

27. Gu, C. Reliability-oriented Complexity Analysis of Manufacturing Systems Based on Fuzzy Axiomatic Domain Mapping [Text] / C. Gu, Y. He, X. Han // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 53. – P. 130–135. doi: 10.1016/j.procir.2016.06.097
28. Shao, J. Research Progress Analysis of Reliability Design Method Based on Axiomatic Design Theory [Text] / J. Shao, F. Lu, C. Zeng, M. Xu // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 53. – P. 107–112. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.027
29. Kim, H. Optimal reliability design of a system with k-out-of-n subsystems considering redundancy strategies [Text] / H. Kim // Reliability Engineering & System Safety. – 2017. – Vol. 167. – P. 572–582. doi: 10.1016/j.res.2017.07.004
30. Ulesov, A. S. Definition Of amount of information entropy in structure of the technical system by method of the minimum sections [Text] / A. S. Ulesov, D. Y. Karandeev, N. N. Kondrat // Modern problems of science and education. – 2016. – Issue 3. – P. 472–476.
31. Юдин, Д. В. Задачи управления и теория сложности [Текст] / Д. В. Юдин, А. П. Горяшко // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1974. – № 3. – С. 34–53.
32. Бусленко, Н. П. О формальном описании связей между элементами сложной системы [Текст] / Н. П. Бусленко, А. Н. Аверкин // Кибернетика. – 1972. – № 6. – С. 440.
33. Feizabadi, M. A new model for reliability optimization of series-parallel systems with non-homogeneous components [Text] / M. Feizabadi, A. E. Jahromi // Reliability Engineering & System Safety. – 2017. – Vol. 157. – P. 101–112. doi: 10.1016/j.res.2016.08.023
34. Рудь, Ю. С. Современное оборудование для обогащения железных руд [Текст] / Ю. С. Рудь, В. И. Бессараб, Л. З. Ортенберг. – М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по тяжелому и транспортному машиностроению, 1982. – 36 с.

*Досліджено процес формування джгутового намотування з точки зору силових взаємодій ниток. Встановлено, що при певних співвідношеннях між частотою обертання бобіни і частотою руху нитководія відбувається укладання ниток на одне й те саме місце і формується джгутове намотування. Для усунення дефектів у вигляді джгутів та супроводжуваних їх хорд запропоновано зменшити до можливого мінімуму відстань від вічка нитководія до точки набігання*

*Ключові слова: джгутова намотування, хорда, нитководій, дефекти намотування, точка набігання*

*Исследован процесс формирования жгутовой намотки с точки зрения силовых взаимодействий нитей. Установлено, что при определенных соотношениях между частотой вращения бобины и частотой движения нитеводителя происходит укладка нитей на одно и то же место и формируются жгутовая намотка. Для устранения дефектов в виде жгутов и сопровождающих их хорд предложено уменьшить до возможного минимума расстояние от глазка нитеводителя до точки набегания*

*Ключевые слова: жгутовая намотка, хорда, нитеводитель, дефекты намотки, точка набегания*

УДК 677 – 487.5.23.275  
DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118961

## АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЖГУТОВОЙ НАМОТКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИЛОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НИТЕЙ

**М. Н. Нуриев**

Доктор технических наук, профессор\*

**Ф. А. Велиев**

Доктор технических наук, профессор

Кафедра технологические машины и оборудование промышленности\*\*\*

**И. М. Сейдалиев**

Кандидат технических наук, доцент\*

**К. С. Дадашова**

Кандидат экономических наук, старший преподаватель\*

**Г. З. Джаббарова**

Преподаватель\*\*

**И. Ф. Аллахвердиева**

Преподаватель\*\*

E-mail: allahverdiyeva.ilhame@inbox.ru

\*Кафедра стандартизации и сертификации\*\*\*

\*\*Кафедра экспертиза потребительских товаров\*\*\*

\*\*\*Азербайджанский государственный

экономический университет, (UNEC)

ул. Истиглалият, 6, г. Баку, Азербайджан, AZ1001

### 1. Введение

Как известно [1], формирование жгутовой намотки происходит тогда, когда частота движения нитеводителя становится кратной частоте вращения паков-

ки. Поскольку при фрикционном наматывании частота вращения паковки непрерывно уменьшается в некотором диапазоне по мере роста диаметра, то условия для формирования жгутовых структур наступают периодически.

Качеством паковок является структура намотки, с которой тесно связана форма паковки. Наличие дефектов структуры намотки ведет к росту обрывности при сматывании, что приводит к снижению эффективности снования и ткачества. Своевременное обнаружение таких дефектов позволит устранить причины их появления путем соответствующей наладки оборудования. Бобины же с дефектами отправляются на повторное перематывание. При этом затраты, связанные с дополнительным перематыванием, значительно ниже затрат, связанных с ликвидацией обрывов в сновании и ткачестве. Таким образом, создание метода автоматизированного контроля структуры намотки и его внедрение на производстве позволит повысить эффективность процессов снования и ткачества и улучшить качество ткани за счет устранения дефектов, сопутствующих ликвидации обрывов.

