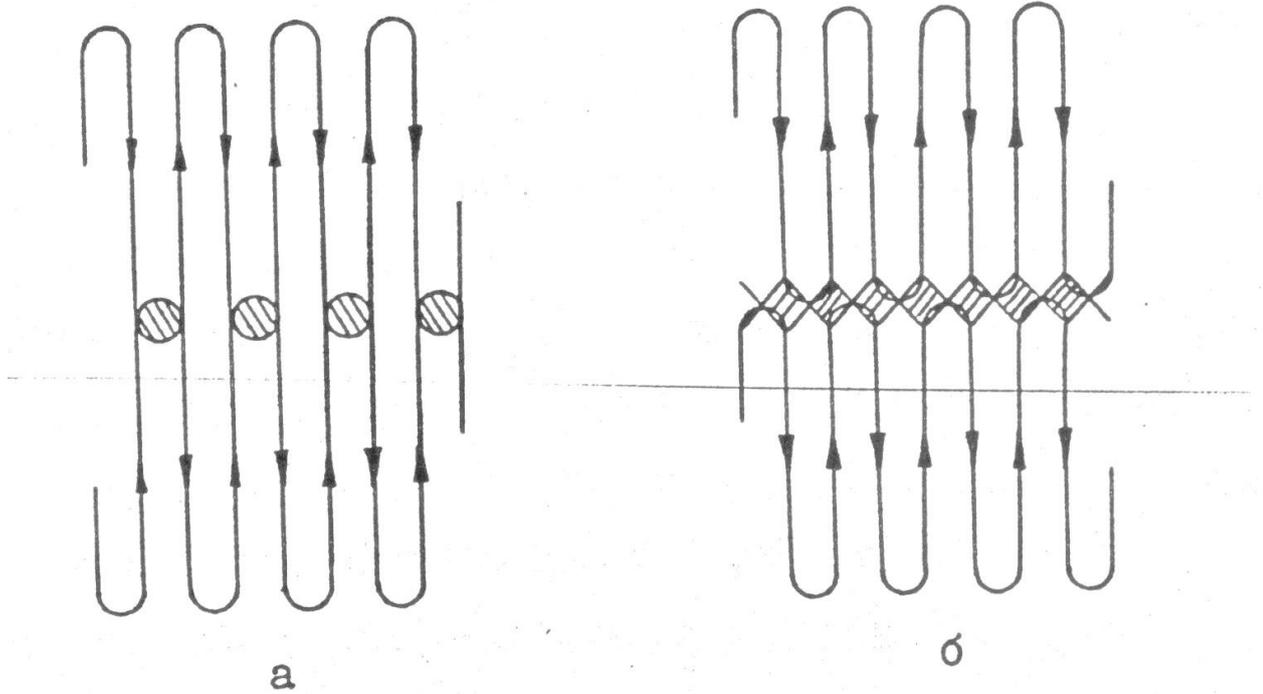


Рисунок 2.9. Условное изображение способов соединения секций:

а – с помощью нитей заполнительной основы,

б – с помощью нитей соединительной основы.

использовании для соединения нитей заполнительных слоев (рис. 2.11) непрерывная продольная связь отсутствует, а происходит только попарно скрепление заполнительных слоев в соединяемых секциях.

Многосекционный способ получения высокообъемной ткани заключается в одновременной наработке заполнительных и каркасных слоев каждой секции, основные нити которых расположены друг над другом. Нити основы, осуществляющие соединение секций между собой, в результате переплетения с крайними уточными нитями смежных секций, совершают в этот момент перемещение, равное удвоенной высоте зева.

Способ соединения секций между собой с помощью нитей заполнительной основы позволяет осуществлять связь между секциями в том случае, если наработка заполнительных слоев в двух смежных секциях будет происходить в разных направлениях. В этом случае в двух смежных секциях прокладывание крайней верхней уточной нити нижней секции и крайней нижней уточной нити верхней секции происходит в одновременно открывающийся зев. Ремизки, в которые пробраны нити заполнительной основы нижней секции, совершают максимальное перемещение вверх, равное удвоенной высоте зева, а ремизки, в который пробраны нити заполнительной основы верхней секции, совершают перемещение вниз, равное удвоенной высоте зева.

Однако, способ перевязки нитями заполнительной основы дает несимметричное расположение зевов в двух смежных секциях, в связи с чем нити основы обеих секций должны пробираться в разные ремизки, что приводит к увеличению числа ремизок в заправке. Увеличение числа ремизок, занятых заполнительной основой, приводит к увеличению числа каркасных слоев, от которого зависит в определенной степени толщина ткани.

Выбор того или иного способа соединения секций зависит от конкретного назначения ткани.

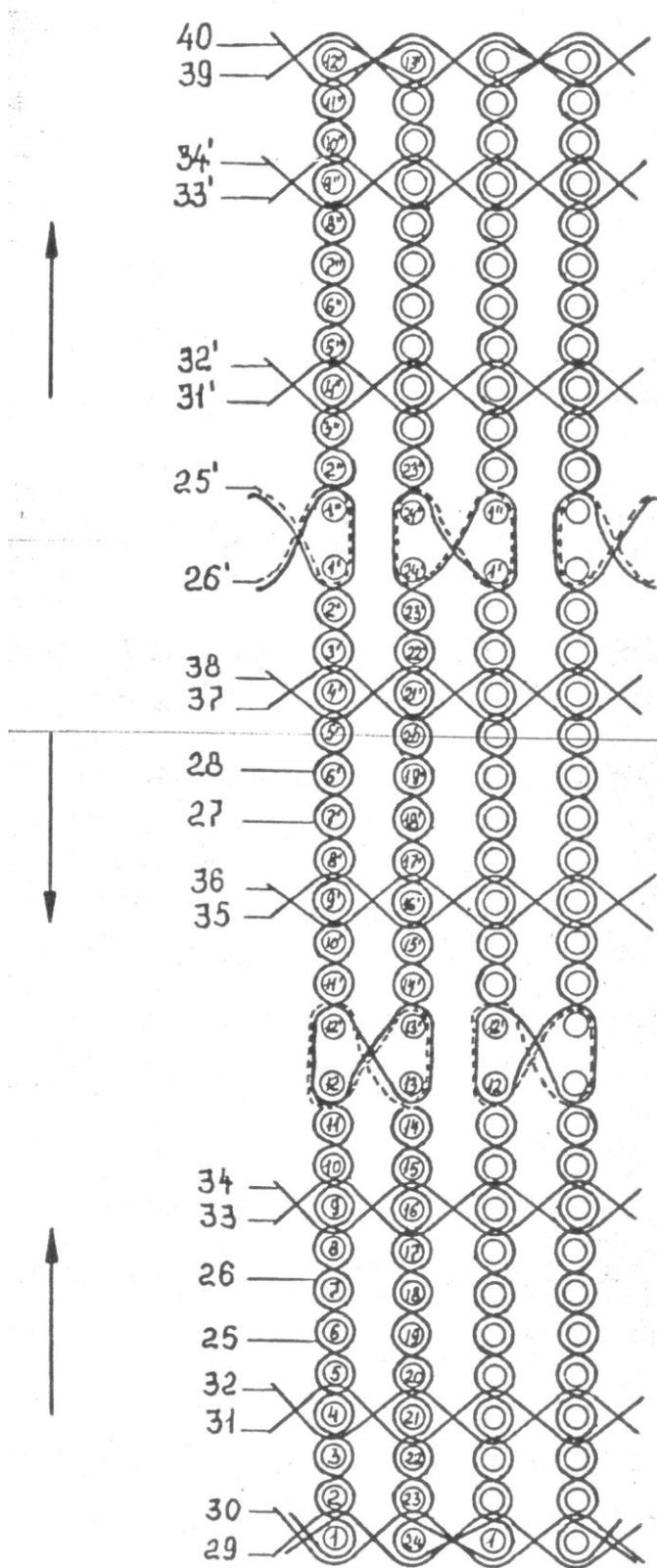


Рисунок 2.10. Продольный разрез трехсекционной слоисто-каркасной ткани. $R_y = 72$.

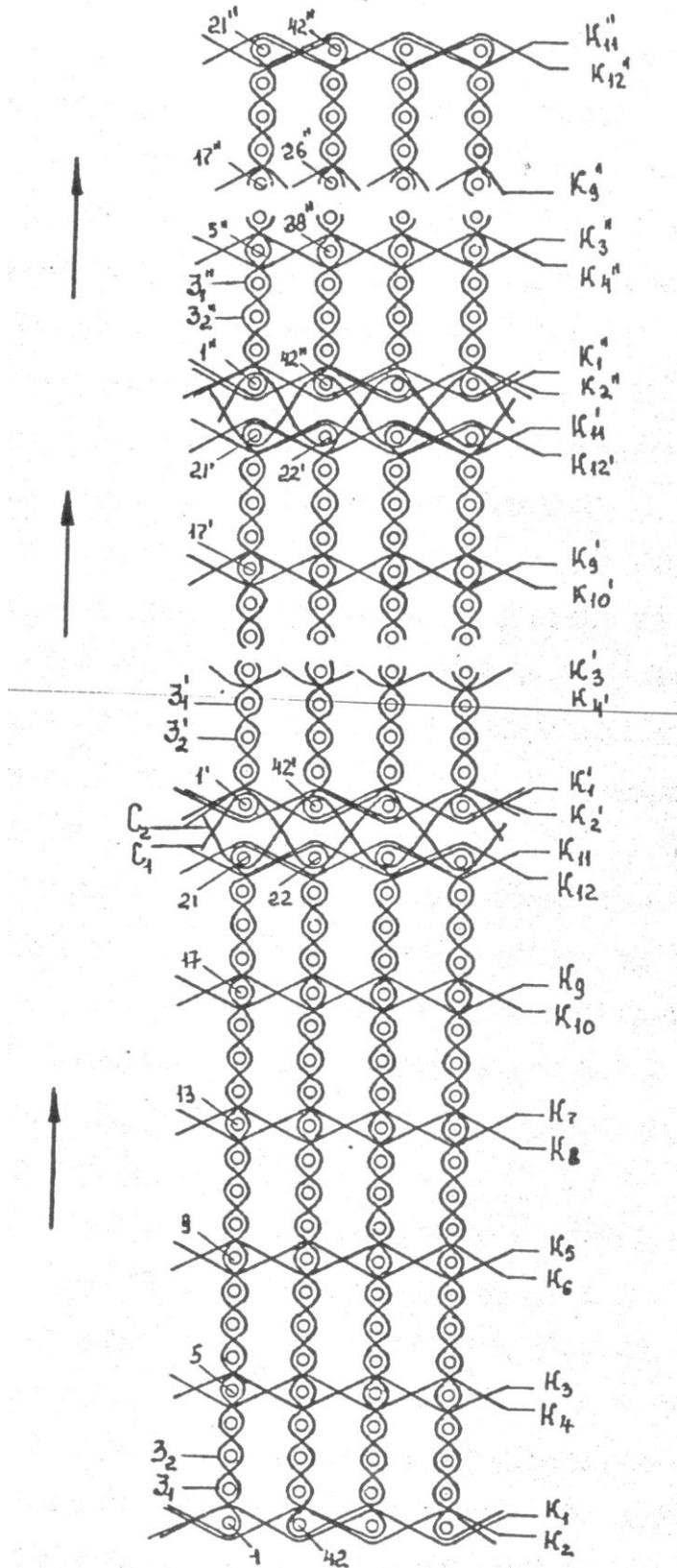


Рисунок 2.11. Продольный разрез трехсекционной слоисто-каркасной ткани. $R_y = 126$.

На челночном ткацком станке с кареткой полуоткрытого зева на 16 ремизок была выработана трехсекционная структура из углеродных нитей толщиной 214 мм, раппорт переплетения по основе которой составляет 46 нитей, а по утку – 126. Способ соединения секций между собой с помощью соединительных нитей основы позволяет формировать заполнительные слои в трех секциях в одном направлении, одновременно и синхронно, что дает возможность использовать одни и те же ремизки с трехглазковыми галевами.

Расстояние между глазками галева рассчитывалось исходя из размеров зева, возможной суммарной толщины секций, структуры одной секции и количества ремизок каретки. Для образования одного заполнительного слоя секции необходимо минимум 2 ремизки для соединительной основы, а 12 ремизок – для шести каркасных слоев.

В итоге проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Рассмотренные способы получения многосекционных слоисто-каркасных тканей дают возможность вырабатывать ткани значительно большей толщины и удельной плотности.

2) Соединение секций между собой с помощью нитей соединительной основы рекомендуется применять в тех случаях, когда необходимо получить тканое изделие большой толщины и высокой удельной плотности.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ II

1. Самые, максимально легкие по весу конструкции композиционных материалов с использованием в них текстильных армирующих компонентов (волокон, нитей, тканей, намоток и т.д.) могут быть получены только на базе сомкнутых намоток нитей на оправки цилиндрической намотки.

2. Максимально-возможное заполнение композиционных материалов текстильным армирующим компонентом обеспечивает односомкнутая намотка нитей, которое составляет величину равную 0,785.

3. Прессующее воздействие на текстильный армирующий материал (при сохранении его структуры) в незначительной степени влияет на коэффициент заполнения объема композита армирующим компонентом.

4. Для совершенствования технологического процесса выработки армирующих компонентов композитов на базе сложной структуры необходимо проводить предварительную подготовку нитей, которая обеспечивала бы оптимальные условия их переработки на ткацком станке (кручение, трощение и т.д.).

5. С целью получения равновесных нитей из плоских углеродных (жгутовых) волокон целесообразно использовать двойную встречную SZ крутку, что обеспечивает повышение их равновесности, снижение степени истирания о направляющие органы ткацких станков (за счет более округлой формы и снижения площади контакта нитей с бердом), а, следовательно, снижения вредного трения нитей.

6. Разработаны способы получения многосекционных слоисто-каркасных тканей, которые дают возможность вырабатывать углеродные ткани значительной толщины и удельной плотности.

7. Соединение секций в многослойной ткани между собой с помощью нитей рекомендуется применять в тех случаях, когда необходимо получать тканое изделие большой толщины и высокой удельной плотности.

8. Разработан новый способ формирования плоских нетканых полотен из текстильных термостойких волокон методом «фальшнамотки».

ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕРМОСТОЙКИХ ВОЛОКОН

3.1. Исследование возможностей использования мотального оборудования фрикционного типа для формирования армирующих компонентов композитов намоткой

Известно, что [63] большинство конструкций мотального оборудования, применяемого на текстильных предприятиях во всем мире, это оборудование фрикционного типа. К такому мотальному оборудованию относятся все машины и автоматы, оснащенные прорезными мотальными барабанчиками, которые за счет трения о них приводят во вращение паковки.

На машинах и автоматах с совместным действием механизмов намотки и раскладки нити (на машинах с мотальными барабанчиками) могут быть сформированы паковки лишь с прямолинейными образующими поверхности (цилиндрические, конические).

В зависимости от вида образующихся торцов различают:

- паковки, угол конусности которых остается постоянным за все время формирования паковки;

- паковки с изменяющимся за время наматывания углом конусности.

В зависимости от вида образуемых торцов, паковки с постоянным углом конусности подразделяются на:

- паковки с торцами, перпендикулярными к их оси вращения (рис. 3.1.), когда при наматывании паковка перемещается в направлении, перпендикулярном указанной оси. Такие формы паковок часто приводятся авторами в научных статьях, книгах и учебниках по ткачеству, хотя мотальное оборудование для их формирования встречается крайне редко (машины «Бандомат», «Макромат», на которых корпус нитеводителя при

наматывании отклоняется в направлении, перпендикулярном оси веретена). Это обстоятельство, очевидно, вызвано тем, что на таких паковках (как объектах исследования) легче проводить анализ структуры и процесса наматывания нити. Получающиеся при таких исследованиях погрешности невелики, вследствие малой величины угла конусности патрона.

- паковки с торцами, перпендикулярными прямолинейной образующей паковки (рис. 3.2.), когда при наматывании паковка перемещается перпендикулярно оси вращения мотального барабанчика (сюда относятся основомотальные автоматы «Аутосук», «Автоконер» и др.).

У паковок с постоянным углом конусности прямолинейная образующая CD в любой момент времени параллельна образующей АВ патрона.

Радиус намотки у паковок с торцами, перпендикулярными к их оси вращения, может быть определен по формуле:

$$R = r + \Delta, \quad (3.1.)$$

где: r – радиус патрона, соответствующий определенному радиусу намотки;

Δ – толщина намотки на патрон.

У паковок с торцами, перпендикулярными ее образующей:

$$R = r + \frac{\Delta}{\cos\alpha}, \quad (3.2.)$$

где: α – угол конусности патрона.

Паковки с переменным углом конусности подразделяются на:

- паковки со сферическими торцами (рис. 3.3.), когда при наматывании ее ось вращения отходит от поверхности барабанчика и одновременно поворачивается на некоторый угол $\Delta\alpha$;

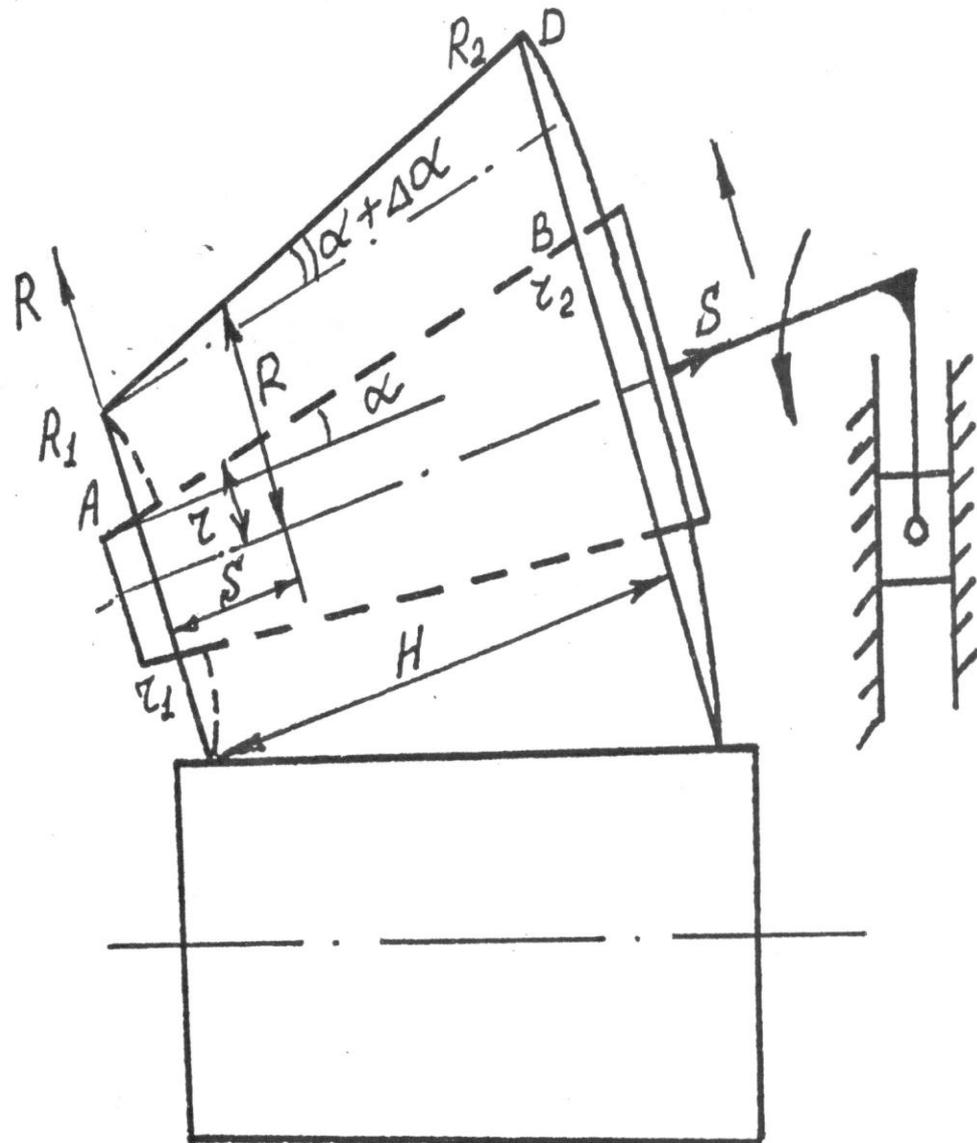


Рисунок 3.1. Схема формирования конических паковок с торцами перпендикулярными к ее оси.

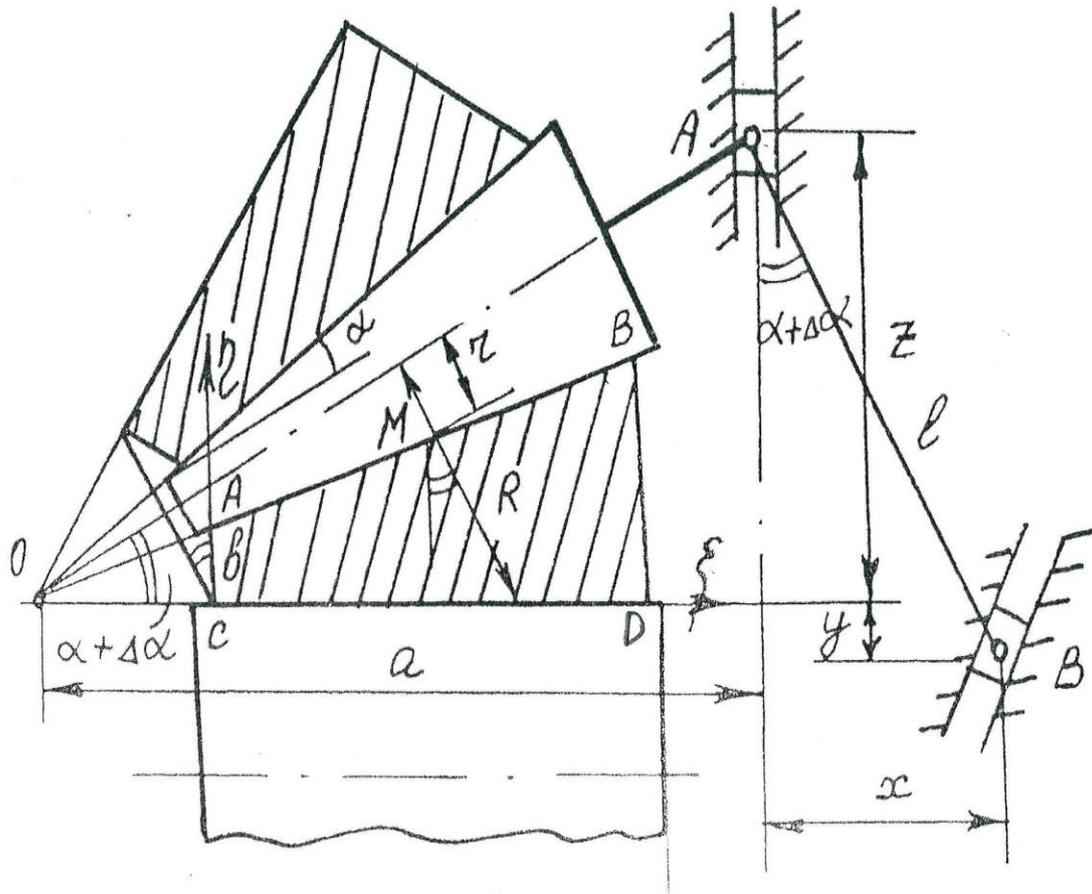


Рисунок 3.2. Схема формирования конической паковки с торцами перпендикулярными к ее образующей.