В связи с этим, исследование, направленное на разработку автоматизированного контроля структуры намотки паковок, формируемых на машинах с фрикционным приводом паковок, представляется актуальной.

---

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

---

При исследовании процессов формирования намотки, как правило, рассматривают несколько направлений, среди которых – технологическая сторона вопроса, влияние материалов и конструктивных особенностей механизмов на качество готового продукта. Если технологическая сторона рассматривается через призму влияния технологических параметров процесса на ошибки намоток и формирования паковок [1–3], то вопросы выбора материалов или их учета при выборе технологических параметров и способов управления процессом намотки важны в равной мере и в технологиях, и в оборудовании. Так, в работе [4] приведено описание технологий изготовления пряжи и нитей, из которого, в частности, следует, что высокопроизводительные приложения могут использовать технические волокна или высокоэффективные волокна/нити для производства нитей с заданными свойствами. При этом отмечается, что использование нескольких тонких нитей для производства швейной нити имеет решающее значение для изготовления высокоэффективного продукта. Следует отметить, что интересным с практической точки зрения было бы представление дополнительных данных о взаимосвязи качества нити и режимов намотки. В работе [5] сказано, что ключом к эффективному функционированию последующих технологических процессов является именно подготовка пряжи. При этом проиллюстрированы способы устранения погрешностей и, в этой связи, критически проанализированы различные типы намоточных машин. Полученные результаты в принципе позволяют судить об опасностях, создаваемых несоответствием механической части оборудования требованиям технологического процесса и самими отклонениями параметров процесса, с точки зрения качества получаемого продукта. Особенно следует отметить, что получаемые выводы могут относиться к различным нитям. Тем не менее, дополнительно внимание к конструктивному оформлению соответствующих механизмов намоточных машин способствовало бы формированию более системного представления процесса. Последнее особенно важно, если приоритетом функционирования машин является качество готового продукта.

Последовательность процессов производства различных типов пряжи с использованием машин для намотки может быть найдено в работе [6], в которой особое внимание уделено работе натяжных устройств и управлению процессом намотки. Отмечается, что отклонение от условий функционирования соответствующих механизмов может приводить к формированию неисправностей, описание которых также содержится в [4]. Интересным развитием данного исследования было бы, вероятно, исследование различных типов конструкций механизмов и их влияния на выбор управления технологическим процессом намотки. Особенно следует отметить возможность универсальности такого рассмотрения, которая может проявляться в возможности создания унифицированных конструкций для более широкого спектра приложения процесса намотки. Подтверждением этому могут быть направления исследований подобного рода механизмов для других прикладных технологий, в которых реализуется аналогичный, с точки зрения механического представления, процесс. Так, в исследовании [7] представлена конструкция, функция и система управления устройства намотки, применяемой для роботизированной технологии обмотки кабеля. Разработанный авторами механизм намотки позволяет обеспечивать качественный захват и укладку, что обеспечивается рациональным сочетанием механической части механизма и системой управления, интегрированной в инструмент для обнаружения проскальзывания подачи и для контроля силы подачи кабеля/нити. Разработка автоматизированной волоконно-оптической намоточной машины, представленная в работе [8], способна точно наматывать несколько различных моделей катушек, включает активное регулирование напряжения во время обмотки и включает в себя автоматизированную систему обнаружения и коррекции ошибок на основе технического зрения для повышения надежности. За счет таких конструктивных решений машина обладает высоким быстродействием, минимизируя длительность процесса намотки. Таким образом, предложенные решения, очевидно, могут быть использованы в аналогах намоточных машин для достаточно широкого спектра приложений.

Говоря о реализации технологии на машинах с фрикционным приводом паковок, следует особо отметить то обстоятельство, что взаимное расположение витков на теле намотки при фрикционном приводе паковок не является однородным [9, 10]. При определенных соотношениях между частотой вращения бобины и частотой движения нитеводителя происходит укладка нитей на одно и то же место. При этом наблюдаются, так называемые, жгутовые образования. В случае если частоты движения бобины и нитеводителя незначительно отличаются от кратных, витки укладываются вплотную друг к другу, в этом случае формируется ленточная намотка. Критерии для определения вида намотки обоснованы в [11, 12]. Жгутовая намотка сопровождается рядом явлений, которые отрицательно сказываются на качестве формируемых паковок. В качестве первого из таких явлений можно указать то, что жгутовая намотка имеет более высокую удельную плотность. Как отмечают в [13, 14], при сомкнутой намотке, которую можно рассматривать как искусственно созданную модель ленточной намотки, удельная плотность может достигать до  $0,64 \text{ г/см}^3$ . В то же время, при застилой намотке она составляет величину порядка  $0,39 \text{ г/см}^3$ . Различия в плотности намотки служат причиной брака при обработке паковок

раствором [14], вызывая разнооттеночность пряжи с разных слоев намотки [16]. В работе отмечается, что жгутовая намотка на уточных бобинах может быть причиной не только полосатости в ткани, но и разной ширины ткани. Разность плотности в различных слоях может быть причиной потери устойчивости намотки [17, 18].

Вторым нежелательным явлением, которое сопутствует жгутовой намотке, является возникновение некруглости паковки за счет неравномерного размещения нитей по ее поверхности. При вращении бобины в процессе намотки ее некруглость является причиной возбуждения колебаний в мотальном механизме [19]. Как отмечается в [20], такие колебания могут быть причиной существенных отклонений технологических параметров наматывания, приводящих порой к полному нарушению процесса наматывания.

Третьим нежелательным явлением, возникающим при формировании жгутовой намотки, являются силовые взаимодействия вновь укладываемых витков с неровностями рельефа паковки, в результате которых часть витков сбрасывается за край паковки, т. е. образуются хорды [21]. При последующей размотке бобины они являются причиной повышенной обрывности пряжи на некоторых диаметрах намотки [22].

Кинематический аспект формирования жгутовых структур подробно описан в работе [9, 10]. Однако давно отмечено, что только кинематическим описанием процесс формирования жгутовых структур не определяется, при этом существенное значение имеет силовое взаимодействие нитей, укладываемых в намотку [22].

### 3. Цель и задачи исследования

Целью работы является анализ формирования жгутовой намотки с точки зрения силовых взаимодействий нитей. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- теоретический анализ процессов, происходящих при формировании жгутовых структур с точки зрения силового взаимодействия нитей;
- измерение крутильной жесткости нити и анализ условия срыва нити при угле подъема витка равном нулю;
- получение аналитического описания для расчета числа бесконтрольно уложенных витков.

### 4. Результаты исследований формирования жгутовой намотки с точки зрения силовых взаимодействий нитей

В работе [9] показано, что при уменьшении расстояния по периферии паковки между соседними витками до значения, меньшего диаметра нити, формируется жгутовая намотка. При этом в предельном случае виток нити укладывается точно на место предыдущего. Однако такое явление происходит только в том случае,

если нить считать идеальной, т. е. не имеющей толщины. Реальные процессы несколько сложнее. Нить не может лечь точно на место уложенной ранее, она с нее сваливается. При этом виток, уложенный ранее, начинает выполнять роль раскладчика, т. е. он определяет место укладки нити на поковке. Это место может существенно отличаться от диктуемого движением нитеводителя.

Самым неприятным явлением в этом случае является то, что витки нити могут выходить за торец намотки, образуя при этом хорды, которые при последующей размотке бобины служат причиной обрыва [24]. Процесс формирования хорд продолжается до тех пор, пока нить, отклоняемая от нормального положения, задаваемого ходом нитеводителя, и находящаяся в состоянии неустойчивого равновесия, не сорвется с предыдущего витка. В этом случае закон раскладки восстанавливается. К этому времени кинематические условия жгутовой намотки пропадают вследствие роста диаметра бобины и уменьшения частоты ее вращения.

Силовое равновесие нити на поверхности паковки рассмотрено в работе [9, 10], где паковки представляются цилиндром или конусом, обладающим трением, но имеющим правильную геометрическую форму. В дальнейших рассуждениях будем считать нить имеющей цилиндрическую форму и несжимаемую в поперечном направлении. Поскольку формирование хорд происходит в момент разворота витка, то в первом приближении угол подъема витка будем считать равным нулю, т. е. виток укладывается в плоскости, перпендикулярной оси паковки.

На рис. 1 изображена паковка, на поверхность которой при неподвижном нитеводителе, расположенном в точке  $A$ , последовательно укладываются витки намотки. Витки 1, 2 и 3 уложены ранее. В настоящий момент укладывается виток 4. По кинематическим условиям центры сечений всех витков должны иметь одну и ту же координату  $Z$ . Однако положение, при котором витки уложены один поверх другого, является неустойчивым.

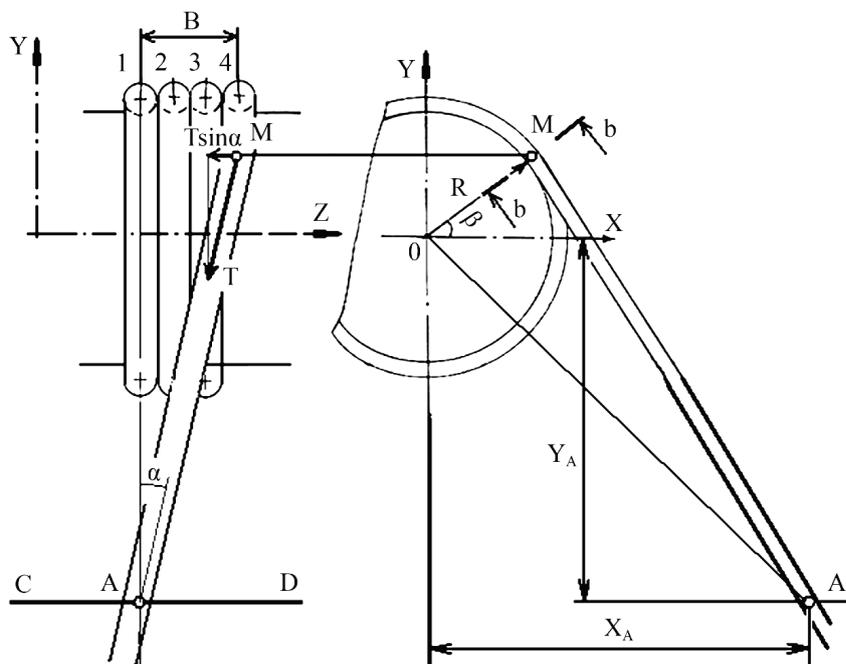


Рис. 1. Схема расположения витков на поверхности намотки при неподвижном нитеводителе