- паковки с прямолинейными торцами (рис. 3.4.), когда при наматывании ось паковки отходит от барабанчика и поворачивается вокруг одной и той же точки 0.

Радиус намотки у паковок со сферическими торцами может быть определен по формуле:

$$R = R_1 + S \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \Delta\alpha), \quad (3.3.)$$

где: S – смещение глазка нитеводителя в осевом направлении паковки в точке, соответствующей определенному радиусу намотки (рис. 3.3.).

Толщина намотки в любой точке, лежащей на поверхности паковки:

$$\Delta = R - r, \quad (3.4)$$

где:

$$R = R_1 + S \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \Delta\alpha); \quad r = r_1 + S \cdot \operatorname{tg}\alpha,$$

тогда:

$$\Delta = R_1 + S \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \Delta\alpha) - r_1 - S \cdot \operatorname{tg}\alpha;$$

$$\Delta = \Delta_1 + S \cdot [\operatorname{tg}(\alpha + \Delta\alpha) - \operatorname{tg}\alpha], \quad (3.5)$$

где: $\Delta_1 = R_1 - r_1$ - толщина намотки, соответствующая малым радиусам патрона и паковки.

В случае формирования суперконической паковки координаты x и y связаны следующей зависимостью:

$$y = (l^2 - x^2)^{1/2} - ax(l^2 - x^2)^{1/2}. \quad (3.6)$$

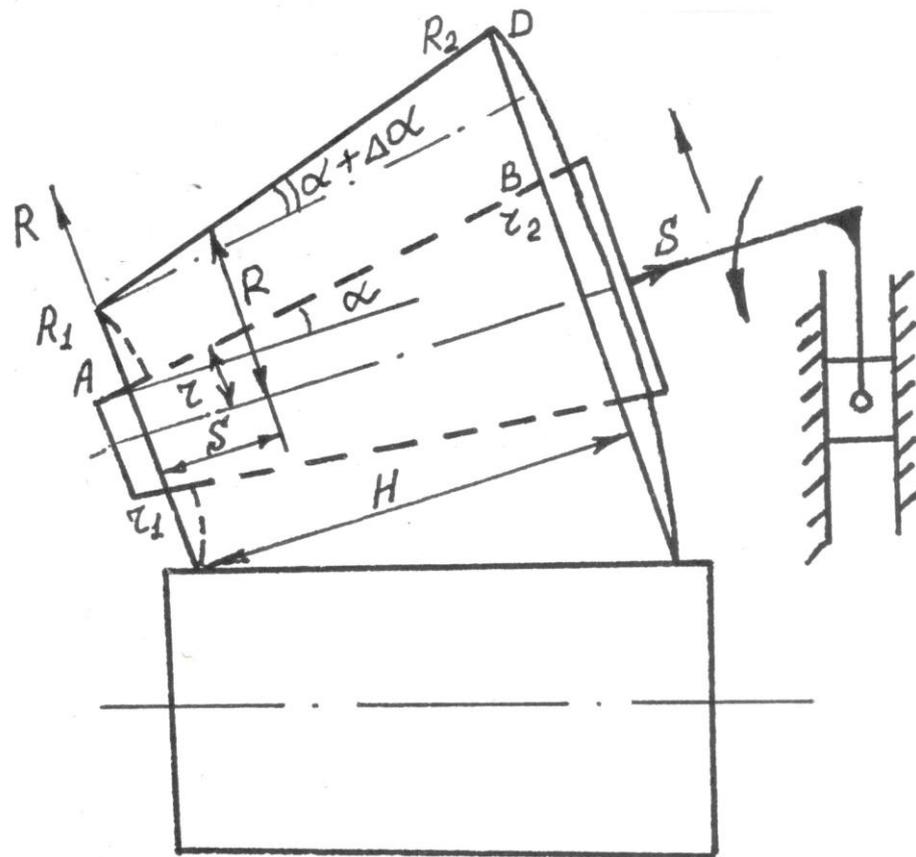


Рисунок 3.3. Схема формирования конической паковки со сферическими торцами.

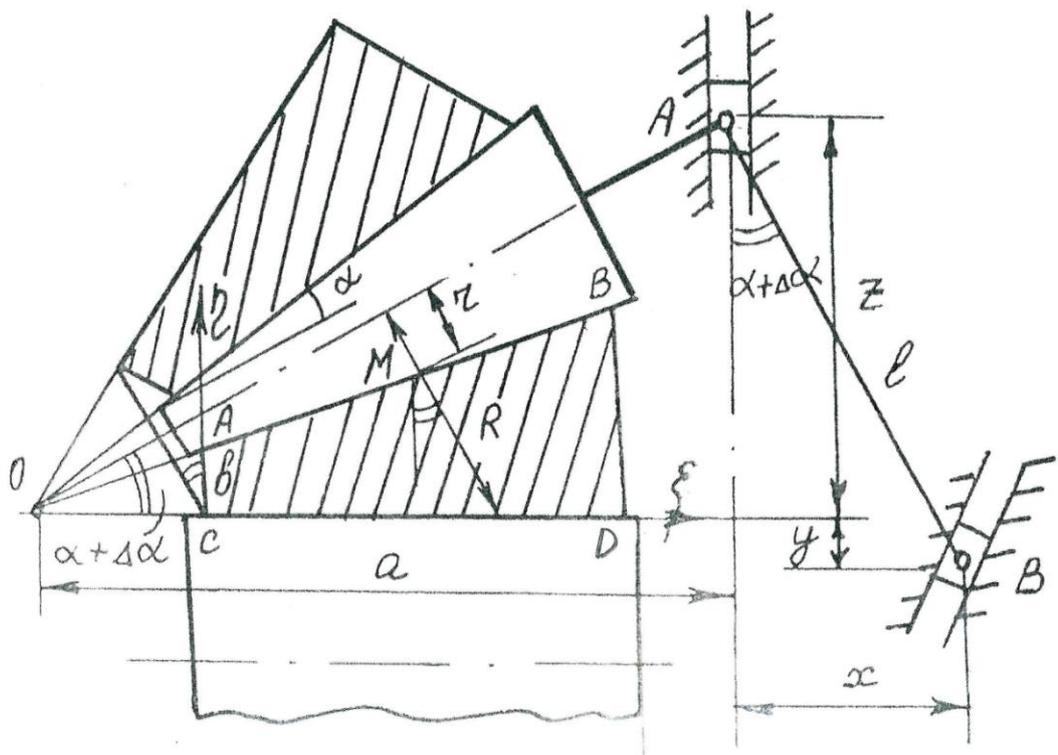


Рисунок 3.4. Схема формирования суперконической паковки.

Такая намотка обеспечивает возможность установки кольца нитеприемника при сматывании нити с паковки в точке 0, что способствует выравниванию натяжения нити и уменьшению количества слетов витков с поверхности намотки. Для уменьшения проскальзывания между намоткой и барабанчиком, последний изготавливается в виде усеченного конуса, как на автомате АМК-150-3.

Для определения толщины намотки в любой точке, лежащей на поверхности паковки, напишем уравнение прямой АВ в системе координат $\eta\xi$:

$$\eta - \epsilon = \operatorname{tg}\Delta\xi,$$

где: $\epsilon = AC$ – толщина намотки в направлении, перпендикулярном оси мотального барабанчика. Тогда:

$$\eta = \xi \operatorname{tg}\Delta\alpha + \epsilon. \quad (3.7)$$

Тогда намотка в направлении, перпендикулярном оси веретена:

$$\Delta = R - r = \frac{\eta}{\cos\Delta\alpha} = \frac{\xi \operatorname{tg}\alpha}{\cos\Delta\alpha} + \frac{\epsilon}{\cos\Delta\alpha}. \quad (3.8)$$

Определим требуемую закономерность изменения скорости осевого перемещения нити на машине М-2 и сравним ее с фактически существующей.

Пример. Определить требуемую закономерность изменения скорости осевого перемещения нити на машине М-2 и сравнить ее с существующей скоростью осевого перемещения на этой же машине, если:

- радиус намотки малого торца паковки – $R_1 = 85$ мм;
- радиус намотки большого торца паковки – $R_2 = 105$ мм;
- радиус патрона у малого торца паковки – $r_1 = 20$ мм;

- радиус патрона у большого торца паковки – $r_2 = 35$ мм;
- высота намотки паковки $H = 150$ мм;
- частота вращения барабанчика $n_6 = 2000$ об/мин.

Скорость осевого перемещения нити на участках с шагом винтовой канавки барабанчика h_1 , h_2 и h_3 :

$$v_{H_1} = h_1 n_6 = 0,0725 \cdot 2000 = 145 \text{ , м/мин;}$$

$$v_{H_2} = h_2 n_6 = 0,055 \cdot 2000 = 100 \text{ , м/мин;}$$

$$v_{H_3} = h_3 n_6 = 0,046 \cdot 2000 = 92 \text{ , м/мин.}$$

График (точнее диаграмма) изменения скорости осевого перемещения нити изобразится ломаной линией 1 (рис. 3.5.).

В действительности вследствие наличия свободного отрезка нити между точкой наматывания и точкой раскладки нити, углов реверса и других факторов закономерность изменения скорости осевого перемещения нити (исключая участки реверса нити) может быть представлена кривой 2. Угол конусности паковки в любой момент времени может быть определен по формуле, предложенной профессором Е.Д Ефремовым:

$$(\alpha + \Delta\alpha) = 0,000677 R_1 + 0,0879 \text{ .}$$

При $R_1 = 25$ мм и $r_1 = 20$ мм имеем:

$$\alpha + \Delta\alpha = 0,000677 \cdot 25 + 0,0879 = 0,104825 \text{ .}$$

Толщина намотки, соответствующая радиусу R_i :

$$\Delta i = \Delta_1 + S[\operatorname{tg}(\alpha + \Delta\alpha) - \operatorname{tg}\alpha],$$

$$\Delta_1 = R_1 - r_1 = 25 - 20 = 5 \text{ , мм.}$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \Delta\alpha) = 0,10521; \operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}5,45^\circ = 0,1 \text{ ,}$$

тогда:

$$\Delta_i = 5 + 0,00521 S \text{ .}$$

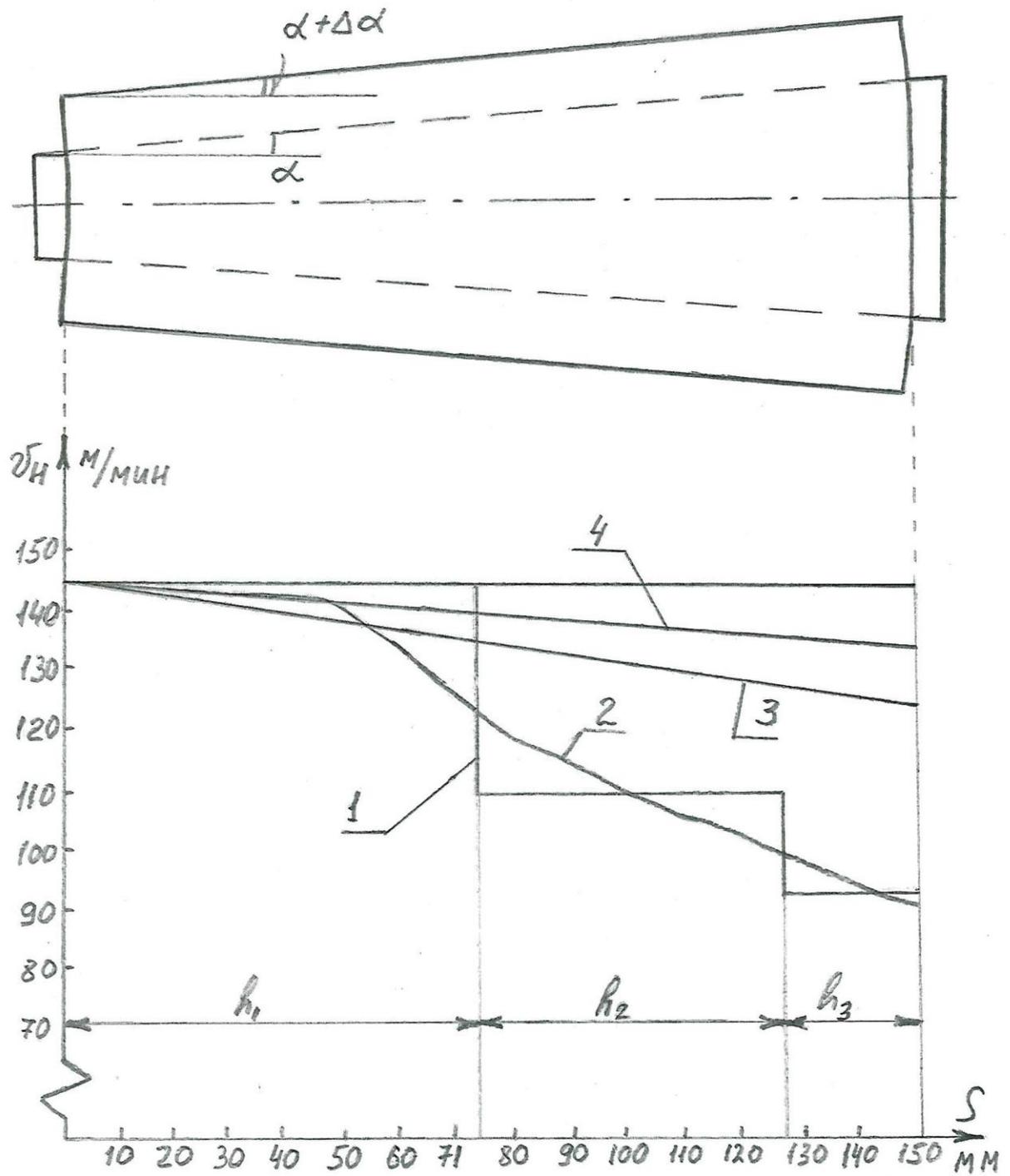


Рисунок 3.5. График изменения скорости осевого перемещения нити на машине М-2.

Скорость осевого перемещения нити вблизи малого торца целесообразно принять равной 145 м/мин. Используя выражение:

$$\Delta_1 v_{H_1} = \Delta_2 v_{H_2} = \dots = \Delta_i v_{H_i}, \quad (3.9)$$

можно определить осевую скорость перемещения нити на любом участке намотке:

$$v_{H_i} = v_{H_1} \frac{\Delta_1}{\Delta_i} = 145 \frac{5}{\Delta_i}, \text{ м/мин.} \quad (3.10)$$

Кривая 3, изображенная на рис. 3.5. показывает характер изменения скорости осевого перемещения нити, рассчитанной по вышеприведенной формуле.

Кривая 4 показывает характер изменения скорости осевого перемещения нити в конце наматывания паковки (при $R_1 = 85$ мм).

Расчетные значения скорости значительно отличаются от фактических значений, соответствующих кривой 2. Это обстоятельство вызвано, по-видимому, неравномерным распределением интенсивности нагрузки по длине образующей паковки. Интенсивность нагрузки (от веса паковки с веретеном, веса прилона и прессующего груза) возрастает в направлении от малого к большому торцу паковки, что вызывает и возрастание удельной плотности намотки в этом направлении.

Для расчета необходимой скорости осевого перемещения нити в этом случае надо пользоваться выражением:

$$\Delta_1 \gamma_1 v_{H_1} = \Delta_2 \gamma_2 v_{H_2} = \dots = \Delta_i \gamma_i v_{H_i}, \quad (3.11)$$

$$v_{H_i} = v_{H_1} \frac{\gamma_1 \Delta_1}{\gamma_i \Delta_i}. \quad (3.12)$$

Таким образом, при существующей конструкции приклоне на мотальных машинах фрикционного типа приходится заранее согласиться с неравномерным распределением удельной плотности намотки в осевом направлении паковок.

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что для формирования мотальных паковок заданной структуры необходимо специальное оборудование, исключающее наличие мотального барабанчика по двум причинам:

- 1) Наличие мотального барабанчика приводит к дополнительному истиранию нитей и потере их прочности;
- 2) Раскладка нитей на паковке канавкой мотального барабанчика не позволяет формировать прецизионную (точную) намотку на паковку, а, следовательно, нужную структуру армирования.

3.2. Разработка конструкции мотального механизма для формирования паковок увеличенных габаритов

Как отмечено ранее, существующие конструкции мотальных машин и автоматов, применяемых в текстильной промышленности, не позволяют формировать мотальные паковки заданной структуры, и ограничены в размерах. Большинство из них позволяют формировать мотальные паковки с высотой раскладки нити не более 25 см, при диаметре намотки бобин до 30 см. При этом размеры, формируемых паковок, лимитированы габаритными размерами сновальных рамок (если паковки используются в качестве питающих паковок при сновании нитей основы), либо габаритными размерами рамок для размещения паковок на трикотажных машинах, либо размерами зон для размещения паковок на ткацких станках (где они используются в качестве основных паковок).

Однако, в ряде случаев, при необходимости формирования мотальных паковок специального назначения, когда они используются в качестве композиционных материалов, трубчатых текстильных фильтров, аэраторов [73], возникает потребность в мотальных механизмах для формирования мотальных паковок увеличенных габаритов. В мировой практике машиностроения таких механизмов нет, а существующие конструкции мотального оборудования не позволяют создавать паковки увеличенных габаритов ввиду их конструктивных особенностей. Так, например, все мотальные машины и автоматы фрикционного типа, где раскладка нити осуществляется прорезным мотальным барабанчиком, позволяют формировать паковки с высотой раскладки нити не более 150 мм, что ограничено длиной нарезки канавки на поверхности мотального барабанчика. Диаметр намотки мотальных паковок, формируемых на данных машинах, ограничен ходом приклона с веретеном и не превышает 300 мм.

Конструкции мотальных механизмов с отдельным действием механизмов намотки и раскладки нити также ограничены в размерах,

формируемых паковок, либо размахом нитеводителя (размером кулачков нитераскладчика), либо конструкцией приклона и крепления веретен. Кроме того, для формирования на мотальных паковках требуемой структуры намотки паковок, в кинематическую цепь веретено-нитераскладчика требуется обязательное включение коноидных вариаторов, либо коробки сменных зубчатых шестерен, которые позволяют создавать требуемую величину передаточного отношения от нитеводителя к веретену, необходимого для формирования заданного угла сдвига витков (требуемой структуры намотки нитей на паковке).

Для формирования разработанных нами мотальных паковок специального назначения, используемых в качестве армирующих компонентов с большой высотой раскладки нити, был создан мотальный механизм, показанный на рис. 3.6.

Патрон 1 (каркас) мотальной паковки увеличенных габаритов получает вращение от электродвигателя ЭД через одноступенчатый редуктор со сменными прямозубыми шестернями $Z_{см}$. Патрон закрепляется в пинолях, одна из которых неподвижная 2 и подвижная пиноль 3, приводимая в движение рукояткой 4. Раскладка нити производится нитеводителем 5, закрепленным на горизонтальной штанге 6, расположенной параллельно образующей каркаса.

Нитераскладчик получает возвратно-поступательное движение по штанге 6 через шарнирно закрепленную штангу 7, рычаг 8, связанный с кулачковым валом 9 (кулачек имеет четыре витка в одном и четыре в обратном направлении канавки), получающим вращение от вала каркаса через цепную передачу 10 и шестерни Z_1 и Z_2 . Размах движения нитеводителя можно регулировать путем изменения длин плеч l_1 и l_2 тяги 7. При формировании мотальной паковки увеличенных габаритов нить с бобины 11 подается через баллоноограничитель 12, натяжной прибор 13, нитенаправитель 14 на нитеводитель 5.

Для формирования на паковке сомкнутой намотки из нити шириной $d_H=1$ мм; при диаметре патрона $D = 130$ мм необходимо выполнение условия:

$$\varphi = \frac{2d}{D \cdot \sin \frac{\beta}{2}}, \quad (3.13)$$

где: $\frac{\beta}{2} = \frac{v_i}{v_0}$ - половина угла скрещивания витков;

$v_H = h_k \cdot n_k$ - скорость движения раскладчика по кулачковому валу (точка К).

$$h_k = \frac{2 \cdot H_k}{k} = \frac{2 \cdot 250}{8} = 62,5, \text{ [мм]} \quad (3.14)$$

где: $H_k = 250$ мм – размах движения точки «К» по кулачку нитеводителя;
 $k = 8$ – число оборотов пазового кулачка за цикл движения точки «К» по канавкам реверсивного вала 9;

Окружная скорость наматывания нити:

$$v_0 = \pi D n_B = \pi \cdot 130 \cdot 200 = 81640 \text{ [об/мин]}, \quad (3.15)$$

Скорость переносного движения нити (скорость движения нитеводителя вдоль образующей паковки):

$$v_i = \frac{v_H}{l_k} l = h_k \cdot n_k \cdot \frac{l}{l_k}, \quad (3.16)$$

тогда,

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{v_i}{v_0} = \frac{h_k n_k l}{\pi D n_B l_k}, \quad (3.17)$$

где: $l = l_1 + l_2 = 250 + 1750 = 2000$ мм – длина тяги 7 привода нитеводителя.

Частота вращения пазового кулачка раскладчика нити:

$$n_k = \frac{\pi \cdot D \cdot n_A \cdot l_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{h_k l} = \frac{3,14 \cdot 130 \cdot 200 \cdot 0,875 \cdot 250}{62,5 \cdot 2000} = 14,287 \text{ [об/мин]}, \quad (3.18)$$

где:

$$\frac{\beta}{2} = 5^\circ; \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 0,0875.$$

Требуемое значение угла сдвига витков, необходимого для формирования на паковке сомкнутой структуры намотки составит:

$$\varphi_c = \frac{2d}{D \cdot \operatorname{Sin} \frac{\beta}{2}} = \frac{2 \cdot 1}{130 \cdot 0,0785} 10^\circ. \quad (3.19)$$

Определим общее передаточное отношение от нитеводителя к веретену, необходимое для формирования сомкнутой структуры намотки:

$$i_0 = \frac{n_B}{n_k} = \frac{200}{14,287} 13,998 + 4, \quad (3.20)$$

$$k_{i_0} = 111,98992; n = 111; v_i^e = 62,5 \cdot 14,287 = 892,94 \text{ [об/мин]},$$

$$v_1 = \frac{892,94}{250} \cdot 2000 = 7143,5 \text{ [мм/мин]}.$$

Требуемое для формирования сомкнутой структуры намотки нити на паковку определяем по формуле:

$$i_{oc} = \frac{z + n_1 P}{k(P \pm \frac{d}{2H})}. \quad (3.21)$$

Время цикла движения нитераскладчика:

$$t_0 = \frac{2H}{v_1} = \frac{2 \cdot 2000}{7143,5} = 0,56, \quad (3.22)$$

Принимаем: $z = 1$ – кратность замыкания катушки;

$N_1 = 111$; $P = 1$ – степень замыкания катушки;

$d_H = 1$ мм – условный диаметр нити;

$H = 2000$ мм – длина катушки паковки.