Последующий виток сваливается с уложенного ранее и укладывается рядом с ним (на рис. 1 справа). При этом возникает сила  $T\sin\alpha$ , стремящаяся вернуть виток в положение, заданное кинематическими условиями. По мере роста числа намотанных витков сила  $T\sin\alpha$  увеличивается, и, в конце концов, приводит к тому, что виток срывается и укладывается поверх всех уложенных ранее с координатой  $Z$ , наиболее близкой к соответствующей координате первого витка. Определим условия, при которых произойдет такой срыв витка, что позволит определить число витков, которое укладывается с нарушением кинематических условий, т. е. без контроля со стороны нитеводителя. Для этого рассмотрим сечение  $b-b$ , проходящее через точку  $M$  набегания нити на паковку (рис. 2).

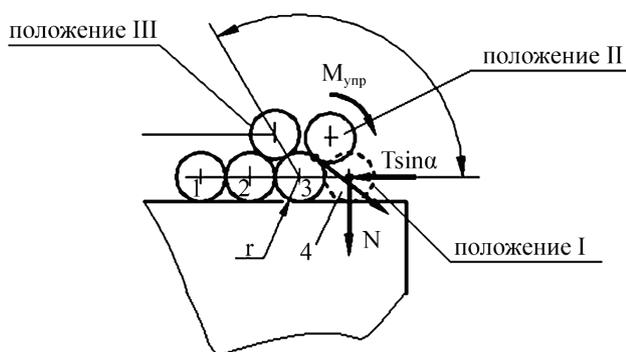


Рис. 2. Расположение витков в сечении  $b-b$

Виток в этом сечении может занять отклоненное положение I или, в случае срыва витка, положение III.

На рис. 2 также показано промежуточное положение II. Определим, какие силы действуют на укладываемый виток в сечении  $b-b$ . Силами инерции, действующими на нить, пренебрежем. Для расчета реакции со стороны тела намотки определим нормальное давление  $p$  со стороны витка на единицу длины поверхности тела намотки. При этом необходимо учесть, что намотка ведется на цилиндрическую поверхность и согласно формуле А. П. Минакова [24] для параллельной намотки:

$$p = \frac{T}{R}. \tag{1}$$

Силу  $N$  нормального давления укладываемого витка будем рассматривать на участке перехода его через предыдущий виток 3 (рис. 1). Длину этого участка обозначим  $S$ . На рис. 3 приведена схема для определения длины  $S$ , при этом предполагается, что нить не деформируется в поперечном направлении.

Как видно из рис. 3,

$$S = a(1 + \cos\alpha), \tag{2}$$

из  $\Delta 123$

$$a = \frac{d}{\sin\alpha}. \tag{3}$$

Подставляя это значение в предыдущее, получим:

$$S = \frac{d(1 + \cos\alpha)}{\sin\alpha}. \tag{4}$$

Или, учитывая малость угла  $\alpha$  и то, что  $d = 2r$ , получим окончательно:

$$S = \frac{4r}{\alpha}, \tag{5}$$

сила нормального давления  $N$ , с учетом рис. 1, определится из выражения:

$$N = PS = \frac{4Tr}{R\alpha}. \tag{6}$$

Силой тяжести нити пренебрегаем ввиду ее малости по сравнению с натяжением нити  $T$ .

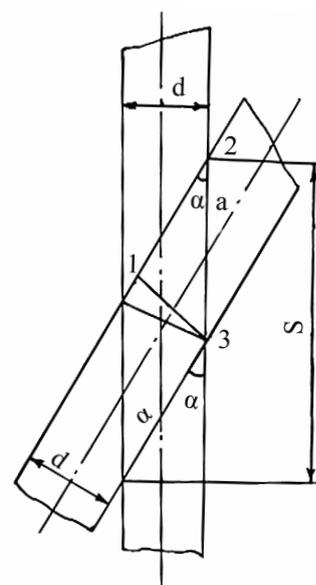


Рис. 3. Схема расположения витков на переходном участке

Кроме того, на укладываемый виток действуют сила трения  $F_{тр}$  и скручивающий момент  $M_{упр}$ , вызванный упругим скручиванием нити:

$$M = c\phi, \tag{7}$$

где  $\phi$  – угол закручивания нити;  $c$  – жесткость нити при скручивании.

Вопрос о положении нити решается путем нахождения работ, совершаемых указанными силовыми факторами при перемещении сечения  $b-b$  из положения I в положение III.

Работа момента скручивания  $M_{упр}$  определяется как:

$$A_M = \frac{c\phi^2}{2}. \tag{8}$$

Согласно рис. 2, центр сечения витка 4 перемещается по дуге с центром в центре сечения витка 3, при этом само сечение поворачивается на угол

$$\phi = \frac{2}{3}\pi, \tag{9}$$

$$A_M = C \frac{2}{9}\pi^2.$$

Работа силы  $N$  при перемещении из положения I в положение III равна (рис. 1):

$$A_N = Phs = \frac{4Tr^2}{R\alpha} \sqrt{3}. \quad (10)$$

Работа силы натяжения  $T$  по перемещению сечения в поперечном направлении из положения I в положение III подсчитывается как:

$$A_T = SrT \sin \alpha,$$

или с учетом малости угла  $\alpha$ :

$$A_T = SrT\alpha. \quad (11)$$

Работа силы трения  $F_{Тр}$  в точке контакта витков 4 и 3 не производится, так как сила трения  $F_{Тр}$  приложена в мгновенно неподвижной точке  $K$  (считаем, что качение сечения 1 происходит без проскальзывания по сечению 3). Силами трения качения пренебрегаем.

Для того чтобы центр витка 4 мог переместиться из положения I в положение II, необходимо, согласно принципу виртуальных перемещений [26], чтобы выполнялось соотношение:

$$A_T > A_M + A_N. \quad (12)$$

Подставив в (12) значения  $A_T$ ,  $A_M$  и  $A_N$  из (11), (9) и (10), получим

$$SrT\alpha > \frac{2}{9}c\pi^2 + \frac{4T}{R\alpha}r^2\sqrt{3}. \quad (13)$$

Решением полученного неравенства будет иметь вид:

$$\alpha > \frac{c\pi^2 + \sqrt{c^2\pi^4 + 972r^3T^2\sqrt{3}/R}}{27rT}. \quad (14)$$

Анализ полученной формулы удобно провести на ЭВМ, используя реальные значения входящих в нее величин. Все они, кроме жесткости нити на кручение, известны при проектировании мотального механизма. Основные положения силового взаимодействия нитей при формировании жгутовой намотки приводятся в [27, 28].

Измерение крутильной жесткости нити и анализ условий срыва нити оценивается при угле подъема витка, равном нулю. Коэффициент  $c$ , входящий в формулу (14), можно определить экспериментально, используя выражение для периода  $\tau$  крутильных колебаний однородного стержня, подвешенного за середину (рис. 4) [29].

$$\tau = \frac{2\pi}{K^2}, \quad (15)$$

где  $K^2 = c/J_0$ ,  $J_0$  – момент инерции массы стержня. Для определения последнего можно воспользоваться формулой

$$J_0 = \frac{Ml^2}{12}, \quad (16)$$

где  $M$  – масса стержня;  $l$  – длина стержня.

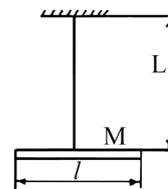


Рис. 4. Схема установки для определения крутильной жесткости нити

Подставляя (17) в выражение для  $K^2$ , а затем полученное в (16), приходим к уравнению:

$$\tau = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{12c}{Ml^2}}}. \quad (17)$$

Решим (19) относительно  $c$ :

$$c = \frac{\pi^2 Ml^2}{3\tau^2}. \quad (18)$$

В эксперименте использовались образцы длиной 245 мм из крученой х/б пряжи, выработанной на машине ПК-100М3 линейной плотности  $25 \times 2$  текс, и пластмассовый стержень длиной  $l = 29$  мм и массой  $M = 940$  мг.

Период колебаний определялся в десятикратной повторности на пяти различных образцах пряжи. Результаты измерений сведены в табл. 1.

Таблица 1

№ повторности	Периоды крутильных колебаний					Среднее $\tau_i$
	T, с для образца					
	1	2	3	4	5	
1	10,2	9,8	9,3	9,1	9,9	
2	9,9	10,2	10,1	9,2	10,4	
3	9,8	10,1	10,2	10,2	9,2	
4	10,1	9,1	9,1	9,9	10,2	
5	10,2	9,9	10,2	10,1	10,1	
6	10,1	10,2	10,0	9,9	9,8	
7	11,0	9,9	9,2	10,2	9,3	
8	9,9	10,1	10,1	10,2	9,1	
9	9,1	9,2	10,1	9,9	9,2	
10	9,1	9,3	10,3	10,4	10,2	
Среднее $\tau_i$	9,94	9,78	9,87	9,91	9,74	$\tau = 9,848$
$(\tau_i - \tau)^2 \cdot 10^{-3}$	8,46	4,62	0,48	3,84	11,6	$S = 4,25$

Статистически достоверное значение  $\tau = 9,85 \pm 0,0095$  с подставим в формулу (19), в результате чего получим значение  $c$  для соответствующей пряжи  $c = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ .

На рис. 5 приведена схема мотального механизма прядильно-крутильной машины ПК-100М3. Пользуясь формулой (15), проведем для этого механизма анализ зависимости угла  $\alpha$  от натяжения нити, диаметра намотки и жесткости нити на кручение. Результаты расчета приведены в виде графиков на рис. 6, 7.