Тогда величина передаточного отношения от нитеводителя к паковке, необходимая для формирования сомкнутой структуры составит:

а) для опережающей сомкнутой катушки:

$$i_{oc} = \frac{1 + 111 \cdot 1}{8 \cdot (1 + \frac{1}{2 \cdot 2000})} = \frac{112}{8 \cdot 1,00025} = 13,9965$$

б) для отстающей сомкнутой катушки:

$$i_{oc} = \frac{1 + 111 \cdot 1}{8 \cdot (1 - \frac{1}{2 \cdot 2000})} = \frac{112}{8 \cdot 0,99975} = 14,0035.$$

При данных значениях i_{oc} на паковке будет формироваться угол сдвига между витками различных пар слоев катушки:

$$\varphi_{1,p+1} = 369 P(k_{io} - n_1), \quad (3.23)$$

а) для опережающей сомкнутой структуры катушки:

$$\varphi_{1,2} = 360 \cdot 1(8 \cdot 13,9965 - 111) = 349,92(10,08), \quad (3.24)$$

б) для отстающей сомкнутой намотки:

$$\varphi_{1,2} = 360 \cdot 1(8 \cdot 14,0035 - 112) = 10,08^{\circ}. \quad (3.25)$$

Таким образом, предложенная кинематическая схема мотального механизма позволяет обеспечить для данного вида нитей (при $d_H = 1$ мм) требуемое значение угла сдвига витков, необходимое для формирования сомкнутой структуры намотки нитей на паковку.

Для формирования сомкнутых намоток из нитей другой линейной плотности потребуется включение в кинематическую цепь коноидного вариатора, который позволит плавно изменять величину передаточного отношения от нитеводителя к паковке и тем самым добиваться требуемого значения угла сдвига между витками различных пар слоев намотки.

Для снижения инерционных нагрузок на механизм раскладки нити нами был выбран привод мотального механизма, методами, изложенными в [61]. Также был выбран редуктор и электродвигатель, обеспечивающий частоту вращения паковки $n_B = 200$ об/мин.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Существующие конструкции мотального оборудования не позволяют формировать паковки с большой высотой раскладки нити ввиду несовершенства механизмов раскладки нити.

2. Проектирование механизмов раскладки нити для формирования паковок с большой высотой намотки следует производить с расчетом требуемого значения угла сдвига между витками различных слоев намотки (требуемой структуры намотки нити), сомкнутой или замкнутой.

3.3. О влиянии конструкции натяжного прибора на натяжение нити при сматывании ее с паковки

Как в мотальном, так и в ткацком производстве, в процессе осевого сматывания нити с неподвижных паковок, каждый элемент ее подвергается:

- заправочному натяжению (создаваемому натяжными приборами различных конструкций), обеспечивающему начальную, минимально допустимую нагрузку на нить;

- дополнительному натяжению нити в процессе работы оборудования (вызываемому процессом баллонирования нити, трением о направляющие органы машин, сцеплением отдельных ее элементов с поверхностью намотки, а также структурой намотки нитей на питающую паковку), видом волокнистого материала, скорости сматывания нити и т.д.

Главным требованием технологического процесса сматывания нити с паковок является постоянство (стабильность) натяжения сматываемых нитей в течение всего цикла работы машин, а также в течении всего времени схода нити с питающих паковок.

Для реализации данных задач учеными текстильщиками были разработаны различные конструкции натяжных приборов, получены теоретические формулы определения величины натяжения нити, как в вершине баллона сматывания, так и на входе из натяжных приборов. Данной работе посвящены исследования таких ученых как А.П. Минаков, В.А. Гордеев, Е.Д. Ефремов, А.Ф. Прошков и другие [62, 66].

Однако данные исследования все же не позволяют обеспечить полный анализ работы отдельных конструкций натяжных приборов в реальных условиях их применения и выявить приборы, конструкция которых наиболее полно отвечает требованиям производства и переработки крученых базальтовых, углеродных волокон и стеклонитей (обладающих высокой жесткостью).

Данная часть исследований посвящена сравнительному анализу работы дисковых натяжных приборов трех видов, наиболее часто применяемых в текстильном производстве для обеспечения заправочного натяжения крученых, базальтовых и углеродных нитей при их сматывании с цилиндрических паковок.

В качестве анализируемых конструкций были приняты двухзонные шайбовые натяжные приборы с уточно-мотальных автоматов АТП-290, двухзонный шайбовый прибор с основовязальных трикотажных машин и новая конструкция безинерционного натяжного прибора состоящего из двух взаимосвязанных дисков нагруженных пружинами. Конструкция нового прибора приведена на рис. 3.7.

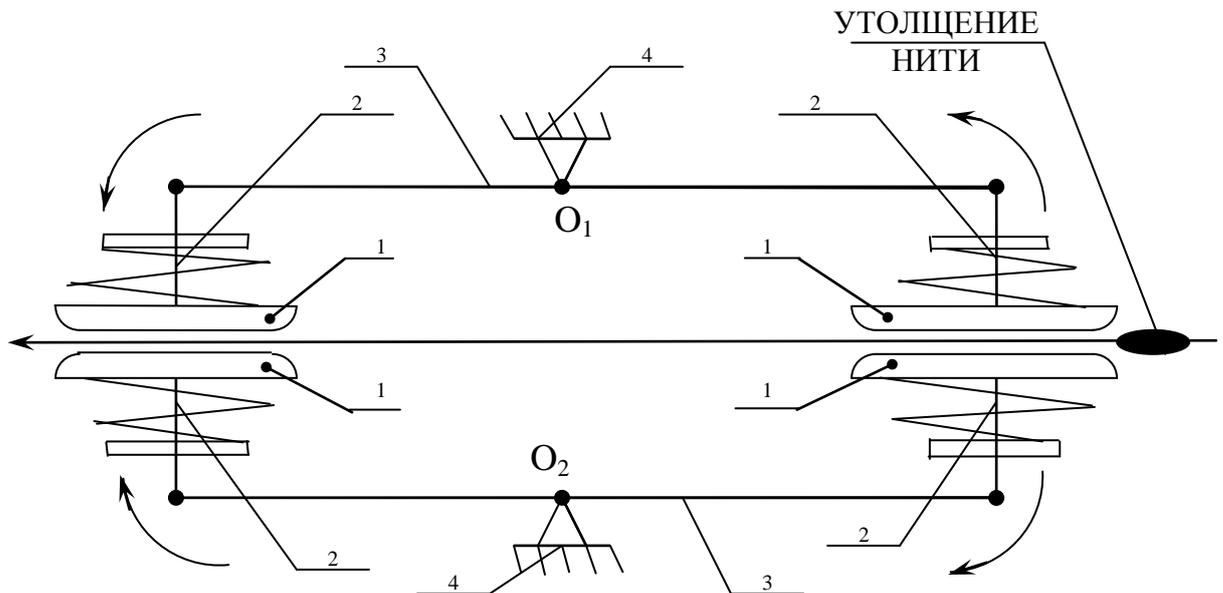


Рисунок 3.7.. Конструкция двухзонного безинерционного натяжного прибора.

Представленная конструкция нитенатяжителя работает следующим образом.

Саморегулирующийся автоматический нитенатяжитель состоит из двух пар подпружиненных пружинами шайб 1, расположенных на рычагах-штоках 2, двух двуплечих рычагов 3, шарнирно закрепленных на их середине в осях O_1 и O_2 к раме машины 4.

При прохождении утолщенного участка крученой нити между подпружиненными шайбами 1 на входе прибора они раздвигаются через пружины закрепленные на рычагах-штоках 2 поворачивают двуплечие рычаги 3 относительно осей O_1 и O_2 , при этом подпружиненные шайбы 2 на выходе из натяжного прибора сжимаются, выравнивая натяжение нити между шайбами на входе и выходе из натяжного прибора.

Заправочное натяжение перематываемых крученых нитей во всех трех конструкциях регулируется изменением затяжки пружин в обеих зонах прибора. В практических условиях жесткость пружин и их затяжка различны, поэтому для создания одинаковой величины натяжения нити на выходе из приборов использовалась тарировка грузами, а в качестве питающих паковок применялись цилиндрические паковки, сформированные на одном веретене мотальной машины «Бандомат».

В условиях ООО «Ковротекс» г. Димитровград были проведены эксперименты по определению влияния конструкции нитенатяжителей на характер изменения их натяжения в процессе схода исследуемых нитей с паковок. Для эксперимента использовали углеродную нить $T=240$ текс. В зоне между натяжным прибором и глазком механизма выключения машины из работы при обрыве нити устанавливали упругую балочку с проволочными тензодатчиками, сигнал об изменении натяжения нити от которых передавался на шлейфовый осциллограф и кинолентку.

В результате анализа осциллограмм были получены средние значения натяжения сматываемых нитей в зависимости от диаметра намотки паковок. Данные расчетов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Средний диаметр намотки паковок, мм	Двухзонные инерционные натяжные приборы				Новый двухзонный натяжной прибор (безинерционный)	
	АТП-290		ОВ		\bar{T}	σ
	\bar{T}	σ	\bar{T}	σ		
230	83,0	30,1	82,3	16,8	82,2	16,7
220	82,3	32,3	81,0	17,3	81,7	17,7
210	82,0	37,4	80,4	18,3	80,4	16,8
180	81,0	36,0	76,2	19,4	79,8	17,7
160	83,7	37,0	80,4	17,4	81,7	18,3
130	89,6	41,7	83,7	19,5	82,2	19,2
110	100,1	40,3	90,4	17,3	84,2	17,3
80	110,1	42,7	95,6	18,4	86,6	17,6
Среднее значение δ	88,975	37,18	83,75	18,05	82,38	17,66
	32,7	33,8	18,1	5,54	7,16	4,5
$C=\sigma/\bar{T}$ 100%	41,9		21,55		21,4	

Экспериментальные исследования показали, что с уменьшением диаметра намотки паковок натяжение нитей во всех трех случаях сначала снижается, а к завершению процесса схода нити с паковок вновь возрастает. Несмотря на различные конструкции натяжных приборов, натяжение зависит, следовательно, и от структуры намотки питающих паковок, что подтверждается исследованиями, проведенными и описанными в работе [62].

Новый двухзонный натяжной прибор (безинерционного типа) позволяет обеспечить наилучшие условия сматывания нитей за счет взаимосвязи и изменения колебаний на выходе прибора по отношению к изменениям натяжения нити на его входе.

Следует отметить, что неравномерность натяжения определяется по формуле:

$$\delta = \frac{\bar{T}_{\max} - \bar{T}_{\min}}{\bar{T}}, \quad (3.26)$$

где \bar{T}_{\max} - максимальное значение величины натяжения;

\bar{T}_{\min} - минимальное значение величины натяжения;

Анализ полученных данных показывает, что \bar{T} - среднее значение величины натяжения при работе с новым нитенатяжителем значительно снизилась на 25,5% по сравнению с прибором машины ОВ.

В результате проведенных исследований и экспериментов с натяжными приборами можно сделать следующие выводы:

1. Конструкция нитенатяжителей, наряду с другими факторами существенно влияет на неравноту и величину натяжения нитей при их перемотке.

2. Наилучшие условия для сматывания нитей с неподвижных паковок обеспечивают двухзонные (безинерционные) приборы новой конструкции.

3.4. Расчет сил нормального давления витков нити на намотку при формировании армирующих паковок

При формировании армирующих заготовок композиционных материалов методом намотки нитей на цилиндрические, конические паковки или оправки заданной кривизны поверхности их натяжение вызывает уплотнение структуры намотки и даже перераспределение удельной плотности по объему намотки паковки.

Рассмотрим характер изменения величины давления наматываемой под натяжением нити на нижележащие слои намотки.

Очевидно, что характер расположения витков на поверхности намотки будет оказывать существенное влияние на величину давления верхних витков на нижние наряду с величиной натяжения нити.

Так, при параллельной намотке нити на цилиндрическую паковку силы, действующие на нить, находящуюся под натяжением t , будут оказывать давление на нижележащие слои намотки и на оправку. Рассмотрим рис. 3.8., на котором изображены продольный и поперечный разрезы паковки цилиндрической формы с параллельным расположением нитей.

Давление витка нити, находящейся под заправочным натяжением t , можно определить из выражения:

$$\frac{dN}{2} = t \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} \approx t \frac{d\varphi}{2}, \quad (3.27)$$

или

$$dN = t \cdot d\varphi, \quad (3.28)$$

где: N – величина нормального давления нити на паковку в зоне контакта;

t – заправочное натяжение нити на мотальной машине;

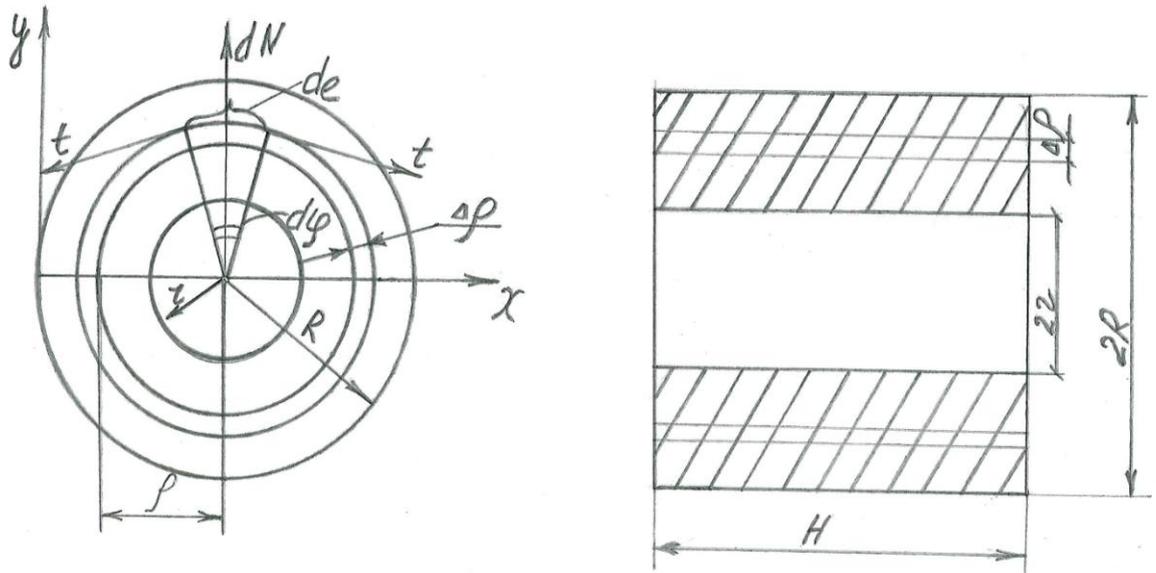


Рисунок 3.8. Продольный и поперечный разрезы цилиндрической паковки с параллельной намоткой нитей.

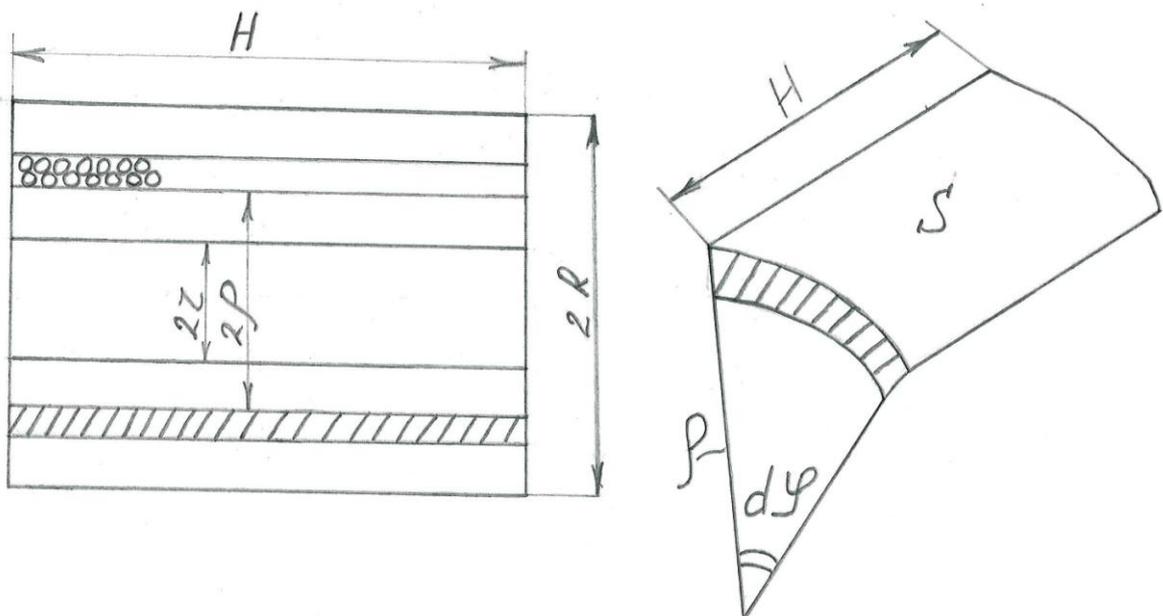


Рисунок 3.9. Разрез паковки и расположение витков нити.

φ – угол охвата нитью поверхности намотки в зоне контакта.

Очевидно, что распределение давления по поверхности паковки от длины нити:

$$g_l = \frac{dN}{dl} = \frac{dN}{\rho d\varphi} = \frac{t \cdot d\varphi}{\rho dl} = \frac{t}{\rho}, \quad (3.29)$$

где:

l – длина i -того витка нити в намотке на участке текущего радиуса ρ ;

ρ – текущий радиус намотки паковки.

На рис. 3.9 показан разрез паковки и расположение параллельных витков нити в ее структуре.

Из рис. 3.9 видно, что величина давления намотки на нижележащие слои и оправку будет зависеть от числа витков I в слое намотки:

$$\Delta N = i dN, \quad (3.30)$$

где:

ΔN – приращение давления витков на нижележащие слои на i -ом витке.

Выделим объем намотки нитей рис. 3.9

$$\Delta V = 2\pi H \rho \Delta \rho, \text{ [см}^3\text{]} \quad (3.31)$$

Очевидно, что масса нити в выделенном объеме составит:

$$\Delta G = \gamma \cdot \Delta V, \quad (3.32)$$

где: γ – удельная плотность намотки нитей на выделенном участке [г/см³];

$$\Delta G = 2\pi H \rho \Delta \rho \gamma, \text{ [г]} \quad (3.33)$$

Длина одного витка нити в выделенном объеме намотки составит:

$$l = 2\pi \rho, \text{ [см]}, \text{ а масса } g = \frac{lT}{10^5} = \frac{2\pi \rho T}{10^5} \text{ [г]}, \quad (3.34)$$

где: T – линейная плотность нити (текс).

Число витков нити в выделенном объеме:

$$i = \frac{\Delta G}{g} = \frac{2\pi H \rho \Delta \rho \gamma 10^5}{2\pi \rho T} = \frac{H \Delta \rho \gamma 10^5}{T}; \quad (3.35)$$

Изменение нормального давления:

$$\Delta N = \frac{H \Delta \rho \gamma 10^5}{T} d\varphi; \quad (3.36)$$

Площадь распределения давления (рис.3.9 б):

$$S = H \rho d\varphi, \quad (3.37)$$

тогда:

$$\Delta g = \frac{\Delta N}{S} = \frac{H \Delta \rho \gamma 10^5 d\varphi}{T H \rho d\varphi} = \frac{\gamma 10^5 \Delta \rho}{T \rho}, \quad (3.38)$$

или

$$dg = \frac{\gamma 10^5}{T} \cdot \frac{d\rho}{\rho}. \quad (3.39)$$

Соответственно, величина нормального давления витка на поверхности паковки при параллельной намотке нитей составит:

$$g = \int_r^R dg = \int_r^R \frac{\gamma 10^5}{T} \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\gamma 10^5}{T} \int_r^R \frac{d\rho}{\rho} \approx \frac{\gamma 10^5}{T} l_{n\rho} = \frac{\gamma 10^5}{T} (l_n R - l_n r) = \frac{\gamma 10^5}{T} l_n \frac{R}{r} \quad (3.40)$$

Из полученного выражения видно, что величина давления витков на намотку будет зависеть от величины заправочного натяжения нити (от работы натяжных приборов), характера кривизны поверхности (отношения $\frac{R}{r}$) и от структуры намотки нитей (удельной плотности намотки γ).

При крестовой структуре намотки нитей на цилиндрическую паковку, показанную на рис. 3.10, распределение давления витков нитей на поверхность паковки определяется из выражения:

$$dN = t \cos \frac{\beta}{2} d\varphi, \quad (3.41)$$

где: β – угол скрещивания витков.

Изменение величины давления нити на паковку от числа витков на участке дуги АВ от числа витков i составит:

$$\Delta N = dNi, \quad (3.42)$$

так как

$$g_l = \frac{dN}{dl}, \text{ то } dl = \frac{\rho d\varphi}{\cos \frac{\beta}{2}} = \overset{\cup}{AB}, \quad (3.43)$$

а

$$g_l = \frac{dN}{dl} = \frac{t \cos \frac{\beta}{2} d\varphi \cos \frac{\beta}{2}}{\rho d\varphi} = \frac{t \cos^2 \frac{\beta}{2}}{\rho}, \quad (3.44)$$

или

$$\Delta g = \frac{\Delta N}{S} = \frac{10^5 t \gamma \cos^3 \frac{\beta}{2} \Delta \rho}{T \rho}, \quad (3.45)$$

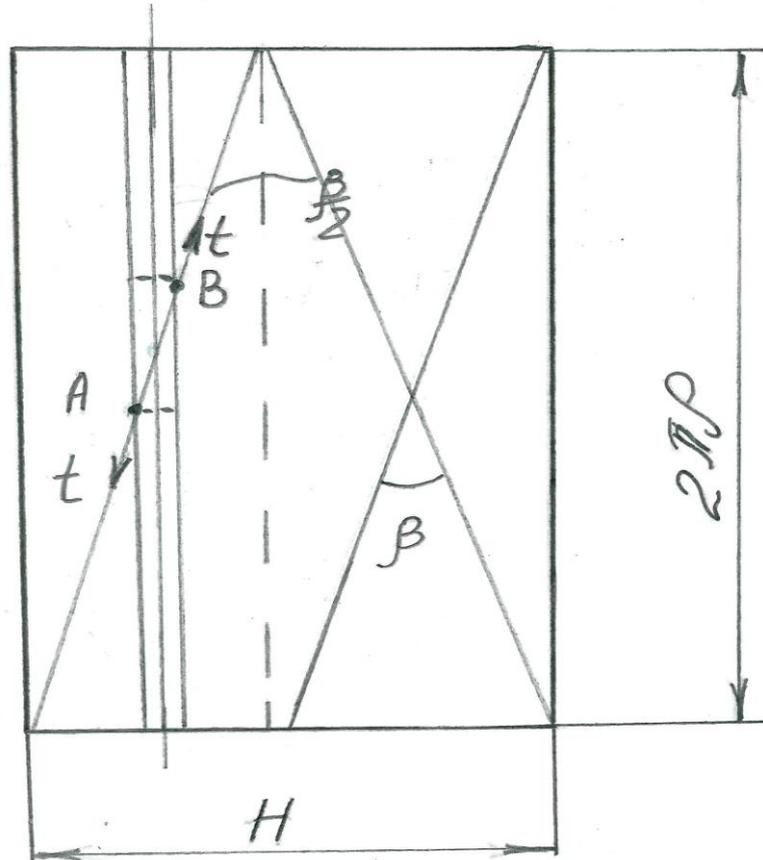


Рисунок 3.10. Развертка поверхности цилиндрической крестовой
намотки нити.

Следовательно, давление витков на нижележащие слои можно определить из выражения:

$$g = \frac{10^5 t \gamma \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T} l_n \frac{R}{r}, \left[\frac{сН}{см^3}; \frac{Н}{см^3} \right] \quad (3.46)$$

В результате проведенных исследований можно сделать выводы о том, что при формировании армирующих компонентов композиционных материалов намоткой уплотнению структуры способствует силы нормального давления вышележащих витков нити на нижележащие слои, что обусловлено величиной натяжения нити, степенью кривизны поверхности паковки и структурой взаимного расположения витков нити относительно друг друга.

3.5. К расчету нагрузок композиционных материалов с армирующим компонентом формируемым намоткой

Стремление получить композиционные материалы с оптимальными физико-механическими свойствами и с любыми желаемыми сочетаниями свойств (легкости, немагнитности, термостойкости и т.д.) выдвигает в первые ряды современных композиционных материалов структуры, создаваемые на базе армирующих компонентов, формируемых намоткой.

Развитие теории наматывания, изложенное в работах [63;64], открывает совершенно новые представления о возможностях и разнообразии структур мотальных паковок специального назначения, а, следовательно, и для создания новых структур армирования композиционных материалов. Многообразие структур намоток нитей на оправки заданной формы также существенно расширяет ассортимент изделий композитов, формируемых однопроцессным способом, как тел вращения. Одним из главных преимуществ такого способа армирования композиционных материалов является, наряду с управляемой структурой намотки (пористостью, проницаемостью, направлением и формой пор) и минимальное истирающее воздействие на нити со стороны направляющих органов мотального оборудования, а, следовательно, минимальное разрушающее воздействие на них.

Стекловолоконистые или углеродные нити и волокна диаметром от пяти до двадцати микрон составляют основу армирующих компонентов конструкционных материалов превосходящих по прочности сталь, а в качестве основных намоточных структур, до настоящего времени, применялись винтовые (прецизионные) намотки непрерывных волокон (нитей) на оправки заданной формы. Считалось также, что они способны воспринимать только растягивающие напряжения, и не способны сохранять заданные геометрические формы и т.д. Однако данные утверждения строились на базе рассмотрения одного объемного плоского слоя намотки

волокон (нитей) заправленных клеевой матрицей, без учета структуры (взаимного расположения витков в нескольких слоях намотки) при формировании всего объемного тела армирующего композиционного материала.

Принимая во внимание то, что проклеенные ленты стеклонитей достаточно жестки, а напряжение σ стеклонитей проклеенного композита плоской формы при центральном одноосном растяжении можно определить из выражения, предложенного в работе [59] :

$$\sigma = \frac{P}{S_{ac}} = \frac{\sum_1^m S_{bi}^{ax} \sigma_{bi}^{ax} \cos \beta/2}{S_{ac}}, \quad (3.47)$$

где P – прилагаемое к ленте усилие;

S_{ac} – площадь образца в сечении занимаемом нитью в ленте;

σ_{bi}^{ax} – прочность на разрыв каждой нити при ее разрывной длине Δx ;

$\beta/2$ – половина угла скрещивания витков нити в ленте;

S_{ab} – площадь эллипса с осями «а» и «b» стеклонити в арматуре.

На рис. 3.11 приведена модель расположения стеклонитей в ленте композиционного материала.

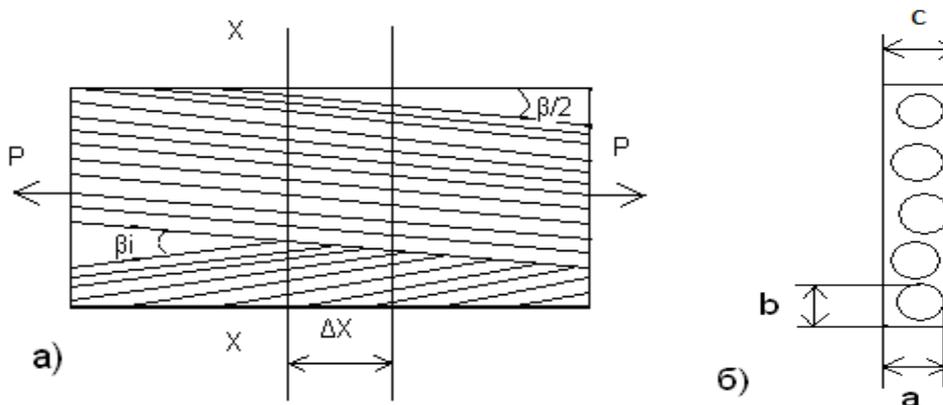


Рисунок 3.11 Модель расположения стеклонитей в ленте композиционного материала:

а) расположение нитей в ленте; б) сечение ленты.

Для упрощения расчетов напряжения нитей в ленте взамен σ_{bi}^{ax} и $\beta/2$ в работе [65] использовалось среднеарифметическое значение напряжение нитей в сечении ленты на данном отрезке, т.е.:

$$\sigma_b^{ax} = \frac{\sigma_{b1}^{ax} + \sigma_{b2}^{ax} + \dots + \sigma_{bi}^{ax}}{m} \quad (3.48)$$

$$a = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_i}{m} \quad (3.49)$$

Обозначив в формуле (3.47) выражение

$$\frac{\sum_1^k S_{bi}^{ax}}{S_{ac}} = H_0 \quad (3.50)$$

Вводилось понятие называемое – «критерием объемной плотности», отражающего относительное содержание нитей в объеме композиционного материала.

Тогда:

$$\sigma = H_0 \sigma_b^{ax} \cos \frac{\beta}{2} \quad (3.51)$$

Однако, данное выражение не учитывает структуру намотки лент и взаимное расположение нитей в выделенном объеме ленты.

Из положений, выведенных в работе [63] известно, что существуют различные виды структур намоток нитей, а именно:

- сомкнутые максимально плотные;
- замкнутые (сотовые) с порами заданного размера;
- спиралевидные, имеющие поры, изменяющиеся как по форме, так и по их направлению в структуре тела намотки.

Вполне очевидно, что при нанесении связующего компонента на данные виды намоток равного объема масса его будет зависеть от количества и размеров пор в структуре каждой намотки, а, следовательно, и объемное заполнение композиционных материалов и их прочностные характеристики будут различными. В данном случае при определении напряжений нитей в структуре материалов при их растяжении должно определяться не по формуле (3.51), а по конкретным расчетным значениям количества и взаимного расположения нитей в структуре намотки того или иного вида.

Для справедливости здесь следует отметить, что расчетные значения, получаемые по формуле (3.51) достаточно справедливы для хаотичных структур намотки стеклонитей, когда их взаимное расположение не постоянно, но не дают точных результатов для прецизионных намоток.

Намотки, показанные на рис. 3.12 относятся к прецизионным, для каждой из которых число нитей в заданном объемном слое будет строго постоянным. Так для сомкнутых намоток число нитей « m » будет определяться по формуле:

$$m = x/d , \quad (3.52)$$

где:

$x = 2\pi r \sin \frac{\beta}{2}$ – минимальное расстояние между витками намотки в данном

слое;

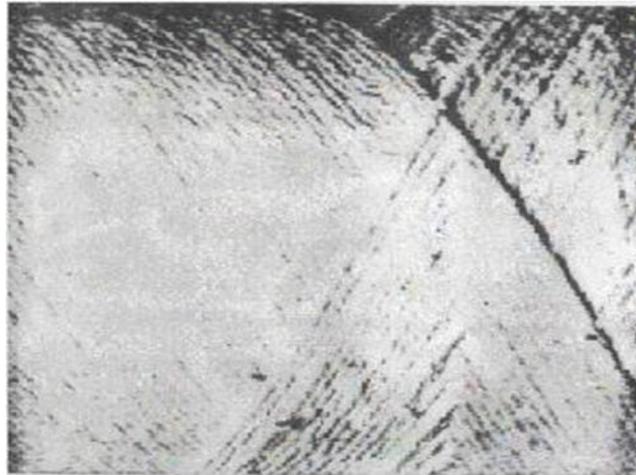
r – радиус намотки паковки;

d – диаметр стеклонити.

Число витков в объемном слое замкнутых и спиралевидных намоток должно определяться из расчета угла сдвига витков и степени замыкания намотки – p , т.е. числа витков нити по истечении которого рисунок намотки будет повторяться.



а) Сомкнутая структура намотки нитей на паковку.



б) Замкнутая структура намотки нитей на паковку.



в) Спиралевидная структура намотки нитей на паковку.

Рисунок 3.12. Виды структур намотки нитей.

Для замкнутых намоток степень замыкания:

$$p \leq \frac{x}{d} = \frac{\pi D \sin \beta / 2}{d}, \quad (3.53)$$

где D – диаметр намотки формируемой паковки.

Подставляя полученные расчетные значения m в формулу (3.47) можно определять значения нагрузок приходящихся на нити клеевых компонентов формируемых прецизионной намоткой с более высокой точностью.

На основе проведенных исследований и экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. При расчете напряжений нитей, возникающих в структуре композиционных материалов, формируемых намоткой, необходимо учитывать взаимное расположение нитей во всем объеме формируемого армирующего материала.

2. Расчет напряжений в армирующих нитях клеевых компонентов композиционных материалов, формируемых намоткой, следует выполнять с предварительным расчетом числа витков нитей в замкнутой намоткой объеме.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III

1. Для формирования армирующих компонентов композиционных материалов намоткой необходимо специальное мотальное оборудование, которого отечественная промышленность не выпускает.
2. Мотальное оборудование фрикционного типа применять для создания композиционных материалов из термостойких волокон и нитей нельзя, так как оно вызывает дополнительное вредное истирание нитей мотальным барабанчиком и не позволяет получать прецизионную (заданную) структуру намотки нитей на паковке.
3. Натяжные приборы оказывают решающее влияние не только на величину натяжения нитей при перематывании, но и на их истирание, а также степень прессования намотки, что необходимо учитывать при формировании армирующих компонентов композитов.
4. Величина натяжения нитей при формировании мотальных паковок оказывает влияние на степень прессования намотки и структуру расположения армирующих нитей в композиционном материале.
5. Форма намотки мотальных паковок и кривизна их поверхности, а также угол скрещивания витков, оказывают существенное влияние на степень прессования намотки вышележащими витками нитей.
6. Взаимное расположение нитей в структуре намотки армирующих компонентов оказывает существенное влияние на напряжения, возникающие в нитях в композиционном материале.
7. При расчете напряжений нитей, возникающих в структуре композиционных материалов, формируемых намоткой, необходимо учитывать взаимное расположение нитей во всем объеме формируемого армирующего материала.
8. Расчет напряжений в армирующих нитях клеевых компонентов композиционных материалов, формируемых намоткой, следует выполнять с

предварительным расчетом числа витков нитей в замкнутой намотке
объеме.

ГЛАВА IV. АРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФОРМИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Суть процесса армирования композитов из термостойких волокон заключается в оптимизации технологических процессов текстильного производства, которое используется в качестве базы (наматывания, ткачества, вязания, плетения или выкладки нетканых материалов).

Целями и основными технологическими задачами являются: 1) получение текстильных изделий с заданными геометрическими формами; 2) требуемыми размерами; 3) точностью изготовления (чистотой) поверхностей. Для этого надо правильно спроектировать оснастку и разработать технологические режимы формирования текстильного изделия. Здесь следует отметить, что для формирования цельных армирующих заготовок методом ткачества оснастки не требуется, так как суровая ткань, снятая со станка, не разрушается и принимает нужную форму без предварительной пропитки. Однако, для выполнения требований по размерам и форме тканых изделий, необходимо проводить сложные заправочные расчеты, которые часто ограничены возможностями ткацких станков, а именно:

- наличием и числом ремизок;
- конструкцией механизма отвода ткани;
- шириной заправки станка и т.д.

Для формирования армирующих изделий намоткой нужны оправки (оснастка), на которых формируются изделия имеющие ось вращения. Однако, данные текстильные изделия не могут быть сняты с оправок без закрепления структуры намотки связующими, потому что произойдет их разрушение. Данное обстоятельство, несмотря на все преимущества армирования композитов намоткой, ограничивают область их использования. Поэтому разработка оправок, с помощью которых происходит позитивное

или негативное копирование поверхности изделия имеет очень важное значение.

Контроль качества формируемых изделий может производиться общеизвестными методами:

- обмером изделий и сравнением их с эталонами (образцами);
- испытаниями на герметичность и физико-механических свойств (разрыв);
- неразрушающим контролем структур с помощью ультразвуковых установок.

Контроль конструктивных и технологических параметров, формируемых изделий, необходим для своевременного исправления возможных изменений технологического процесса в режиме формирования. Например, по расчетному и фактическому показателю удельной плотности намотки можно установить оптимальную величину натяжения нитей и степени прессования намотки, а по значениям плотности пористости тканей можно рассчитать коэффициент заполнения будущего композита армирующим компонентом и результирующий вес готового изделия.

Особое внимание необходимо уделить подготовке связующих наполнителей (смола), используемых при формировании композиционных материалов. Это могут быть терморезактивные смолы (отверждаемые при нагреве, переходя в неплавкое и нерастворимое состояние), в то время как термопластичные смолы при нагревании размягчаются и отверждаются при охлаждении. Связующее на армирующий наполнитель композита наносят методами пропитки, вакуумного заполнения, распыления, окунания и т.д. Выбор связующего определяет особенности изготовления композиционных материалов и его способности склеивать отдельные волокна и слои армирующего материала, то есть от адгезионных свойств смол.

4.1. Экспериментальное исследование влияния некоторых факторов на структуру армирующих компонентов формируемых намоткой.

Влияние технологических параметров на структуру намотки мотальных паковок подробно рассматривалось в работах профессора Панина И.Н. [67,71]. В работах было отмечено, что основным показателем, характеризующим структуру намотки мотальных, паковок является ее удельная плотность γ . Так для паковок сомкнутой структуры она приближается к максимально возможной величине равной $1/c^2$. Постоянная величина «с» зависит от вида волокнистого материала и рыхлости нити. Ее величина связана с диаметром и плотностью нити зависимостями:

$$d = \frac{c}{\sqrt{N}}, \quad (4.1)$$

где: N – номер наматываемой на паковку нити (м/г);

$$c = \sqrt{\frac{4}{\pi\gamma_H}}, \quad (4.2)$$

где: γ_H – объемная плотность нити (г/см³).

В работе [69] профессора Усенко В.А. исследовалась зависимость диаметра комплексных химических нитей от их номера и крутки. Им была установлена величина «с» для различных видов пряжи:

$$\text{х/б пряжа} - c = 1,25; \gamma_{\text{сомкн}} = 1/c^2 = 0,64 \text{ г/см}^3;$$

$$\text{спандекс} - c = 1,1; \gamma_{\text{сомкн}} = 1/c^2 = 0,81 \text{ г/см}^3;$$

$$\text{борные} - c = 2,34; \gamma_{\text{сомкн}} = 0,18 \text{ г/см}^3;$$

$$\text{стеклянные} - c = 2,55; \gamma_{\text{сомкн}} = 0,15 \text{ г/см}^3;$$

$$\text{углеродные} - c = 2,1; \gamma_{\text{сомкн}} = 0,22 \text{ г/см}^3;$$

льняная – $c = 1,1-1,15$; $\gamma_{\text{сомкн}} = 0,78 \text{ г/см}^3$;

Однако, получить полностью сомкнутую структуру намотки армирующего компонента композитов сложно, ввиду наличия зазоров между отдельными волокнами в структуре нитей, а на конической поверхности армирования разомкнутость витков возникает у большого торца [70], за счет несоответствия требуемого и создаваемого мотальным механизмом углов сдвига витков на малом и большем торцах паковки. Поэтому намотка на таких паковках имеет квазисомкнутую (приближенно сомкнутую) структуру.

Для определения факторов, оказывающих решающее влияние на структуру намоток армирующих материалов, были проведены исследования в условиях ООО «Ткач» г. Димитровград. На специальном оборудовании, схема наматывания нити на котором приведена на рис. 4.1 формировались цилиндрические и конические паковки из различных термостойких волокон.

За выходной параметр была принята удельная плотность намотки формируемых паковок, а основными независимыми факторами приняты:

- диаметр намотки мотальной паковки – X_1 (см);
- натяжение наматываемой нити – X_2 (сн);
- удельное давление укатывающего валика на намотку – X_3 (сн/см).

Величина прессующего усилия, действующего со стороны прессующего валика 1 на намотку 2, определяется по формуле:

$$N_R = \frac{Gh - G_r h_r - F_{\text{п}} h_{\text{п}}}{h_1}, \quad (4.3)$$

где: G – вес приклона;

G_r – вес регулировочного груза;

$F_{\text{п}}$ – усилие затяжки пружины;

h , h_r , $h_{\text{п}}$ – длины перпендикуляров, опущенных из точки «0» (ось вращения приклона) на линии действия сил G , G_r и $F_{\text{п}}$.

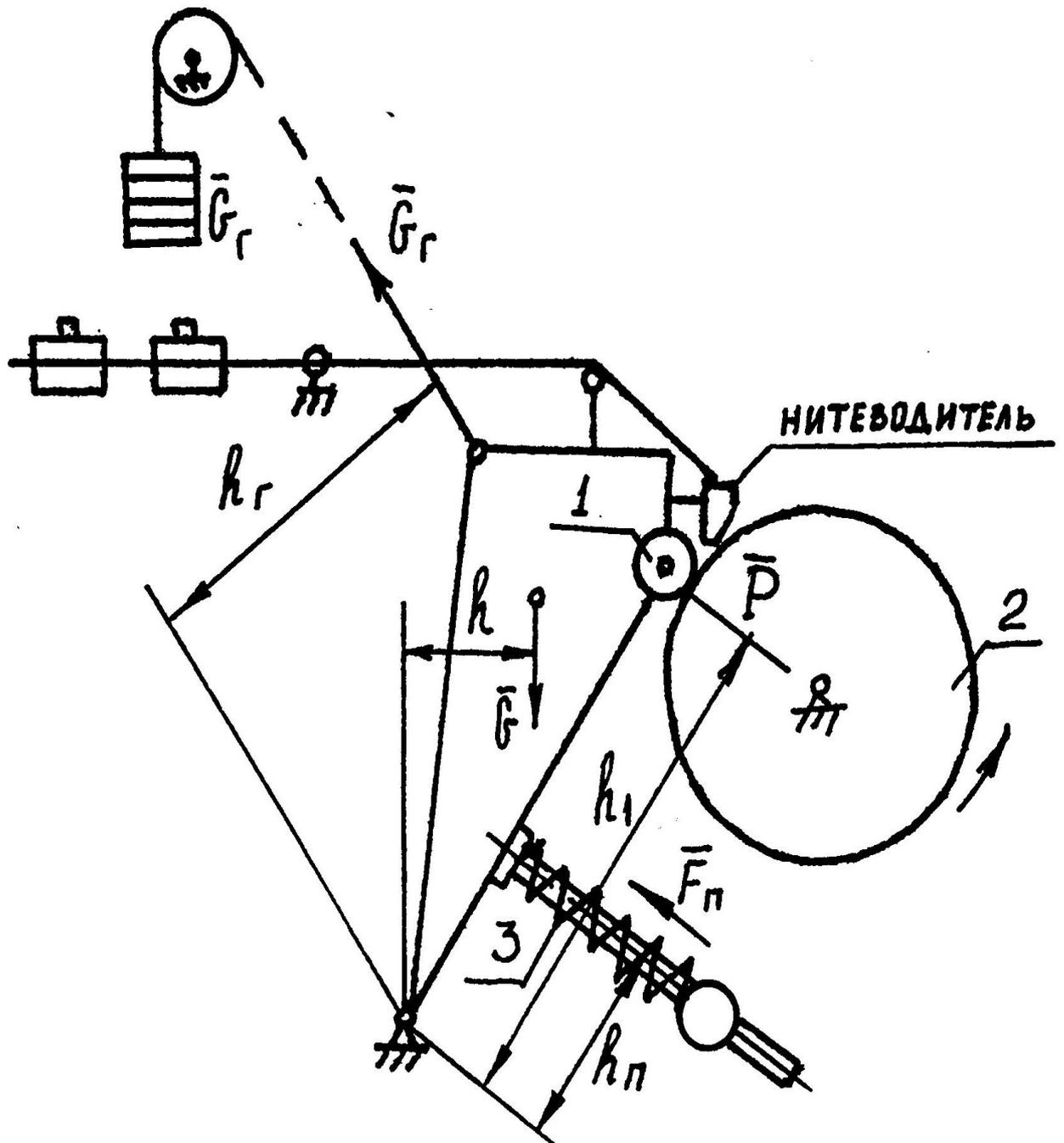


Рисунок 4.1. Схема наматывания паковки.

Величина прессующего усилия изменялась за счет груза G_r . Пружина 3 работает на сжатие, служит для устранения вибрации приклоне и сокращения постоянной величины прессующего усилия N_R с увеличением диаметра намотки паковки.

Удельное давление (интенсивность нагрузки) укатывающего ролика 1 на намотку:

$$q = \frac{N_R}{l}, \quad (4.4.)$$

где: $l = \frac{H}{\cos\alpha}$ - длина образующей паковки рис.4.2.