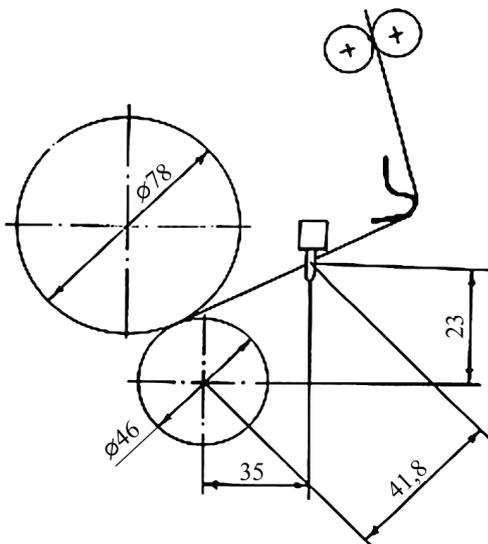


Рис. 5. Схема мотального механизма прядильно-крутильной машины ПК-100М3

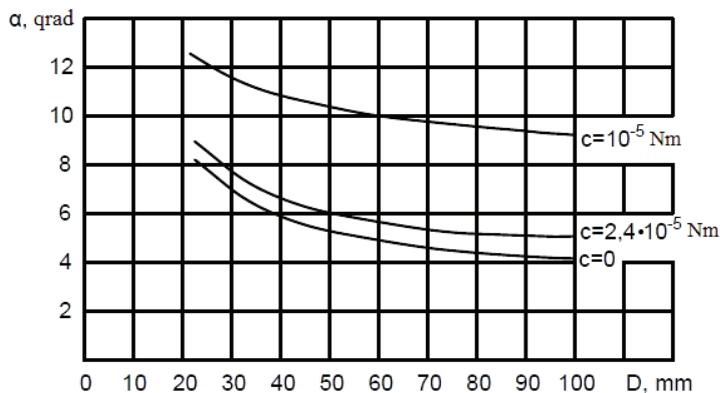


Рис. 6. Зависимость угла  $\alpha$  от диаметра намотки при различных натяжениях нити

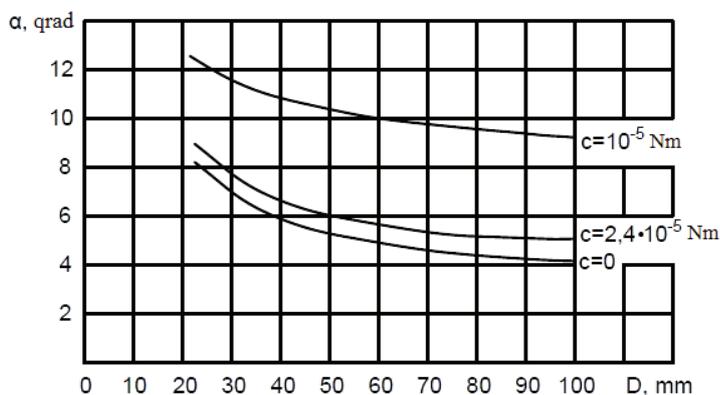


Рис. 7. Зависимость угла  $\alpha$  от диаметра намотки при различных жесткостях нити на кручение

Как видно из графиков рис. 6, наибольшая опасность для образования слетов возникает на малых диаметрах намотки и при малом натяжении. С ростом натяжения угол  $\alpha$  уменьшается, стремясь, в конечном счете, к значению, близкому к  $4^\circ$ .

На рис. 7 приведены зависимости угла  $\alpha$  от диаметра намотки при различных жесткостях нити на кручение.

Реальная жесткость нити, используемой в эксперименте, составила  $C=2,4 \cdot 10^{-5}$  Н·м/рад. С увеличением жесткости нити, контроль за ней со стороны нитеводителя ухудшается.

Разница между кривыми, соответствующими жесткости  $C=0$  и  $C=2,4 \cdot 10^{-5}$  Н·м/рад, показывает, что влияние жесткости существенно для расчетов возможности образования хорд на торцах паковки, вызванной потерей контроля за движением нити со стороны нитеводителя.

### 5. Обсуждение результатов исследования формирования жгутовой намотки

Следует отметить, что для практики большой интерес представляет не само значение угла  $\alpha$ , а ответ на вопрос, сколько витков нити могут быть намотаны до срыва нити из положения I в положение III (рис. 2). То есть, сколько витков будет уложено без контроля со стороны нитеводителя, в результате чего они могут быть вынесены за пределы паковки и образуют хорды на торце, являющиеся причиной нарушения работы оборудования [9, 10].