Удельная плотность намотки паковки (выходной параметр) соответствующая некоторому среднему диаметру $D_{cp} = \frac{D_{cp} + D_{cp}}{2}$, определялась для намотки толщиной примерно 1 см:

$$\gamma = \frac{G_c}{V_c}, \quad (4.5)$$

где G_c – масса слоя намотки, г.

$$V_c = \frac{\pi H}{12} [(D_2^2 + D_1 D_2 + D_1^2) - (d_2^2 + d_1 d_2 + d_1^2)] - \text{объем слоя намотки.} \quad (4.6)$$

В случае цилиндрической намотки:

$$D_{cp1} = D_{cp2} \text{ и } \bar{D}_{cp} = \frac{D_1 + d_1}{2} = \frac{D_2 + d_2}{2}, \quad (4.7)$$

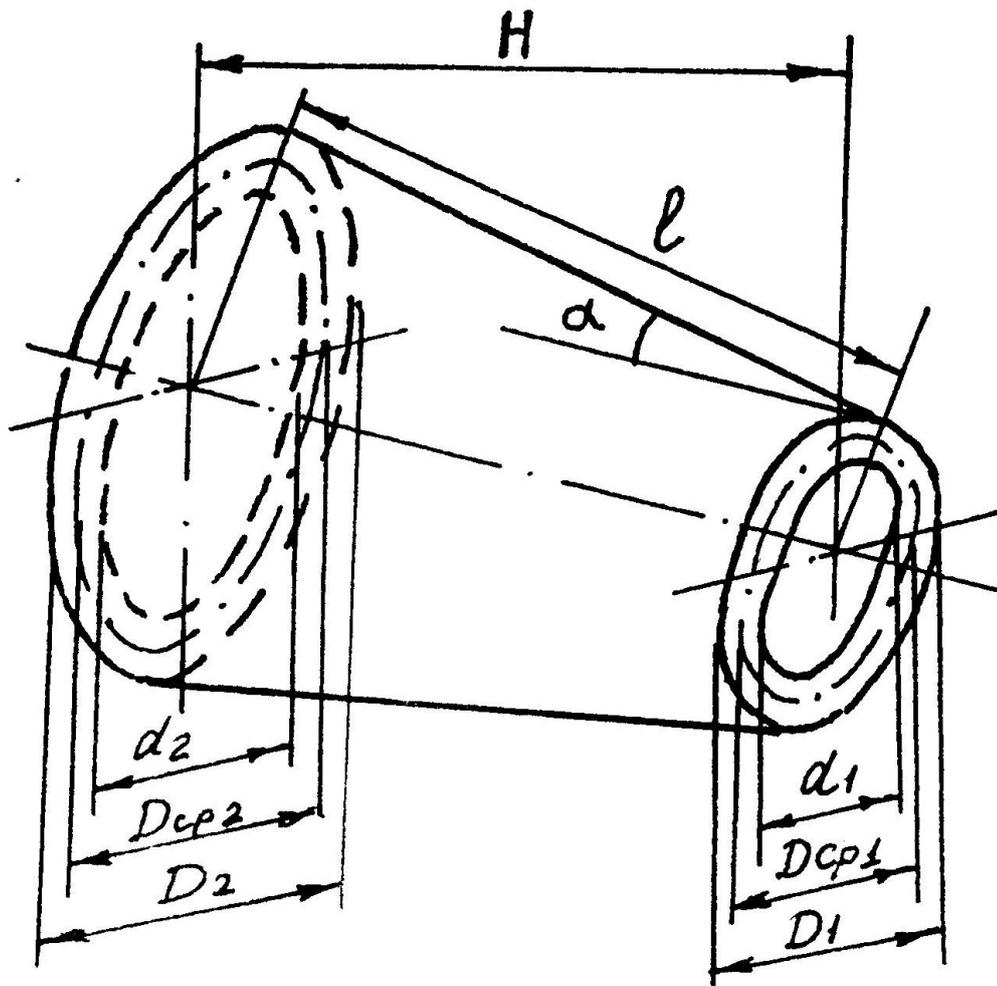


Рисунок 4.2. Схема расположения объемного слоя на бобине.

Уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании плотности цилиндрических паковок сомкнутой намотки приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Условия проведения эксперимента	Натуральные значения i -го фактора			Кодированные значения i -го фактора		
	$X_1,$ (D)	$X_2,$ (K)	$X_3,$ (N)	χ_1	χ_2	χ_3
Основной уровень фактора X_{oi}	13	60	355	0	0	0
Интервал варьирования фактора I_i	5,5	50	195	1	1	1
Верхний уровень фактора X_{Vi}	18,5	110	550	+1	+1	+1
Нижний уровень фактора x_{Hi}	7,5	10	160	-1	-1	-1

Матрица планирования и результаты проведения ПФЭ 2^3 для цилиндрических паковок приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

№	факторы				v - номер серии РПО			У _{ив}			У _и	S _u ² {y}
	χ ₀	χ ₁	χ ₂	χ ₃	1	2	3	У _{и1}	У _{и2}	У _{и3}		
1	+	-	-	-	13	24	12	0,457	0,472	0,478	0,469	0,000117
2	+	+	-	-	4	19	14	0,565	0,581	0,57	0,572	0,000067
3	+	-	+	-	3	9	22	0,589	0,569	0,567	0,575	0,000292
4	+	+	+	-	23	5	1	0,625	0,603	0,623	0,617	0,000148
5	+	-	-	+	15	7	20	0,521	0,553	0,579	0,541	0,000304
6	+	+	-	+	18	21	17	0,617	0,594	0,604	0,605	0,000133
7	+	-	+	+	8	10	6	0,587	0,612	0,595	0,598	0,000163
8	+	+	+	+	16	2	11	0,639	0,622	0,632	0,631	0,000730

Уравнение регрессии в кодированных переменных изыскивается в виде [68]:

$$y_{R_i} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3,$$

$$\sum_{u=1}^N S_w^2\{y\} = 0,00017 + 0,000067 + 0,000292 + 0,000148 + 0,000304 + 0,000133 + 0,000163 + 0,000073 = 0,001297$$

Используя критерий Кочрена, проверяем однородность дисперсий и свойства воспроизводимости эксперимента.

Расчетное значение критерия Кочрена:

$$G_R = \frac{S_{u_{\max}}^2\{y\}}{\sum_{u=1}^n S_u^2\{y\}} = \frac{0,000304}{0,001297} = 0,234387, \quad (4.8)$$

Табличное значение критерия Кочрена [68]:

$$G_T[P_d = 0,95; f\{S_w^2\} = m - 1 = 3 - 1 = 2, N = 8] = 0,516.$$

Так как $G_R = 0,234387 < \sigma_T = 0,516$, то дисперсии $S_u^2\{y\}$ однородны и проведенный ПФЭ 2^3 обладает свойством воспроизводимости.

Проводим оценку коэффициентов регрессии:

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u, \quad (4.9)$$

$$b_0 = \frac{1}{8} (0,469 + 0,572 + 0,575 + 0,617 + 0,541 + 0,605 + 0,598 + 0,631) = 0,576,$$

$$b_1 = \frac{1}{8} (-0,469 + 0,572 - 0,575 + 0,617 - 0,541 + 0,605 - 0,598 + 0,631) = 0,03025,$$

$$b_2 = \frac{1}{8} (-0,469 - 0,572 + 0,575 + 0,617 - 0,541 - 0,605 + 0,598 + 0,631) = 0,02925,$$

$$b_3 = \frac{1}{8} (-0,469 - 0,572 - 0,575 - 0,617 + 0,541 + 0,605 + 0,598 + 0,631) = 0,01775,$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u, \quad (4.10)$$

$$b_{12} = \frac{1}{8} (0,469 - 0,572 - 0,575 + 0,617 + 0,541 - 0,605 - 0,598 + 0,63) = -0,0115,$$

$$b_{13} = \frac{1}{8} (0,469 - 0,572 + 0,575 - 0,617 - 0,541 + 0,605 - 0,598 + 0,631) = -0,006,$$

$$b_{23} = \frac{1}{8} (0,469 + 0,572 - 0,575 - 0,617 - 0,541 - 0,605 + 0,598 + 0,631) = -0,0085,$$

$$b_{ijl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{lu} \bar{y}_u, \quad (4.11)$$

$$b_{123} = \frac{1}{8}(-0,469 + 0,572 + 0,575 - 0,617 + 0,541 - 0,605 - 0,598 + 0,631) = 0,00375.$$

$$y_R = 0,576 + 0,03025x_1 + 0,02925x_2 + 0,01775x_3 - 0,0115x_1x_2 - 0,006x_1x_3 - 0,0025x_2x_3 + 0,00375x_1x_2x_3$$

Используя критерий Стьюдента, проверяем значимость коэффициентов регрессии полученной модели:

$$t_R \{b_i\} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}. \quad (4.12)$$

Для ортогональных матриц дисперсии коэффициентов регрессии одинаковы:

$$S^2 \{b_i\} = S^2 \{b_{ij}\} = S^2 \{b_{ijl}\}, \quad (4.13)$$

и определяются по формуле:

$$S^2 \{b_i\} = \frac{1}{N} S^2 \{\bar{y}\}, \quad (4.14)$$

где:

$$S^2 \{\bar{y}\} = \frac{1}{M} S^2 \{y\}. \quad (4.15)$$

$$S^2 \{y\} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_w^2 \{y\}. \quad (4.16)$$

$$S^2 \{y\} = \frac{1}{8} \cdot 0,001297 = 0,000162.$$

$$S^2 \{\bar{y}\} = \frac{1}{3} \cdot 0,000162 = 0,000054.$$

$$S^2 \{b_i\} = \frac{0,000054}{8} = 0,000006.$$

$$S \{b_i\} = 0,00261 .$$

$$t_R \{b_1\} = \frac{0,03025}{0,00261} = 11,6 .$$

$$t_R \{b_2\} = \frac{0,02925}{0,00261} = 11,25 .$$

$$t_R \{b_3\} = \frac{0,01775}{0,00261} = 6,83 .$$

$$t_R \{b_{12}\} = \frac{0,0115}{0,00261} = 4,42 .$$

$$t_R \{b_{13}\} = \frac{0,06}{0,00261} = 3,21 .$$

$$t_R \{b_{123}\} = \frac{0,00375}{0,00261} = 1,442 < t_T = 2,212 .$$

Табличное значение критерия Стьюдента [68]:

$$t_T [P_{\Delta} = 0,95, f \{S_u^2\} = N(m-1) = 8(3-1) = 16] = 2,12 ,$$

тогда:

$$y_R = 0,576 + 0,03025 x_1 + 0,02925 x_2 + 0,01775 x_3 - 0,0115 x_1 x_2 - 0,006 x_1 x_3 - 0,0085 x_1 x_2 .$$

Проводим проверку адекватности полученной модели, используя критерий Фишера.

$$\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_{Ru})^2 = 0,000016 + 0,000016 + 0,0000019 + 0,000016 + 0,000009 + 0,000016 + \\ + 0,000004 + 0,000016 = 0,000102$$

$$S_{Ag}^2 \{y\} = \frac{m \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_{Ru})^2}{N - N_k} = \frac{3 \cdot 0,000102}{8 - 7} = 0,000306 .$$

Расчетное значение критерия Фишера [68]:

$$F_R = \frac{S_{Ag}^2 \{y\}}{S^2 \{y\}} = \frac{0,000306}{0,000162} = 1,89 .$$

Табличное значение критерия Фишера [68]:

$$F_T [P_D = 0,95; f_1 \{S_y^2\} = 8(3-1) = 16; f_2 \{S_{Ag}^2\} = N - N_k = 8 - 7 = 1] = 4,49 .$$

Поскольку $F_R < F_T$, то гипотеза об адекватности полученной модели не отвергается.

Таблица 4.3

№	Факторы				Взаимодействия			\bar{y}_u	$Y_{Rи}$	$(\bar{y}_u - y_{Ru})^2$
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3			
1	+	-	-	-	+	+	+	0,469	0,473	0,000016
2	+	+	-	-	-	-	+	0,572	0,568	0,000016
3	+	-	+	-	-	+	-	0,575	0,572	0,000009
4	+	+	+	-	+	-	-	0,617	0,621	0,000016
5	+	-	-	+	+	-	-	0,541	0,538	0,000009
6	+	+	-	+	-	+	-	0,605	0,609	0,000016
7	+	-	+	+	-	-	+	0,598	0,596	0,000004
8	+	+	+	+	+	+	+	0,631	0,627	0,000016

На рис. 4.3 изображены линии равного уровня удельной плотности намотки на цилиндрической паковке, построенные на полученной модели. Как показывают расчеты и графики при возрастании диаметра намотки x_1 , удельного давления укатывающего валика на намотку x_3 и натяжения наматываемой нити x_2 удельная плотность намотки увеличивается.

Уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании плотности конических паковок сомкнутой намотки приведены в табл. 4.4.

При исследовании удельной плотности конических паковок сомкнутой структуры в качестве матрицы планирования эксперимента была реализована матрица B_3 бокса, так как модель, описанная полиномом второго порядка, полученная в результате ПФЭ 2^3 , оказалась неадекватной исследуемому процессу.

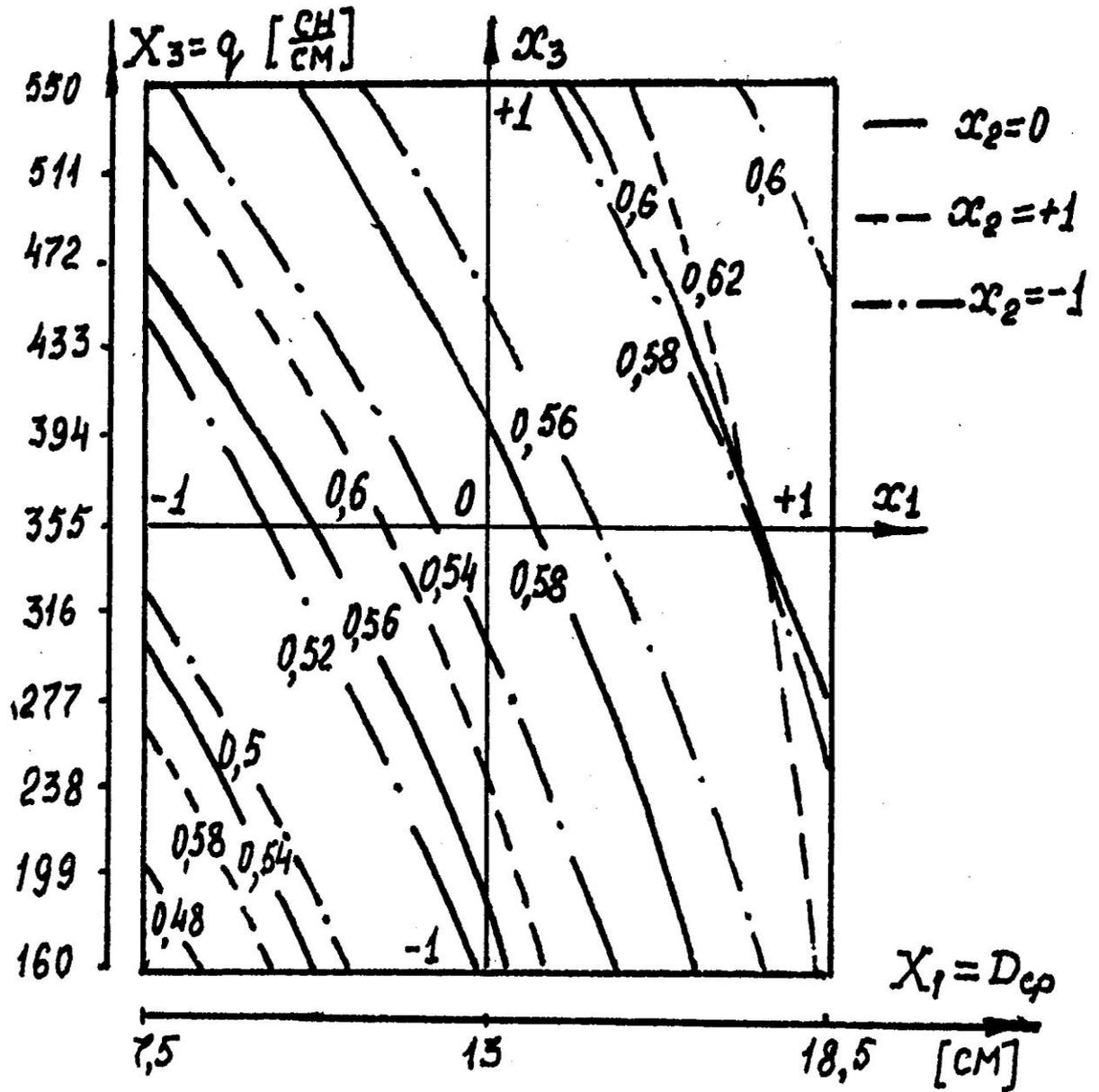


Рисунок 4.3. Линии одинакового уровня удельной плотности намотки на цилиндрической паковке.

Таблица 4.4.

Условия проведения эксперимента	Натуральные значения i-го фактора			Кодированные значения i-го фактора		
	X ₁ , (D)	X ₂ , (K)	X ₃ , (N)	x ₁	x ₂	x ₃
Основной уровень фактора X _{0i}	12	60	355	0	0	0
Интервал варьирования i-го фактора I _i	6	50	195	1	1	1
Верхний уровень фактора X _{Bi}	18	110	550	+1	+1	+1
Нижний уровень фактора X _{Hi}	6	10	160	-1	-1	-1

Уравнение регрессии в кодированных переменных изыскивается в виде [68]:

$$y_R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3.$$

$$\sum_{u=1}^N S_u^2\{y\} = 0,000217 + 0,000211 + 0,000156 + 0,000277 + 0,000124 + 0,000351 + 0,000133 + 0,000244 + 0,000169 + 0,0001699 + 0,000151 + 0,000103 + 0,000139 + 0,000133 = 0,002577$$

Используя критерий Кочрена, проведем однородность дисперсий и свойство воспроизводимости эксперимента.

Расчетное значение критерия Кочрена:

$$G_R = \frac{S_{u_{\max}}^2\{y\}}{\sum_{u=1}^N S_u^2\{y\}} = \frac{0,000351}{0,002577} = 0,136204.$$

Табличное значение критерия Кочрена:

$$G_T [P_D = 0,95; f\{S_u^2\} = m - 1 = 3 - 1 = 2, N = 14] = 0,3346. \quad [68]$$

Так как $G_R = 0,136204 < G_T = 0,3346$, то дисперсии $S_u^2\{y\}$ однородны и проведенный по матрице планирования B_3 эксперимент обладает свойством воспроизводимости.

Таблица 4.5.

и	Факторы				v - номер серии РПО			Y _{ив}			$\bar{y}_u,$ γ	$S_u^2\{y\}$
	x ₀	x ₁ , (D)	x ₂ , (K)	x ₃ , (N)	1	2	3	Y _{и1}	Y _{и2}	Y _{и3}		
1	+	-	-	-	1	17	26	0,371	0,352	0,381	0,368	0,000217
2	+	+	-	-	20	28	4	0,475	0,491	0,504	0,49	0,000211
3	+	-	+	-	5	30	11	0,506	0,482	0,500	0,496	0,000156
4	+	+	+	-	24	16	32	0,544	0,570	0,575	0,563	0,000277
5	+	-	-	+	7	34	18	0,568	0,546	0,560	0,558	0,000124
6	+	+	-	+	29	6	37	0,541	0,550	0,577	0,556	0,000351
7	+	-	+	+	10	35	23	0,56	0,583	0,573	0,572	0,000133
8	+	+	+	+	21	2	19	0,582	0,610	0,608	0,6	0,000244
9	+	-	0	0	36	15	10	0,558	0,580	0,581	0,573	0,000169
10	+	+	0	0	9	42	14	0,523	0,500	0,501	0,508	0,000169
11	+	0	+	0	38	8	27	0,549	0,568	0,545	0,554	0,000151
12	+	0	-	0	25	31	41	0,461	0,481	0,474	0,472	0,000103
13	+	0	0	+	22	13	33	0,591	0,668	0,575	0,578	0,000139
14	+	0	0	-	3	39	12	0,496	0,473	0,486	0,485	0,000133

Производим оценку коэффициентов регрессии в РМФМ:

$$\sum \bar{y} = 0,368 + 0,49 + 0,496 + 0,563 + 0,558 + 0,556 + 0,572 + 0,6 + 0,573 + 0,508 + \\ + 0,554 + 0,472 + 0,578 + 0,485 = 7,373$$

$$\sum_{u=1}^N x_{1u}^2 \bar{y}_u = 0,368 + 0,49 + 0,496 + 0,563 + 0,558 + 0,556 + 0,572 + 0,6 + 0,573 + 0,508 = 5,284$$

$$\sum_{u=1}^N x_{2u}^2 \bar{y}_u = 0,368 + 0,49 + 0,496 + 0,563 + 0,558 + 0,556 + 0,572 + 0,6 + 0,554 + 0,472 = 5,229$$

$$\sum_{u=1}^N x_{3u}^2 \bar{y}_u = 0,368 + 0,49 + 0,496 + 0,563 + 0,558 + 0,556 + 0,572 + 0,6 + 0,578 + 0,485 = 5,266$$

$$\sum_{l=1}^M \sum_{u=1}^N x_{lu}^2 \bar{y}_u = 5,284 + 5,229 + 5,266 = 15,779 ,$$

$$b_0 = g_1 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u - g_2 \sum_{l=1}^M \sum_{u=1}^N x_{lu}^2 \bar{y}_u .$$

По таблицам [4] находим:

$$g_1=0,40625; g_2=0,15625,$$

$$b_0 = 0,40625 \cdot 7,373 - 0,15625 \cdot 15,779 = 0,529812 ,$$

$$b_i = g_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u ,$$

$$\sum_{u=1}^N x_{1u} \bar{y}_u = -0,368 + 0,49 - 0,496 + 0,563 - 0,558 + 0,556 - 0,572 + 0,6 + 0,573 - 0,508 = 0,28$$

$$g_3=0,1; b_1=0,1 \cdot 0,28=0,028.$$

$$\sum_{u=1}^N x_{2u} \bar{y}_u = -0,368 - 0,49 + 0,496 + 0,563 - 0,558 - 0,556 + 0,572 + 0,6 + 0,554 - 0,472 = 0,341$$

$$b_2 = 0,1 \cdot 0,341 = 0,0341,$$

$$\sum_{u=1}^N x_{3u} \bar{y}_u = -0,368 - 0,49 - 0,496 - 0,563 + 0,558 + 0,556 + 0,572 + 0,6 + 0,578 - 0,485 = 0,462$$

$$b_3 = 0,1 \cdot 0,462 = 0,0462,$$

$$b_{ij} = g_4 \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u,$$

$$\sum_{u=1}^N x_{1u} x_{2u} \bar{y}_u = 0,368 - 0,49 - 0,496 + 0,563 + 0,558 - 0,556 - 0,572 + 0,6 = -0,025$$

$$g_4 = 0,125; b_{12} = 0,125 \cdot (-0,025) = -0,003125.$$

$$\sum_{u=1}^N x_{1u} x_{3u} \bar{y}_u = 0,368 - 0,49 + 0,496 - 0,563 - 0,558 + 0,556 - 0,572 + 0,6 = -0,163.$$

$$b_{13} = 0,125 \cdot (-0,163) = -0,020375.$$

$$\sum_{u=1}^N x_{2u} x_{3u} \bar{y}_u = 0,368 + 0,49 - 0,496 - 0,563 - 0,558 - 0,556 + 0,572 + 0,6 = -0,143$$

$$b_{23} = 0,125 \cdot (-0,143) = -0,017875.$$

$$b_{ii} = g_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u + g_6 \sum_{l=1}^M \sum_{u=1}^N x_{lu}^2 \bar{y}_u - g_2 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u,$$

$$g_5 = 0,5; g_6 = 0,09375; g_2 = 0,15625.$$

$$b_{11} = 0,5 \cdot 5,284 - 0,09375 \cdot 15,779 - 0,15625 \cdot 7,373 = 0,010688 ,$$

$$b_{22} = 0,5 \cdot 5,229 - 0,09375 \cdot 15,779 - 0,15625 \cdot 7,373 = -0,016812 ,$$

$$b_{33} = 0,5 \cdot 5,266 - 0,09375 \cdot 15,779 - 0,15625 \cdot 7,373 = 0,001688 .$$

$$y_R = 0,529812 + 0,028x_1 + 0,0341x_2 + 0,0462x_3 - 0,003125x_1x_2 - 0,020375x_1x_3 - \\ - 0,017875x_2x_3 + 0,010681x_1^2 - 0,016812x_2^2 + 0,001688x_3^2$$

Используя критерий Стьюдента, проверяем значимость коэффициентов регрессии полученной модели.

Расчетное значение критерия Стьюдента:

$$t_R \{b_0\} = \frac{|b_0|}{S\{b_0\}},$$

$$S^2\{b_0\} = g_1 S^2\{\bar{y}\}.$$

$$S^2\{\bar{y}\} = \frac{1}{mN} \sum_{u=1}^{N-N_u+1} S_u^2\{y\},$$

$$S^2\{\bar{y}\} = \frac{1}{3 \cdot 14} \cdot 0,002577 = 0,0000614.$$

$$S^2\{b_0\} = 0,40625 \cdot 0,0000614 = 0,0000249437 .$$

$$S\{b_0\} = 0,00499 .$$

$$t_R \{b_0\} = \frac{0,529812}{0,00499} = 106,2 .$$

$$t_T [P_d = 0,95; f\{S_u^2\} = N(m-1) = 14(3-1) = 28] = 2,048$$

Так как $t_R > t_T$, то коэффициент b_0 значим, и не может быть исключен из математической модели.

$$S^2\{b_i\} = g_3 S^2\{\bar{y}\},$$

$$S^2\{b_i\} = 0,1 \cdot 0,0000614 = 0,0000614 ,$$

$$S\{b_i\} = 0,00248 ,$$

$$t_R\{b_1\} = \frac{0,028}{0,00248} = 11,3 > t_T = 2,048 ,$$

$$t_R\{b_2\} = \frac{0,0341}{0,00248} = 13,75 > t_T = 2,048 ,$$

$$t_R\{b_3\} = \frac{0,0462}{0,00248} = 18,63 > t_T = 2,048 ,$$

$$S^2\{b_{ii}\} = g_7 S^2\{\bar{y}\} = 0,40625 \cdot 0,0000614 = 0,000024.$$

$$S\{b_{ii}\} = 0,00499 .$$

$$t_R\{b_{11}\} = \frac{0,010688}{0,00499} = 2,14 > t_T = 2,048 ,$$

$$t_R\{b_{22}\} = \frac{0,016812}{0,00499} = 3,37 > t_T = 2,048 ,$$

$$t_R\{b_{33}\} = \frac{0,001688}{0,00499} = 0,338 < t_T = 2,048 .$$

Коэффициент b_{33} незначим и может быть исключен из модели.

$$COV\{b_0 b_{ii}\} = g_2 S\{\bar{y}\} = 0,15625 \cdot 0,00784 = 0,001225 ,$$

$$COV\{b_{ii} b_{ij}\} = g_6 S\{\bar{y}\} = -0,09375 \cdot 0,00784 = -0,000735 .$$

$$y_R = 0,529812 + 0,028x_1 + 0,0341x_2 + 0,0462x_3 - 0,00312x_1x_2 - 0,020375x_1x_3 - \\ - 0,017875x_2x_3 + 0,010688x_1^2 - 0,016812x_2^2$$

Дисперсия выходного параметра, обусловленная членами 2-го порядка:

$$S_2^2 = \frac{2}{m(m+1)} \left[b_0 \sum_{u=1}^n \bar{y}_u + \sum_{ij=1}^M (b_{ij} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u) - \frac{1}{N} (\sum_{u=1}^N \bar{y}_u)^2 \right] ,$$

$$\sum_{i,j=1}^M b_{ij} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u = -0,003125 \cdot (-0,025) - 0,020375 \cdot (-0,163) - 0,017875 \cdot (-0,143) = 0,005955 .$$

$$b_0 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u = 0,529812 \cdot 7,373 = 3,906303 .$$

$$\frac{1}{N} (\sum_{u=1}^N \bar{y}_u)^2 = \frac{7,373^2}{14} = 3,88$$

Расчетное значение критерия Фишера для членов второго порядка:

$$F_R = \frac{S_2^2}{S^2\{\bar{y}\}} = \frac{0,014308}{0,0000614} = 233 .$$

Табличное значение критерия Фишера для членов второго порядка:

$$F_T \left[P_D = 0,95; f \{ S_2^2 \} = \frac{M}{2} (M + 1) = \frac{2}{3} \cdot 4 = 6; f S^2 \{ \bar{y} \} = N \cdot (m - 1) = 14 \cdot (3 - 1) = 28 \right] = 2,45$$

Поскольку $F_R > F_T$, то модель второго порядка может быть принята для описания результатов эксперимента.

Дисперсия выходного параметра, обусловленная линейными членами модели:

$$S_1^2 = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M (b_l \sum_{u=1}^N x_{lu} \bar{y}_u) .$$

$$\sum_{l=1}^M b_l \sum_{u=1}^N x_{lu} \bar{y}_u = 0,028 \cdot 0,28 + 0,0341 + 0,0462 \cdot 0,462 = 0,040812 .$$

$$S_1^2 = \frac{1}{3} \cdot 0,040812 = 0,013604 .$$

Расчетное значение критерия Фишера для членов первого порядка:

$$F_R = \frac{S_1^2}{S^2 \{ \bar{y} \}} = \frac{0,013604}{0,0000614} = 221,6 .$$

Табличное значение критерия Фишера для членов первого порядка:

$$F_T \left[P_D = 0,95; f \{ S_1^2 \} = M = 3; f S^2 \{ \bar{y} \} = 28 \right] = 2,95 .$$

Дисперсия, связанная с членами первого порядка также значима.

$$\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_{Ru}) = 0,000882 .$$

Дисперсия неадекватности:

$$S_{\text{над}}^2 \{y\} = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_{Ru})^2}{N - N_{\text{кзн}} + 1} = \frac{0,000882}{14 - 9 + 1} = 0,000147.$$

Используя критерий Фишера, проверяем гипотезу о неадекватности полученной модели, исследуемому процессу.

Таблица 4.6.

И	X ₁	X ₂	X ₃	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₃ ²	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	\bar{y}_u	y _{Ru}	$(\bar{y}_u - y_{Ru})^2$
1	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0,368	0,374	0,000036
2	+	-	-	+	+	+	-	-	+	0,49	0,48	0,0001
3	-	+	-	+	+	+	-	+	-	0,496	0,485	0,000121
4	+	+	-	+	+	+	+	-	-	0,563	0,574	0,000121
5	-	-	+	+	+	+	+	-	-	0,558	0,545	0,000169
6	+	-	+	+	+	+	-	+	-	0,556	0,564	0,000064
7	-	+	+	+	+	+	-	-	+	0,572	0,581	0,000084
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,6	0,591	0,000081
9	-	0	0	+	0	0	0	0	0	0,573	0,569	0,000016
10	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0,508	0,512	0,000016
11	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0,554	0,548	0,000036
12	0	-	0	0	+	0	0	0	0	0,472	0,478	0,000036
13	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0,578	0,576	0,000004
14	0	0	-	0	0	+	0	0	0	0,485	0,484	0,000001

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_R = \frac{S_{\text{над}}^2 \{\bar{y}\}}{S^2 \{\bar{y}\}} = \frac{0,000147}{0,0000614} = 2,394.$$

Табличное значение критерия Фишера:

$$F_T [0,95; f_2 \{S_{\text{над}}^2\} = N - N_{\text{гг}} + 1 = 14 - 9 + 1 = 6; f_1 S^2 \{\bar{y}\} = N(m-1) = 14(3-1) = 28] = 2,45$$

Так как $F_R = 2,394 < F_T = 2,45$, то гипотеза об адекватности полученной модели не отвергается.

На рис. 4.4 изображены линии равного уровня удельной плотности намотки на конической бобине, построенные по полученной модели.

Аналогично несомкнутой (застилистая) намотке [68] на величину удельной плотности паковки влияют удельное давление укатывающего ролика и величина натяжения наматываемой нити. Степень этого влияния при формировании паковок сомкнутой структуры значительно снижается, а удельная плотность паковки примерно на 30-50 % больше плотности намотки паковок обычной несомкнутой структуры при прочих равных условиях. Был исследован также характер изменения удельной плотности намотки цилиндрических и конических паковках сомкнутой структуры в их радиальном и осевом направлениях [67].

В работе [67] ранее также было установлено, что удельная плотность сомкнутой намотки на конической паковке может быть определена по формуле:

$$\gamma = \frac{1}{C^2 \sqrt{1 + \frac{4a^2}{D_1^2}}} \left[1 + \frac{al_n B}{\pi k i_0 \sin \alpha (D_1 + a \pi k i_0) \sin \alpha} \right],$$

где c – коэффициент, характеризующий рыхлость наматываемой пряжи;

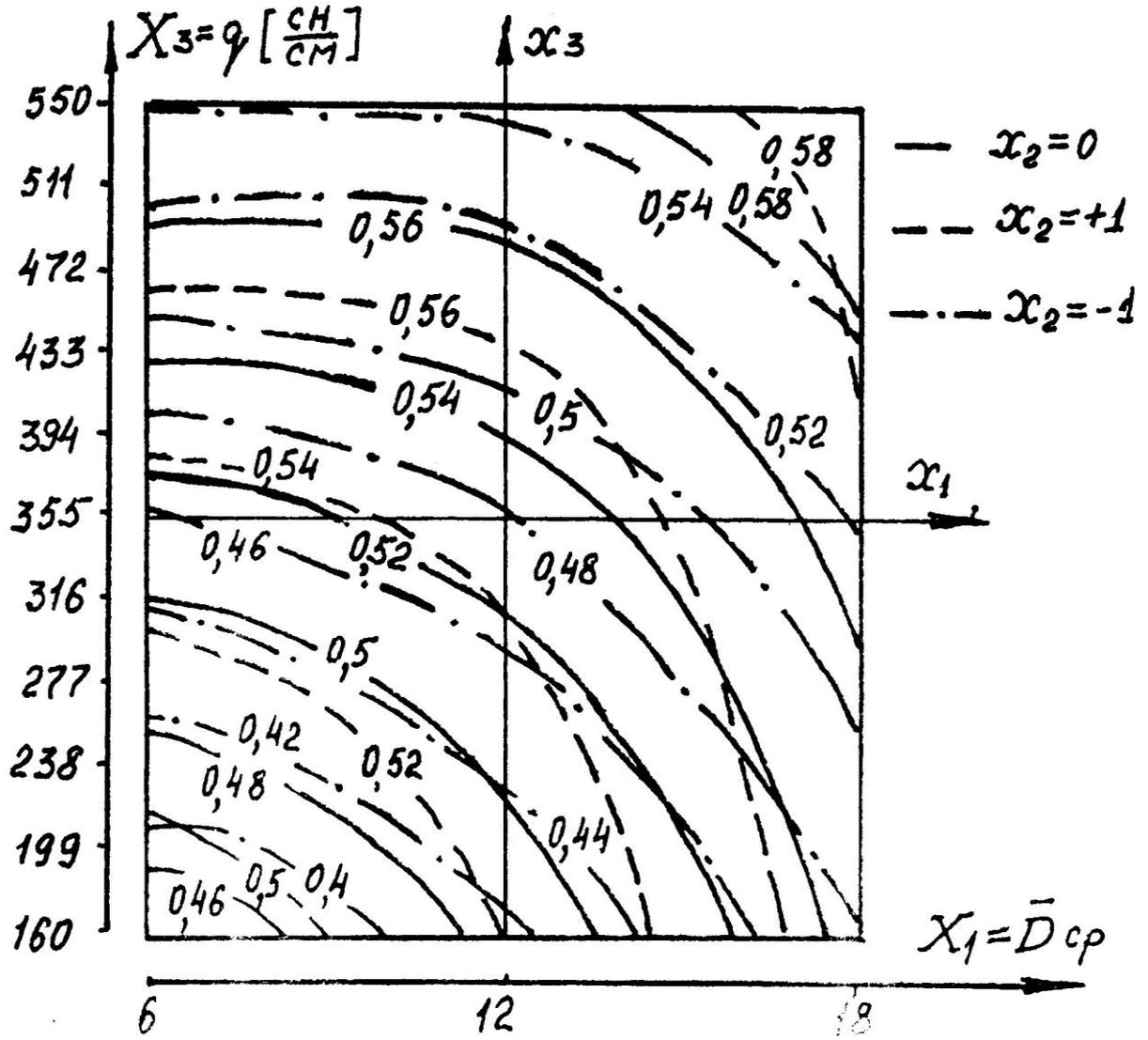


Рисунок 4.4 Линии одинакового уровня удельной плотности на конической бобине.

$a = \frac{h_k}{2\pi i_0}$ - перемещение нитеводителя в направлении образующей

паковки при повороте последней на один радиан, см;

h_k – шаг кулачка нитеводителя;

i_0 – общее передаточное отношение от веретена к кулачку нитеводителя;

D_1 – диаметр намотки малого торца паковки, см;

α – угол конусности паковки;

$$B = \frac{(D_1 + 2a\pi k_{i_0} \sin \alpha) + \sqrt{(D_1 + 2a\pi k_{i_0} \sin \alpha)^2 + 4a^2}}{D_1 + \sqrt{D_1^2 + 4a^2}}.$$

С целью проверки теоретических выводов на специальном стенде получены конические паковки трехсомкнутой намотки из стеклонити и х/б пряжи линейной плотности 84 текс, которые наматывались слоями, отделяемыми друг от друга полосками тонкой бумаги (рис. 4.5).

После наматывания и съема паковки каждый слой намотки разрезался на отдельные кольца (рис. 4.6). Для каждого кольца и слоя в целом определялись объем, масса и удельная плотность намотки.

Удельная плотность слоя намотки, соответствующая некоторому

среднему диаметру намотки $D_{cp} = \frac{D_{cp1} + D_{cp2}}{2} = \frac{D_1 + d_1 + D_2 + d_2}{4}$,

рассматривалась по формуле:

$$\gamma_c = \frac{G_c}{V_c},$$

где G_c – масса слоя намотки, г;

$$V_c = \frac{\pi H}{12} [(D_2^2 + D_1 D_2 + D_1^2) - (d_2^2 + d_1 d_2 + d_1^2)],$$

Экспериментальные и расчетные данные приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7.

№ П/П	D ₁ , см	D ₂ , см	d ₁ , см	d ₂ , см	D _{ср} , см	H, см	G _с , г	V _с , см ³	γ, г/см ³
1	18,6	21,6	16,76	19,76	19,2	15	523,14	831,1	0,629
2	16,76	19,76	14,63	17,63	17,2	15	540,8	862,5	0,627
3	14,63	17,63	13,11	16,11	15,4	15	340,77	550,2	0,619
4	13,11	16,11	10,22	13,22	13,2	15	554,1	896	0,619
5	10,22	13,22	8,14	11,14	10,7	15	320,83	523,15	0,613
6	8,14	11,14	6,543	9,543	8,8	15	203,3	333,14	0,61
7	6,543	9,543	5,38	8,38	7,5	15	124,65	204,4	0,61
8	5,382	8,382	6,4	6,4	5,9	15	162,97	275	0,593

На рис. 4.7 теоретическая 1 и экспериментальная 2 кривые, построенные по формуле (4.3) и по табл. 4.1, характеризуют изменение удельной плотности намотки γ в радиальном направлении конической паковки. При построении кривой принято: $c=1,25$; $i_0=0,54188$;

$$\varphi_c = \pi k_{i_0} = 8\pi \cdot 0,54188 = 4,335 \text{ рад}; \quad \alpha = 5,75^\circ;$$

$$a = \frac{h_k}{2\pi i_0} = \frac{15}{4 \cdot 2\pi \cdot 0,54188} = 1,102 \text{ , см};$$

$$D_1 = D_{cpl} = \frac{D_1 + d_1}{2}.$$

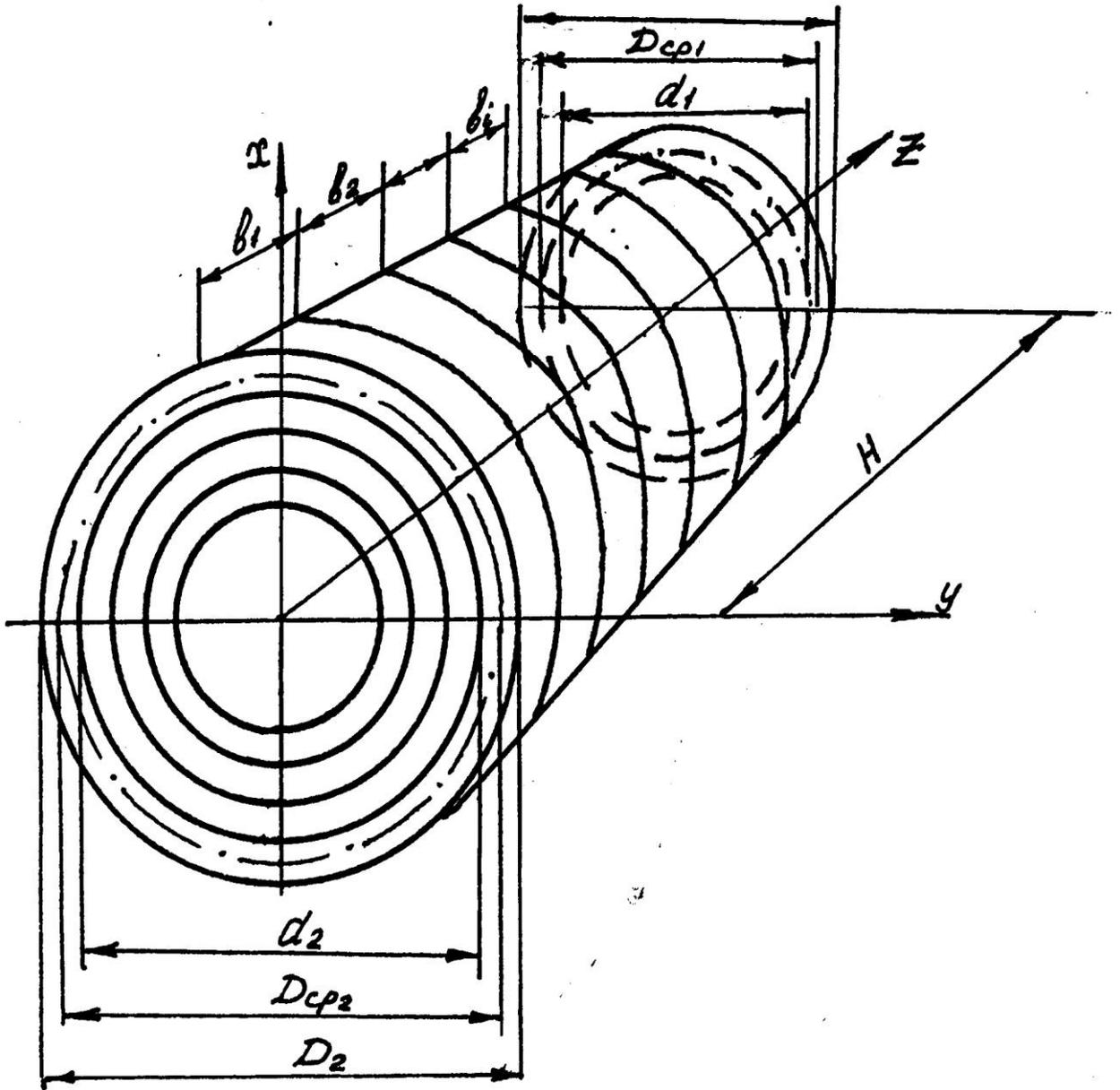


Рисунок 4.5 Схема разбивки паковки на слои и элементарные кольца.

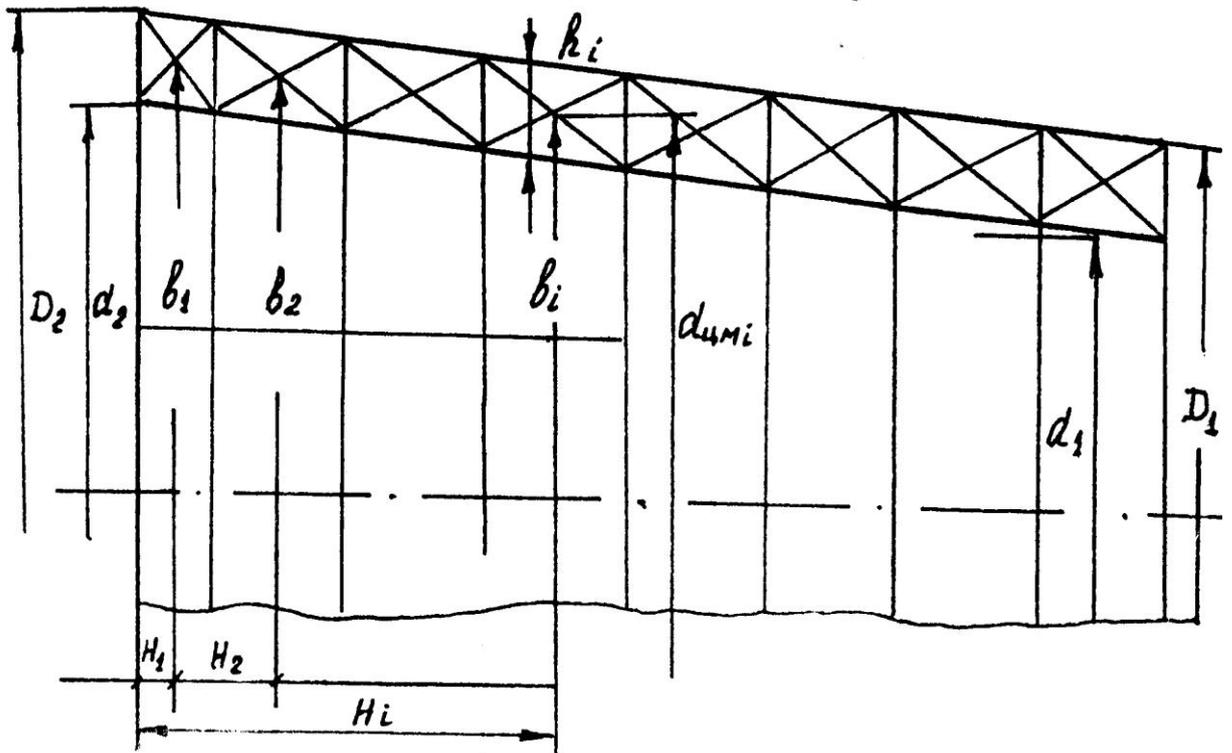


Рисунок 4.6 Осевой срез конической паковки.