Пусть нитеводитель находится в точке A с координатами  $(X_A; Y_A)$  (рис. 2). Тогда расстояние B, на которое может сместиться нить без контроля со стороны нитеводителя,

$$B = MA \sin \alpha. \tag{19}$$

В треугольнике ACM угол OMA прямой, поэтому:

$$MA = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 - R^2}.$$

Подставив полученное выражение для MA в (20), получим

$$B = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 - R^2} \sin \alpha. \tag{20}$$

Количество витков, намотанных без контроля со стороны нитеводителя,

$$n = \frac{B}{2r} = \frac{\sqrt{X_A^2 + Y_A^2 - R^2}}{2r} \sin \alpha, \tag{21}$$

$$n = \frac{\sqrt{X_A^2 + Y_A^2 - R^2} \sin \alpha}{2r} \tag{22}$$

или окончательно

$$n = \left( \frac{2}{9} c \pi^2 + \frac{T}{R} r \sqrt{3} \right) \frac{\sqrt{X_A^2 + Y_A^2 - R^2}}{6r^2}. \tag{23}$$

Количество бесконтрольно уложенных витков нити существенно зависит от величины MA –

расстояния от глазка нитеводителя до точки набегания. С уменьшением этого расстояния контроль со стороны нитеводителя улучшается. Как было показано выше, для мотального механизма ПК-100МЗ с ростом натяжения угол  $\alpha$  стабилизируется вблизи  $\approx 4^\circ$ . Тогда, согласно формуле (23), число бесконтрольно уложенных витков на торце будет около 6.

Полученная величина соответствует практическим наблюдениям за формированием паковок в условиях производства. Для уменьшения брака по этому параметру нужно устанавливать глазок нитеводителя как можно ближе к паковке, что может быть достигнуто на машине ПК-100МЗ установкой глазка, аналогичного применяемому для машин ППМ-120. Вторым существенным фактором является поддержание натяжения не ниже 20 сН для пряжи 25×2 текс. Для других линейных плотностей необходимое натяжение может быть получено их формул (15) и (16). Именно благодаря таким конструктивным решениям обеспечивается возможность снижения брака паковок, что может считаться очевидным преимуществом данного исследования.

Следует все же заметить, что учет большего количества конструктивных параметров, совместно с оптимизацией режимов процесса намотки, может быть полезным с точки зрения гарантированного повышения качества. Поэтому такой взгляд на вероятное развитие данного исследования можно считать состоятельным. Конечно, при этом, следует понимать, что увеличение влияющих факторов усложняет аналитическое описание – расчетные формулы. Это, в свою очередь, порождает трудности в получении работоспособных уравнений по причине необходимости дополнительных экспериментальных исследований. Тем не менее, именно такое экспериментальное развитие было бы полезным даже с точки зрения проверки соответствия получаемых на реальном оборудовании результатов известным теоретическим моделям, построенным с применением классических методов теоретической механики.

## 6. Выводы

1. Проведенный теоретический анализ взаимодействия витков при формировании жгутовой намотки позволил установить механизм формирования хорд, приводящих к обрывам нити. Установлено, в частности, что данный процесс продолжается до тех пор, пока нить, отклоняемая от нормального положения, задаваемого ходом нитеводителя, и находящаяся в состоянии неустойчивого равновесия, не сорвется с предыдущего витка. Следствием этого является восстановление закона раскладки, к моменту появления которого кинематические условия жгутовой намотки пропадают вследствие роста диаметра бобины и уменьшения частоты ее вращения.

2. Приведены условия, при которых происходит срыв витка, на основании которых становится возможным определение числа витков, укладываемых с нарушением кинематических условий. Показано, что данный параметр зависит от угла наклона витка, а применение полученного аналитического описания этой связи не представляет практических трудностей. Обоснованием этого утверждения является возможность численной компьютерной реализации расчета на основе реальных значений входящих в нее величин, все из которых, кроме жесткости нити на кручение, известны при проектировании мотального механизма.

3. Обосновано, что для уменьшения брака паковок необходимо устанавливать глазок нитеводителя как можно ближе к паковке, что может быть достигнуто на машине ПК-100МЗ установкой глазка, аналогичного применяемому для машин ППМ-120. При этом необходимо также поддержание натяжения не ниже 20 сН для пряжи 25×2 текс, а для других линейных плотностей данный параметр может быть рассчитан на основе полученных аналитических зависимостей для угла наклона нити и периода крутильных колебаний однородного стержня, подвешенного за середину. Такие результаты формируют основу требований к конструкции мотального механизма, направленных на сокращение числа бесконтрольно уложенных витков.