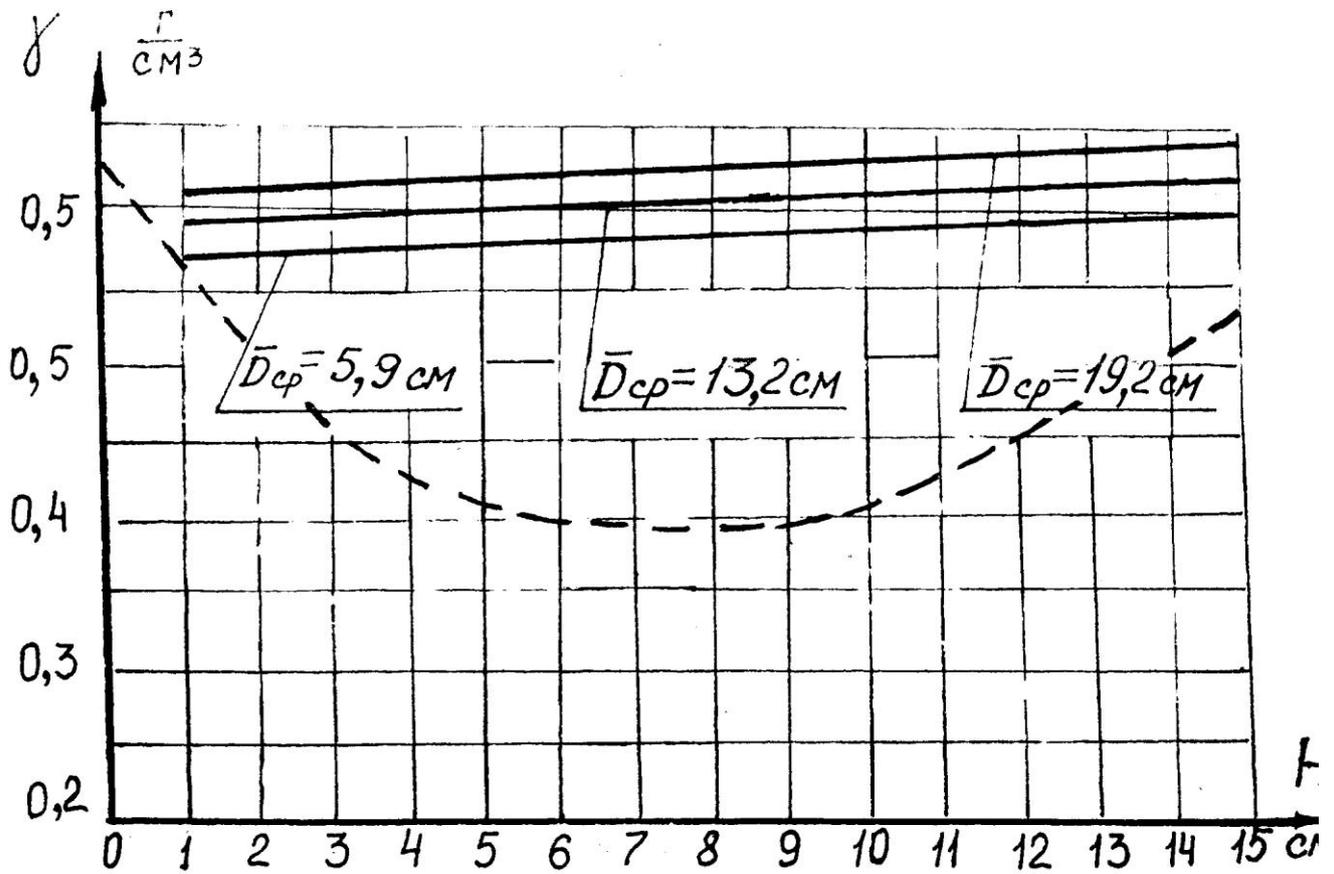


Рисунок 4.7 Характер изменения плотности конических паковок по высоте их намотки.

Поскольку в эксперименте использовалась довольно рыхлая мультифиламентная нить, для которой $c > 1,25$, то кривая 2 расположена несколько ниже кривой 1, чему способствовало, по-видимому, также недостаточно плотное (с некоторыми зазорами, трудно различимыми невооруженным глазом) расположение витков на большом торце паковки, удельная плотность намотки для каждого кольца в слое:

$$\gamma_{ki} = \frac{G_{ki}}{V_{ki}},$$

где: G_{ki} – масса пряжи в i -ом кольце;

$V_{ki} = \pi d_{цм} b_i h_i$ - объем i -го кольца;

$d_{цмi}$ – диаметр окружности, описываемой центром масс сечения i -го кольца намотки нитей, при вращении этого сечения вокруг оси паковки, см;

b_i – ширина i -го кольца, см;

h_i – средняя толщина i -го кольца, см рис. 4.6.

Экспериментальные и расчетные результаты для каждого слоя намотки пряжи приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8.

№ п/п	$D_{ср}$, см	$D_{цмi}$, см	b_i см	h_i , см	V_{ki} , см ³	G_{ki} , г	γ_{ki} , г/см ³
1	13,2	14,6	1	1,445	66,2	39,1	0,59
2	13,2	14,25	2	1,445	130	78	0,6
3	13,2	13,8	2	1,445	126	77	0,61
4	13,2	13,4	2	1,445	122	75,5	0,62
5	13,2	13	2	1,445	118	74,5	0,63
6	13,2	12,6	2	1,445	115	73	0,635
7	13,2	12,2	2	1,445	111	69	0,622
8	13,2	11,8	2	1,445	107,8	68	0,635

На рис. 4.7 показаны экспериментальные зависимости, характеризующие изменение удельной плотности намотки нитей в осевом направлении конической паковки сомкнутой структуры. По мере приближения к малому торцу паковки сомкнутой структуры, сформированной на специальном стенде (рис. 4.1) удельная плотность намотки увеличивается, стремясь к своему предельному значению равному $1/c^2$.

Из всего сказанного выше следует, что на величину плотности намотки паковок сомкнутой структуры оказывают влияние натяжение наматываемой нити, степень прессования намотки укатывающим валиком и средний диаметр намотки паковки. Однако, влияние этих факторов на плотность намотки паковок сомкнутой структуры значительно слабее по сравнению с их влиянием на плотность намотки паковок обычной (застилистой) структуры, сформированных на мотальных машинах с совместным действием механизмов намотки и раскладки нити, то есть на машинах фрикционного типа.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ IV:

1. Экспериментальные исследования влияния на структуру армирующих компонентов композиционных материалов, формируемых из стекло- и углеродных волокон, оказывают различные факторы, а прежде всего удельная плотность волокон в структуре композита.

2. Для армирующих структур, предназначенных для формирования легких изделий (летательных конструкций) целесообразнее использовать намоточные технологии их формирования, которые обеспечивают максимальную удельную плотность нитей на паковку, а, следовательно, и максимальный коэффициент заполнения композита армирующим материалом.

3. На структуру намоточных армирующих компонентов влияют технологические параметры мотального оборудования: натяжение наматываемых нитей, степень их прессования, конусность паковок и т.д.

4. Для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на структуру армирующих компонентов из дорогостоящего сырья, нами был проведен полнофакторный эксперимент второго порядка для цилиндрических и конических паковок.

5. За основные факторы, влияющие на структуру намоток армирующих компонентов композитов, формируемых намоткой, были приняты: диаметр намотки паковки; величина натяжения нити; степень прессования намотки.

6. Полученные в ходе эксперимента уравнения регрессии в кодированных переменных показали, что дисперсии однородны и проведенный полнофакторный эксперимент (ПФЭ 2^3) обладает свойством воспроизводимости.

7. Оценка коэффициентов регрессии показала, что с увеличением степени прессования намотки, величины натяжения и диаметра, удельная плотность – как выходной параметр, тоже возрастает, однако, при сомкнутой структуре намотки нитей на паковку это влияние минимально.

8. При исследовании изменения удельной плотности намотки конических паковок сомкнутой структуры, в качестве матрицы планирования эксперимента была реализована матрица В₃ Бокса, так как модель, описанная полиномом второго порядка, полученная в результате ПФЭ 2³, оказалась неадекватной исследуемому процессу.

9. Как показали проведенные исследования, на удельную плотность намоток армирующих компонентов конической формы угол конуса оказывает незначительное влияние только при сомкнутой структуре нитей, при размыкании нитей возрастает влияние степени прессования намотки и натяжения нитей.

10. Таким образом, проведенные исследования показали, что на качество армирования композиционных материалов из стекло- и углеродных волокон решающее влияние оказывает структура намотки паковок. У сомкнутых структур она наиболее плотная и постоянная в осевом и радиальном направлениях армирования.

ГЛАВА V. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Армирование композиционных материалов может осуществляться различными технологиями. Так формирование фюзеляжей летательных аппаратов (корпусов ракет) до настоящего времени производят путем набора композиционных материалов в виде листовых чехлов и пластин композитов на профильный каркас. Технология изготовления таких листов включает в себя многостадийные операции по изготовлению тканых армирующих компонентов, включая все технологические операции ткачества (перемотку нитей, сновку, ткачество), раскрой, укладку элементов препрега в формы, а также дальнейшую пропитку тканей связующими компонентами (смолами или иными клеевыми составами) в вакуумных устройствах.

В качестве сырья для производства текстильных армирующих компонентов композиционных материалов чаще всего используются комплексные углеродные или арамидные нити, склонные к разомшению при контакте с поверхностью деталей оборудования приготовительного и ткацкого цехов, а также друг с другом, что приводит к снижению их прочностных характеристик как самих нитей, так и тканей, вырабатываемых из них, а также осложняет формование композита.

С целью избежания мшения нитей их приходится обрабатывать в процессе снования замасливателями и доувлажнять на ткацком станке, что в свою очередь приводит к коррозии металла и дополнительным затратам на ремонт и смазку деталей станков. В качестве замасливателя применяется препарат Н-О₂.

В настоящее время производство армирующих компонентов композиционных материалов намоткой нитей требуемой структуры на оправки заданной формы значительно укорачивает технологический процесс и полностью исключает стадии снования и самого ткачества. Кроме того, при

создании композитов на базе тел вращения отпадает необходимость раскроя препрегов, так как создается сразу сам композит в цельной форме.

Однако, для формирования намоточных элементов необходимо специальное мотальное оборудование, которого в России не выпускают, а стоимость его за рубежом значительно выше стоимости ткацких станков и сновальных машин, что, соответственно, обуславливает высокую себестоимость изготовления композиционного материала.

А главное, в процессе подготовки к ткачеству нити основы теряют свою прочность при сновании, и во время тканеформирования на ткацком станке, где число истирающих нити основы циклов равно удвоенному числу движения батана на каждом элементе ткани (при движении батана вперед и назад при прибое уточной нити), то есть равно удвоенному значению плотности пои утку P_y . Как показали проводимые исследования потеря прочности нитей может достигать в ткачестве от 6 до 12 %, общая потеря прочности изделий (препрегов) достигает до 30 %.

Поэтому создание отечественного специального мотального оборудования и использование укороченных технологий для производства текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, позволяет также (используя развертки тел вращения заданной формы) получать препреги требуемой структуры или цельные элементы требуемой формы композитов. Это позволяет сравнивать затраты на производство текстильных армирующих компонентов композитов, создаваемых намоткой и ткачеством.

5.1. Расчет технико-экономических показателей выработки тканей из углеродных волокон

В условиях ОАО «Ковротекс» г. Димитровград была поставлена задача выработать препреги в виде пластин прямоугольной формы размерами 500x300x0,2 из углеродных нитей К6, с максимально возможным коэффициентом заполнения армирующим компонентом композита.

Решить поставленную задачу можно двумя путями:

а) формированием ткани заданных размеров на лентоткацком станке «UES» (Бельгия);

б) намоткой сомкнутой структуры нити на специальную оправку, с последующей пропиткой намотки связующим (экспресс клей на эпоксидной основе) и разрезанием паковки вдоль образующей – формируя развертку требуемых размеров, то есть полотно, формируемое намоткой нити на оправку.

Заправочный расчет ткани полотняного переплетения с заданной шириной заправки (лент $B_3 = 0,3$ м) показал, что:

а) поверхностная плотность ткани составляет:

$$M = \frac{G}{L \cdot B_3},$$

где $B_3 = 0,3$ м; (ширина препрега);

$L = 1$ м – (длина препрега);

$\gamma = 1,75$ г/см³ – объемная плотность К6;

$C_p = 2400$ руб/кг – цена 1 кг углеродной нити К6, линейной плотности

$T = 380$ текс;

$C_{\text{зз}} = 2,31$ руб/квб (с НДС) – цена отходов углеродной нити;

$G = 136,6$ г/м² (масса образца тканого препрега);

тогда:

б) объемная плотность тканого препрега составит:

$$\delta_2 = \frac{G}{B_3 \cdot L \cdot \delta} = \frac{136,6}{158,83} = 0,86 \text{ г/см}^3$$

в) Коэффициент заполнения ткани (объемное заполнение ткани) E_v (%) определяется отношением объема нити V_n в ткани ко всему объему ткани V_t ;

$$E_v = \frac{\delta_n}{\gamma_n},$$

где δ_n – средняя плотность нитей в ткани.

$$E_v = \frac{0,86}{1,75} = 0,49$$

Для определения расходов на сырье при выработке тканых препрегов составим баланс сырья, который сведем в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Приходная часть				Расходная часть			
Сырье	Расход нити, кг	Цена в руб. за кг	Сумма в руб.	Получено из производства	Кол-во в кг	Цена 1 кг, руб.	Сумма, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8
Основа	4,1	2400	9840,00				
Уток	4,1	2400	9840,00				
				Суровья	7,94	2478,54	19679,61
К6				Отход			
Углерод				Основа	0,12	1,5	0,18
				Уток	0,14	1,5	0,21
Баланс	8,2		19680,00		8,2		19680,00

Процент отходов по основе при выработке ткани составляет (по опыту предприятия) 3,09%, по утку 3,48%.

Расход нитей на выработку 100 м армирующей ткани (без учета отходов) при ширине заправки 300 мм составляет:

$$G_o = 41 \cdot 100 = 4,100 \text{ кг}$$

$$G_y = 41 \cdot 100 = 4,100 \text{ кг}$$

Процент выхода ткани из нити:

$$П = \frac{G_{\text{суп}}}{G_o + П_y} = \frac{7,94 \cdot 100}{4,1 + 4,1} = 96,82 \%$$

На основе классификации по элементам затрат составляем смету производства, которые сведем в табл. 5.2.

Элементы сметы производства:

Таблица 5.2.

№ п/п	Элементы сметы	Удельный вес, %	Абсолютная величина, руб.
1	Сырье за вычетом отходов	80,3	16679,61
2	Топливо на технические цели	0,5	122,53
3	Электроэнергия	0,8	196,06
4	Затраты на оплату труда ткачих – чел.	8,3	2034,13
5	Отчисления на социальные нужды	1,5	367,61
6	Амортизационные отчисления	1,9	465,64
7	Прочие затраты	2,4	582
8	Производственная себестоимость	95,7	23453,19
9	Коммерческие расходы	4,3	1053,80
10	Полная себестоимость	100	24507,60

Калькуляция к расчету цены 1 м ткани представим в виде табл. 5.3.

Таблица 5.3.

№ п/п	Показатели	Значения		
1	Полная себестоимость, руб.	245,08		
2	Плановый уровень рентабельности, %			
3	Рентабельность в рублях	12,25	36,75	61,27
4	Оптовая цена за 1 м/руб.	257,33	281,83	306,35
5	НДС, %	18		
6	В рублях (НДС)	46,31	50,72	55,14
7	Отпускная цена (руб.)	303,64	332,55	361,49

Себестоимость ткани отражает денежные затраты предприятия на производство и реализацию продукции.

Оптовая цена – это цена, устанавливаемая на крупную партию ткани, в которую входят себестоимость ткани и прибыль.

Расчет технико-экономических показателей сведен табл. 5.4 и 5.5.

Таблица 5.4.

Наименование продукта	Годовой объем выпуска, м. пог.	Оптовая цена за 1 м. ткани	Сумма реализации, тыс. руб.	Полная себестоимость, тыс. руб.	Прибыль, тыс. руб.	Рентабельность, %
Тканый препрег	100000	281,83	28183	24507	3676,0	14

Технико-экономические показатели производства тканых препрегов.

Таблица 5.5.

№ п/п	Наименование показателей	Ед. измерения	Значение
1	Объем продаж, тыс. пог. м.	Пог. м.	100000
2	Оптовая цена, 1 м.	Руб.	281,83
3	Товарная продукция	Руб.	28183
4	Полная себестоимость	Руб.	24507000
5	Отпускная цена, 1 м.	Руб.	332,55
6	Выпуска от реализации	Руб.	28183000
7	Плановая прибыль	Руб.	3676000
8	Затраты на 1 руб. продукции	Коп	87
9	Рентабельность производства	%	14
10	Рентабельность продаж	%	10,8

5.2. Расчет технико-экономических показателей выпуска препрегов намоткой углеродных нитей на оправку.

Формирование препрегов прямоугольной формы из углеродных нитей К6 требуемых типоразмеров производилось на специально разработанной и созданной мотальной машине, конструкция которой описана в Главе III, и позволяющей формировать намотки различной структуры (сомкнутой, замкнутой) высотой до 2 метров, то есть $H = 2$ м.

В качестве базовой намотки препрега была выбрана сомкнутая структура, с коэффициентом заполнения объема армирующим компонентом приближающимся к максимуму $K_3 = 0,785$.

При этом намотка нити велась на оправку требуемых размеров, с одной паковки, без истирания ее о направляющие органы станка (кроме нитераскладчика). Требуемое (заправочное) натяжение нити задается торможением паковки, на которой намотана нить.

Скорость намотки нити на паковку $v = 350$ м/мин.

Машину обслуживает один оператор.

Отходы по производству составили 0,1 % (на скрепление-концов нити при перезаправке паковки).

Расход нити на выработку 100 м армирующего полотна (без учета угаров) при ширине развертки 300 м (диаметр оправки $d_0 = 95,54$ мм), составляет 11,4 кг при толщине препрега $\delta = 1,05$ см.

Данные расчета баланса сырья приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6.

Приходная часть				Расходная часть			
Сырье	Расход нити, кг.	Цена, руб./кг	Сумма, руб.	Получе но из произв одства	Кол-во, кг.	Цена 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Углеро дная нить К6	11,95	2400	28680	99,9	11,93	2404,02	28679,97
				Отход 0,1	0,02	1,5	0,03
	11,95		28680		11,95		28680

На основе классификации мотального производства по элементам затрат составляем смету производства. Данные сводим в табл. 5.7.

Таблица 5.7.

№ п/п	Элементы сметы	Удельный вес, %	Абсолютная величина, руб.
1	Сырье за вычетом отходов	80	28679,97
2	Топливо на технические цели	0,2	71,69
3	Электроэнергия	0,5	179,24
4	Затраты на оплату труда ткачих – чел.	6	2150,99
5	Отчисления на соц. нужды	1,5	537,74
6	Амортизационные отчисления	1,0	358,49
7	Прочие затраты	2,4	860,39
8	Производственная себестоимость	91,6	32838,50
9	Коммерческие расходы	8,4	3011,39
10	Полная себестоимость	100	35849,90

Калькуляция к расчету цены 1 м. погонного полотна формируемого намоткой представлена в виде табл. 5.8.

Таблица 5.8.

№ п/п	Показатели	Значения		
1	Полная себестоимость, руб.	358,49		
2	Плановый уровень рентабельности, %	5	15	25
3	Рентабельность, руб.	17,92	53,77	89,62
4	Оптовая цена за 1 м, руб.	376,41	412,26	448,11
5	НДС, %	18		
6	В рублях (НДС)	67,75	74,20	80,65
7	Отпускная цена	444,16	486,46	528,76

Расчет техноко-экономических показателей производства полотен намоткой приведен в табл. 5.9.

Таблица 5.9.

Наименование продукта	Годовой объем выпуска, м. пог.	Оптовая цена за 1 м. ткани (средн.)	Сумма реализации, тыс. руб.	Полная себестоимость, тыс. руб.	Прибыль, тыс. руб.	Рентабельность, %
Намоточное полотно	100000	412,26	41226	35849,90	5376,00	14,9

Рентабельность производства определяется как:

$$P_{np} = \frac{\text{Полная _ прибыль(руб)}}{\text{Полная _ себестоимость}} = \frac{5376}{358,49} = 14,99\% .$$

Годовой эффект по сравниваемым вариантам производств:

$$\mathcal{E}_{год} = \Pi_2 - \Pi_1 = 5376000 - 3676000 = 1700000 \text{ руб/год.}$$

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ V:

1. Армированное УКМ по второму варианту – намоткой сомкнутой структуры на оправку заданных размеров более рентабельно, чем формировать их на ткацком станке, что обусловлено:

- снижением трудо- и энергозатрат на выпуск 1 погонного метра препрега;

- сокращением технологических переходов производства (одна перемотка);

- снижением объема отходов дорогостоящего сырья;

- повышением производительности труда рабочих.

2. Формированием армирующих компонентов (препрегов) намоткой позволяет получить материал с максимально высоким коэффициентом заполнения объема композита, то есть обеспечивает более легкую конструкцию композиционного материала, чем на тканой основе.

3. Сокращение технологических переходов производства армирующих компонентов композитов намоткой позволяет исключить истирание нитей и существенно повысить качество (прочностные показатели) выпускаемых полотен препрегов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ:

1. Анализ литературных источников показал, что текстильные материалы все шире используются в качестве армирующих компонентов композиционных материалов, используемых в атомной энергетике.
2. Главным критерием выбора текстильных материалов для армирования композиционных материалов, используемых в критических отраслях, являются их свойства и устойчивость к воздействию радиации и агрессивных сред.
3. Технология армирования оказывает существенное влияние на свойства и качественные показатели конечных продуктов.
4. Высокие качественные показатели показывают композиционные материалы, формируемые с помощью «коротких» технологий, оказывающих минимальное истирающее воздействие на нити армирующего компонента.
5. Максимально «легкие» композиционные материалы, армируемые текстильными нитями, могут быть получены только на базе мотальных паковок сомкнутой структуры, имеющие коэффициент заполнения 0,785.
6. К «коротким» технологиям армирования композиционных материалов следует отнести формирование плоских текстильных полотен «фальшнамоткой».
7. Для совершенствования технологических процессов армирования композиционных материалов их углеродных волокон на базе тканых структур необходимо проводить специальную подготовку пленочных нитей с целью снижения их истирания о направляющие органы ткацких станков.
8. Для повышения равновесности пленочных нитей из углеродных волокон проведены исследования по их кручению и трощению на отечественном оборудовании.
9. Создание многослойных тканых структур из углеродных нитей возможно при использовании специального приготавительного и ткацкого оборудования.