## Литература

1. Singh, M. K. Yarn winding for warp and weft [Text] / M. K. Singh // *Industrial Practices in Weaving Preparatory*. – 2014. – P. 1–90. – Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9789380308296500013>
2. Koranne, M. Winding package parameters [Text] / M. Koranne // *Fundamentals of Yarn Winding*. – 2013. – P. 66–99. doi: 10.1533/9781782420729.66
3. Koranne, M. Winding package faults and remedies [Text] / M. Koranne // *Fundamentals of Yarn Winding*. – 2013. – P. 174–183. doi: 10.1533/9781782420729.183
4. Tausif, M. Yarn and thread manufacturing methods for high-performance apparel [Text] / M. Tausif, T. Cassidy, I. Butcher // *High-Performance Apparel*. – 2018. – P. 33–73. doi: 10.1016/b978-0-08-100904-8.00003-1
5. Gandhi, K. L. Yarn preparation for weaving: winding [Text] / K. L. Gandhi // *Woven Textiles*. – 2012. – P. 35–61. doi: 10.1533/9780857095589.1.35
6. Singh, J. P. Winding yarn for terry fabrics [Text] / J. P. Singh, S. Verma // *Woven Terry Fabrics*. – 2017. – P. 39–53. doi: 10.1016/b978-0-08-100686-3.00005-0
7. Hultman, E. A cable feeder tool for robotized cable winding [Text] / E. Hultman, M. Leijon // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2014. – Vol. 30, Issue 6. – P. 577–588. doi: 10.1016/j.rcim.2014.04.003
8. Sharon, A. Development of an automated fiber optic winding machine for gyroscope production [Text] / A. Sharon, S. Lin // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2001. – Vol. 17, Issue 3. – P. 223–231. doi: 10.1016/s0736-5845(00)00030-2
9. Proshkov, A. F. Mekhanizmy raskladki niti [Text] / A. F. Proshkov. – Moscow: Legprombytzdat, 1986. – 246 p.
10. Ostrovskiy, A. A. Kriterii dlya opredeleniya vida namotki [Text] / A. A. Ostrovskiy // *Tekstil'naya promyshlennost'*. – 1969. – Issue 8. – P. 39–40.
11. Zaytsev, V. P. Opredelenie udel'noy plotnosti namotki nitey na tsilindricheskuyu bobinu [Text] / V. P. Zaytsev, I. N. Panin // *Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 1981. – Issue 6. – P. 44–48.

12. Zaytsev, V. P. Eksperimental'noe issledovanie izmeneniya udel'noy plotnosti namotki pryazhi na konicheskikh bobinah somknu-toy namotki [Text] / V. P. Zaytsev, I. N. Panin, A. G. Minaev // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1984. – Issue 4. – P. 42–45.
13. Bandova, M. V'eruhu prichinate za raznotenie pri bagrene na viskozna koprina v mas [Text] / M. Bandova, P. Pavlov et. al. // Himiya i industriya (NRB). – 1981. – Issue 8. – P. 353–354.
14. Potapova, L. V. Odnazh prichin poperechnoy polosatosti kapronovykh tkaney [Text] / L. V. Potapova // Tekstil'naya promyshlennost'. – 1971. – Issue 3. – P. 34–35.
15. Zaytsev, V. G. Issledovanie protsessa formirovaniya bobin sotovoy namotki na mashine «Bandomat» [Text] / V. G. Zaytsev, I. N. Panin // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1982. – Issue 3.
16. Klimov, V. A. O vozmozhnosti dinamicheskogo gasheniya kolebaniy podvesa friktsionnykh namotochnykh mekhanizmov [Text] / V. A. Klimov, L. S. Mazin // Issledovanie i proektirovanie oborudovaniya dlya proizvodstva himicheskikh volokon. – Moscow, 1983. – P. 13–19.
17. Fedorenko, N. A. Utochnenie parametrov protsessa perematyvaniya osnovnoy hlochatobumazhnoy pryazhi pnevmomekhanicheskikh protsessov v promyshlennosti lubyanykh volokon [Text] / N. A. Fedorenko, M. M. Krutikova, N. G. Agafanova. – Moscow, 1980. – P. 29–37.
18. Rudovskiy, P. N. Analiz struktury namotki pri friktsionnom namatyvaniya [Text] / P. N. Rudovskiy // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1995. – Issue 4. – P. 56–59.
19. Lünenschloß, J. Das Spulenauf-baufverhalten in Abhängigkeit modifizierter Spulenbedin-gungen [Text] / J. Lünenschloß, W. Wiesel // Chemiefasern Textilindustrie. – 1988. – Vol. 38, Issue 10. – P. 904–907.
20. Rudovskiy, P. N. Vliyaniye vzaimodeystviy vitkov na protsess raskladki [Text] / P. N. Rudovskiy // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1995. – Issue 5.
21. Rudovskiy, P. N. Svyaz' mezhdru strukturoy namotki, sletami vitkov i obryvnost'yu pri perematyvanii [Text] / P. N. Rudovskiy // Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1996. – Issue 6.
22. Minakov, A. P. Osnovy teorii namatyvaniya i smatyvaniya niti [Tekst] / A. P. Minakov // Tekstil'naya promyshlennost'. – 1944. – Issue 10. – P. 11–12.
23. Nikitin, N. N. Kurs teoreticheskoy mekhaniki [Text] / N. N. Nikitin. – Moscow: Vysshaya shkola, 1990. – 607 p.
24. Nuriev, M. N. Analiz formirovaniya zhgutovoy namotki s tochki reniya silovykh vzaimodeystviy nitey [Text] / M. N. Nuriev, P. N. Rudovskiy // Uzbekskiy zhurnal «Problemy mekhaniki». – 1994. – Issue 2. – P. 29–31.
25. Nuriev, M. N. Povedeniye niti na poverhnosti pakovki pri formirovanii zhgutovykh struktur [Text] / M. N. Nuriev, P. N. Rudovskiy // Uzbekskiy zhurnal «Problemy mekhaniki». – 1994. – Issue 3–4. – P. 24–26.
26. Panovko, N. G. Vvedeniye v teoriyu – mekhanicheskikh kolebaniy [Text] / N. G. Panovko. – Moscow: Nauka, 1971. – 236 p.