10. Натяжные приборы оказывают решающее влияние не только на величину натяжения перерабатываемых нитей, но и на степень их истирания и снижения физико-механических свойств конечных продуктов.

11. На прочностные характеристики композиционных материалов оказывают влияние структурные показатели армирующих компонентов, а именно удельная плотность намотки, угол скрещивания витков и натяжение нитей (степень прессования намотки вышележащими слоями витков).

12. На себестоимость производства композиционных материалов, армируемых текстильными компонентами, решающее влияние оказывают выбранные технологии армирования и она тем ниже, чем «короче» технология.

13. Для производства композиционных материалов, применяемых в атомной энергетике наиболее применимо армирование их термостойкими углеродными и кремнеземными волокнами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костиков В.И. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы. М., Интермет Инжениринг. 2003.
2. Крок П., Броутман Л. Современные композиционные материалы. Перевод с англ. Волокнистые композиционные материалы. М., 1970.
3. Аврасин Я.Д., В сб. «Стеклотекстолиты и другие конструкционные пластики» Оборонгиз. 1960.
4. Финли В. Проблемы высоких температур в авиационных конструкциях, Издатинлит. 1967.
5. Бовей Ф., Действие ионизирующих излучений на природные и синтетические высокополимеры. Издатинлит. 1959.
6. Рабинович А.Л. Некоторые основные вопросы механики армированных полимеров. Автореферат докторской диссертации. М., 1965.
7. Севастьянов А.Г. и др. Механическая технология текстильных материалов. М. Легпромбытиздат. 1989.
8. Кутепов О.С. Строение и проектирование тканей. М. Легпромбытиздат. 1988.
9. Панин И.Н. Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения, Дисс. Доктора технических наук. М. МГТУ им. А.Н. Косыгина. 1996.
10. Альшин И.М. Полиэфирные стеклопластики для судостроения. Ленинград. Изд. «Судостроение». 1964.
11. Белевцев А.Т. Изготовление обмоток в точном приборостроении. М. ЦИНТИ электропром. 1962.
12. Минаков А.П. Основы механики нити. Гизлегпром. 1941. (Труды Московского текстильного института. Т. IX вып.1)
13. Седов Л. Новое в области полиэфирных смол. Обзор Изд. «Мир». 1968.
14. Kuhn W, Kunststoffe, 55, № 5, 375 (1965).

15. Иванова-Мумжиева В.Г., Аврясин Я.Д., Горбаткина Ю.А., Андреевская Г.Д., Физико-химия и механика ориентированных стеклопластиков. Изд. «Наука» М., 1967, 73 с.
16. Potential of filament wound composites, U.S. Dept. of Commerce. AD 259544 (June 1961).
17. Krupka R.M., Taylor D.E. Ablation Behaviour of Materials Subjected to Missile Re-entry Heat Flux Rates, Corrosion, 76 № 8, 91 (August, 1960).
18. Тернопольский Ю.М., Снудра А.М. Конструкционная прочность и деформативность стеклопластиков. Рига, Изд. «Зинатне». 1966.
19. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластических материалов. М. «Химия». 1964.
20. Бартенев Г.М., Лаврентьева В.В. Трение и износ полимеров. Л. «Химия», Ленинградское отделение. 1972.
21. Роговина З.А., Валецкий П.М., Кербер М.Л. Армированные полимерные материалы. М. «Мир». 1968.
22. Newsweek, February (1982) p. 36.
23. Financial Guardian, Tuesday, April. 19 (1983).
24. Bernal I.D.: Proc. Roy. Soc. London (1924) A. 106. p. 749.
25. Endo M., Koyama T., Inagaki M. Exted. Abstr. 2. B. 09
26. Панин М.И. Разработка композиционных материалов на базе мотальных паковок специального назначения. Дисс. к.т.н. М. МГТУ им А.Н. Косыгина. 2012.
26. Стародубцев С.В., Хизниченко Л.П., Доморяд И.А. Изменение упругих констант кварцевых нитей под действием γ -излучений Co^{60} , ДАН СССР, с. 132, № 4, 803. 1960.
27. Чечеткин Ю.В., Новоселов А.Е., Голованов В.Н., Грачев А.Ф., Чечеткина З.И. Обращение с ядерным топливом АЭС в условиях эксплуатации и хранения. УлГТУ, г. Димитровград 2005.
28. Haveg Steps up Silica Fiber Activity, Chem. A. Eng. News, 13. 30 (1961).

29. Fibrous Potassium Titanate, Tech. Inform. Bull., № 1 (E.I. du Pont de Nemours a. Co. inc.).
30. Вольф Л.А. Некоторые проблемы модификации поливинилспиртовых волокон и придания им специфичных свойств. Докт. Дисс. Л. ЛИТП им. С.М. Кирова, автореф. 1966.
31. Mine Safety Appliances Co. Can. Pat. 559023, Gas filter Pak.
32. Вольф Л.Я., Меос А.И. Волокна специального назначения. Москва, «Химия», 1971.
33. Вольф Л.Я., Меос А.И., Кириленко Ю.К., Котецкий В.В. ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 11 № 6. 1966. 654 с.
34. Симигин П.А., Зусман М.Н., Райхлин Ф.И. Защитные пропитки текстильных материалов. Гизлегпром. 1957.
35. Bjorksten Research Laboratories, U.S. Pat. 2816415, Flame Resistant Material.
36. Prosen S.P. et. al., Development of a Reliable Insulation for Solid Propellant Rocket Motors, SPEI, 17, 1.38 (1961).
37. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. МГТУ им. А.Н. Косыгина. Международная программа образования. Москва 2001.
38. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. М. Наука. 1980.
39. Русаков А.В. Базальтовые волокна и композиционные материалы на их основе. Материалы конф. Узбекистан – ВОИС., семинар НАТО.
40. Конкин А.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М. Наука. 1974.
41. Белицин М.Н. О структуре и механических свойствах полиамидных комплексных нитей. Научные труды ВНИИПВХ, 1966. часть 1. «легкая индустрия» 1969. с. 26-38.
42. Белицин М.Н. Оптимизация механических свойств синтетических филаментных нитей. Химические волокна № 3. 1970. 38-40 с.
43. Летопись по Ипатову списку. 1871. 401 с.

44. Металлизация текстильных нитей и металлическая пряжа. Серия «зарубежная техническая информация» Выпуск 13. Изд. Бюро технической информации легкой промышленности. 1958.
45. Welge W.E. – Chemiefasern. 1970 № 2. S. 113.
46. Хок В. Кн. Новое производство химических волокон. Под ред. З.А. Роговина и С.П. Попкова. М. «Мир», 1968. 148 с.
47. Базаева Е.М., Еремкин Д.И., Литвинов В.Б., Токсанбаев М.С. Разработка прессформы цельнотканого трехмерного каркаса вентиляторной лопасти. – Авиационная промышленность. № 1. 2008. 42 с.
48. Панин М.И., Панин И.Н., Омегова Т.А. Разработка и исследование методов снижения обрывности нитей основы при выработке технических сукон. Тезисы доклада НТ Коференции МГТУ им. А.Н. Косыгина. М. 2007.
49. Гречихина О.Е. Рапирный станок DORNIER – преимущества и недостатки, при формировании тканей из арамидных нитей. Сб. научных трудов. Иваново, ИГТН, 2006. 38 с.
50. Шалун Г.Б. Производство изделий из слоистых пластиков. Библиотека рабочего. М. Химия 1975.
51. Андреев А.А. Возможность практического применения нетканых полотен Viledon для изготовления композиционных материалов // Нетканые материалы, продукция, оборудование технологии. Март 2008. С.П.
52. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение. Ч.3. М. Легкая индустрия. 1967. 20 с.
53. Николаев С.Д. и др. Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве. // МГТУ им. А.Н. Косыгина. 2003.
54. Гордеев В.А. Ткацкие переплетения и анализ тканей. // Легкая индустрия. 1969.
55. Панин И.Н. Совершенствование процесса формирования структуры и процесса сматывания мотальных паковок сомкнутой структуры намотки: Дисс. канд. техн. наук – Ленинград ЛИТАП им С.М. Кирова. 1983.

56. Сергеев В.Я., Хохряков А.А., Лебедев Е.А. Технология производства технических сукон. – М. Легкая индустрия. 1977. 198 с.
57. Филиппова Т.Ф. Разработка структуры и технологии выработки высокообъемных технических тканей. Дисс. канд. техн. наук 05.19.03. / Филиппова Татьяна Федоровна. Л. 1982. 188 с.
58. Кашеев О.В., Николаева Н.А., Панин М.И., Князькин С.В., Кротов С.Ю. «Расчет нагрузок композиционных материалов, формируемых намоткой» Химические волокна. 2014. № 2.
59. Гордеев В.А., Зайцев В.П., Панин И.Н. О замкнутых и сомкнутых крестовых намотках // Изв.Вузов, технология текстильной промышленности. № 2, 1983, с.40.
60. Добровольский В.А. и др. Детали машин, учебник для ВУЗов. М. Изд. Машиностроение, 1972, с.502.
61. Панин А.И. Исследование процесса сматывания нити с мотальных паковок. Диссертация к.т.н. М. МГТУ им. А.Н. Косыгина 2004.
62. Панин И.Н. «Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения». Дисс. док. техн. Наук – М.МТИ им А.Н.Косыгина 1996.
63. Панин И.Н. «О бобинах спиралевидной структуры намотки». Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. 1993. № 4.
64. Циплаков О.Г. «Основы формирования стеклопластиковых оболочек». Машиностроение 1968.
65. Минаков А.П. Основы теории наматывания и сматывания нитей. Текстильная промышленность. 1944 № 10-12.
66. Панин И.Н. Совершенствование процесса формирования, структуры и процесса сматывания мотальных паковок сомкнутой структуры. Дисс. к.т.н. Ленинград, ЛИТЛП им. С.М. Кирова 1983.
67. А.Г. Севостьянов «Методы и средства исследований механико-технологических исследований текстильной промышленности» Изд. Легкая индустрия, М 1980.

68. В.А. Усенко «Производство крученых и текстурированных химических нитей». Учебник для ВУЗов, легпромбытгиздат, М. 1987.
69. В.П. Зайцев, И.Н. Панин «Исследование процесса формирования бобин сомкнутой структуры на машине «Бандомат». Изв. ВУЗов, технология текстильной промышленности, № 3, 1982.
70. В.П. Зайцев, И.Н. Панин, А.Г. Минаев «Изменение удельной плотности намотки пряжи в радиальном и осевом направлениях конической бобины сомкнутой структуры» Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности, № 4, 1984 г.
72. А.Н. Пайметов, С.В. Князькин, А.И. Панин «Расчет параметров подготовки (кручения) пленочных нитей для выработки технических сукон прессовой группы» Вестник ДИТИ. 2013. № 1.
73. Л.Я. Сухотерин, А.А. Калмыков, С.В. Князькин, С.Ю. Кротов «О влиянии структуры текстильных диспергаторов на работу воздуходувок» Вестник ДИТИ. 2013. № 1.
74. С.В. Князькин, М.И. Панин, «О рациональной технологии формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов заданной формы» Вестник ДИТИ. 2014. № 1.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«КОВРОТЕКС»
Димитровградский филиал**

РОССИЯ

433513, г. Димитровград,
Ульяновская область,
улица Свирская, 1/2
Телефон (84235) 5-10-27
факс (84235) 2-92-71

на _____ № 570/02
от 15.03.2014

Директор ООО



АКТ О ВНЕДРЕНИИ НИР

Мы, нижеподписавшиеся представители ООО «Ковротекс» г.Димитровград Ульяновской области с одной стороны и представитель ДИТИ НИЯУ МИФИ в лице Князькина Станислава Валерьевича с другой стороны, составили настоящий акт о внедрении результатов законченной научно-исследовательской работы: «Разработка и внедрение в производство установки для формирования мотальных паковок специального назначения применяемых для армирования композиционных материалов», выполненной при проведении Х/Д НИР № 2013-00115 от 30.02.2013г.

В результате внедрения НИР выполнена установка для формирования мотальных паковок произвольной формы намотки, позволяющая создавать сомкнутую структуру намотки нитей.

Данное оборудование принято к промышленному использованию в подготовительно-ткацком производстве предприятия.

В результате внедрения НИР в производство за 2014год на предприятии получен фактический экономический эффект в размере 56345руб.35коп., за счёт освоения нового вида выпускаемой продукции.

От предприятия:

Гл. инженер Фаттахов Ю.В.

От МГУДТ:

инженер Князькин С.В..

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Димитровградский инженерно-технологический институт –
филиал НИЯУ МИФИ

Инв № Г-13431

УДК 678.046.76

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Авиационная корпорация
«Рубин»

Е.И. Крамаренко

от

_____ 2014 г.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель
ДИТИ НИЯУ МИФИ

_____ С.А. Саган

« _____ »

_____ 2014 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕ ТРАДИЦИОННОГО
МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (УКМ)»

(2 этап)

Х/Д № Д 2013-00115

И.о. зав. кафедрой
технологии и конструирования
канд.техн. наук, доцент

_____ (подпись, дата)

А.Е.Кучма

Руководитель НИР
профессор кафедры
технологии и конструирования
д-р техн. наук, Лауреат премии
Правительства РФ
в области науки и техники

_____ (подпись, дата)

И.Н. Панин

Димитровград 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы И.И.Панин
 д-р техн. наук, профессор (подпись, дата) (реферат, тех. реглам., выводы)

Исполнители темы:
 канд. техн. наук А.И.Панин
 доцент (подпись, дата) (отчёт, тех. регламент)

Исполнитель темы: Е.В. Васковская
 инженер (подпись, дата) (отчёт, тех. регламент)

канд. техн. наук А.П.Зенцов
 доцент (подпись, дата) (тех. регламент)

аспирант С.В.Князькин
(подпись, дата) (тех. регламент)

РЕФЕРАТ

Отчет 24 источника.

КОМПОЗИТ, НАМОТКА, ПРЕПРЕГ, УГЛЕРОД, СМОЛА, ТКАНЬ, ОСНОВА, УТОК, ВИТОК, СЛОЙ, ПРОСЛОЕК, УГОЛ СДВИГА ВИТКОВ.

Цель работы – оптимизация текстильных структур армирующих компонентов композиционных материалов, формируемых из углеродных волокон (УВ), стекловолокон (СВ) и текстильных материалов иной природы, для применения их в критических отраслях, в том числе в авиа- и ракетостроении.

Для реализации поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- проведён литературный обзор материалов, связанных с описанием процессов использования текстильных технологий армирования угле и стеклопластиков (соответственно: УВ и СВ);
- проведён критический анализ структур армирования композиционных материалов с максимальным наполнением их армирующим компонентом (с целью создания максимально легких композитов) из УВ И СВ;
- разрабатываются рекомендации по развитию направлений создания новых композиционных материалов на базе углеродных и стеклянных волокон;
- разработаны и изготовлены образцы композиционных материалов заданной формы и типоразмеров;
- разработаны рекомендации по созданию технологии армирования композиционных материалов, формируемых намоткой углеродных и стеклонитей на оправки заданной формы и размеров, в целях применения получаемых изделий в критических отраслях, в том числе в авиа и ракетостроении.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	ТЕКСТИЛЬНЫЕ АРМИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ	6
1.1.	Требования к материалам	6
1.2.	Композиционные материалы из углеродных волокон	11
2.	СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	15
3.	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ	19
3.1.	Описание сырьевых материалов для формирования мотальных паковок специального назначения на их основе	19
3.1.1.	Углеродные волокна из полиакрилонитрильных волокон	20
3.1.2.	Минеральные волокна, принципы получения и свойства	23
4.	НАЗНАЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ.	25
4.1.	Классификация структур намотки мотальных паковок	24
4.2.	Определение требований, предъявляемых к мотальным механизмам, для формирования паковок сомкнутой намотки	28
4.3.	Методика расчёта величины передаточного отношения между веретеном и кулачком нитеводителя при формировании на паковках сомкнутых намоток	36
4.4.	Связующие для изготовления УКМ с последующей их карбонизацией и стеклопластиков на базе мотальных паковок специального назначения	43
4.5.	Эпоксидные и эпоксидно-фенольные смолы	45
4.6.	Фото – отчет по изделиям – полуфабрикатам композиционных материалов, выполненных на базе мотальных паковок специального назначения по разработанной технологии.	47
	Литература	52
	Приложение 1. Технологический регламент на производство углеродных композиционных материалов (УКМ) и стеклопластиков заданных типоразмеров на базе мотальных паковок специального назначения	54
	Приложение 2. Техническое задание на создание опытного участка по выпуску новых технологий.	77

АКТ

сдачи-приемки выполненной научно-исследовательских работы
по договору от «30» августа 2013 г № Д 2013-00115
«Исследование возможности применения нетрадиционного метода формирования основ
для получения углеродных композиционных материалов (УКМ)»
наименование темы

г. Дмитровград

«26» 11 2013 г.

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Исполнителя в лице руководителя Дмитровградского инженерно-технологического института - филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ДИТИ НИЯУ МИФИ) Сагана Ивана Анатольевича, действующего на основании Положения о ДИТИ НИЯУ МИФИ и Доверенности № 329-17-042/13 от 24.12.2012 года с одной стороны и представитель Заказчика в лице Генерального директора ОАО «Авиационная корпорация «РУБИН» Крамаренко Евгения Ивановича, действующего на основании Устава, составили настоящий Акт о нижеследующем:

1. Исполнитель передал, а Заказчик принял работу в соответствии с условиями договора.
2. Результаты научно-исследовательской работы удовлетворяют условиям договора и технического задания. Претензий к качеству выполненной работы и переданной документации Заказчик не имеет.
3. Исполнителем переданы образцы изделий специального назначения для проведения их испытаний в количестве 5 (пять) единиц.
4. Заказчик обязуется произвести окончательную оплату по договору в течение 5 (пяти) банковских дней с момента подписания настоящего Акта сдачи-приемки выполненной научно-исследовательской работы. Договорная цена по договору составляет 150 000 (сто пятьдесят тысяч) руб. Ранее получен аванс 75 000 (семьдесят пять тысяч) рублей Следует к перечислению 75 000 (семьдесят пять тысяч) руб. Согласно Налоговому кодексу РФ (№ 117-ФЗ от 05.08.2000 часть вторая, глава 21, ст.149, п.3, п.п.16) НДС не облагается.
5. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, по одному для каждой из сторон.

Работу сдал:
От Исполнителя

Руководитель ДИТИ НИЯУ МИФИ
И.А. Саган
«26» 11 2013 г.



Работу принял:
От Заказчика

Генеральный директор
ОАО «Авиационная корпорация «Рубин»
Е.И. Крамаренко
«26» 11 2013 г.



ДИТИ НИЯУ МИФИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Дмитровградский инженерно-технологический институт - филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ДИТИ НИЯУ МИФИ)
Местонахождение:
Юридический адрес:
Россия, 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31
Почтовый адрес:
433511, Россия, Ульяновская область, г. Дмитровград, ул. Куйбышева, д. 294
УФК по Ульяновской области (ДИТИ НИЯУ МИФИ, л/с 30686У88290)
ИНН 7724068140 КПП 732943001
р/счет-40501810073082000001
ГРКЦ ГУ БАНКА РОССИИ по Ульяновской области
г. Ульяновск БИК-047308001

ОАО «Авиационная корпорация «Рубин»
143900, г. Балашиха, МО, Западная промзона, ш. Энтузиастов, д.5
ИНН 5001000034, КПП 509950001
Телефон/ Факс: +7 495 521-53-10
Р/счет: 40702810320280689801
ОАО «Промсвязьбанк» г. Москва, доп. офис «Балашиха»
Кор/счет 30101810600000000119
БИК 044583119

ПРИЛОЖЕНИЕ 3



Параметры изделия:

- **Волокно: Нить стеклянная ВМПС6 14,4*4 Z100**
- **Разрывная нагрузка – 3,5 кгс;**
- **Линейная плотность – 56,6 текс;**
- **Количество кручений – 100 +/- 10 кр/м.**
- **Связующий компонент: эпоксидная смола марки ЭП-20**
- **Габариты изделия:**
- **Н (высота) =750мм**
- **Д (диаметр) =345мм**
- **М (масса) = 3,56 кг**
- **Р (плотность) 1318 кг/м³**



Параметры изделий:

- **Волокно: Нить стеклянная ВМПС6 14,4*4 Z100**
- **Разрывная нагрузка – 3,5 кгс;**
- **Линейная плотность – 56,6 текс;**
- **Количество кручений – 100 +/- 10 кр/м.**
- **Связующее вещество: эпоксидная смола марки ЭП-20**
- **Габариты изделий:**
- **Н (высота) = 450 мм D (диаметр) = 60 мм**
- **Р (чер)=4875 кг/м³ m(черн) = 0,39 кг**
- **Р (зел)=3938 кг/м³ m(зел) = 0,63 кг**
- **Р (бел)=4168 кг/м³ m(бел) = 0,50 кг**



Параметры изделия:

- **Волокно: Углеродный ровинг - Toho tenax 12K, HTS40:**
- **Кол-во филаментов – 12 000**
- **Линейная плотность (текс) – 800**
- **Кол-во кручений (круч/м) – 0**
- **Плотность (г/см³) – 1,79**
- **Прочность на разрыв (Мпа) - 4300**
- **Модуль Упругости (Гпа) – 240**
- **Связующее вещество: фенолоформальдегидная смола ФПР-520;**
- **Габариты изделия:**
- **Н (высота) = 530 мм**
- **М (масса) = 18 кг**
- **Д наружный = 380 мм**
- **Д внутренний = 350 мм**
- **Р (плотность изделия) 1450 кг/м³**



Параметры изделия:

- **Волокно: Углеродный ровинг - Toho tenax 12K, HTS40:**
- **Кол-во филаментов – 12 000**
- **Линейная плотность (текс) – 800**
- **Кол-во кручений (к/м) – 0**
- **Плотность (г/см³) – 1,79**
- **Прочность на разрыв (Мпа) - 4300**
- **Модуль Упругости (Гпа) – 240**
- **Связующее вещество: фенолоформальдегидная смола ФПР-520;**
- **Габариты изделия:**
- **Н (высота) 260 – 280 мм М (масса) = 26,56 кг**
- **Д (диаметр) 320 мм Р (плотность) 1250 кг/м³**