

*На правах рукописи*

*Охлопков*

**ОХЛОПКОВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМАТЫВАНИЯ ПРЯЖИ НА  
КОЛЬЦЕВЫХ ПРЯДИЛЬНЫХ МАШИНАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ КОЛЬЦА**

05.19.02 – Технология и первичная обработка  
текстильных материалов и сырья

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

**Иваново - 2015**

Работа выполнена на кафедре технологии и проектирования текстильных изделий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ивановский государственный политехнический университет" (ИВГПУ).

**Научный руководитель:**

**Столяров Анатолий Александрович,**

доктор технических наук, доцент

**Официальные  
оппоненты:**

**Плеханов Алексей Фёдорович,**

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО "Московский государственный университет дизайна и технологии", профессор кафедры прядения

**Жуков Владимир Иванович,**

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО "Костромской государственной технологической университет", заведующий кафедрой механических технологий волокнистых материалов

**Ведущая организация:**

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

Защита состоится "18" февраля 2016 года в 12.30 часов на заседании диссертационного совета Д. 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО "Ивановский государственный политехнический университет" по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. ГШ-235 (корпус Текстильного института).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО "Ивановский государственный политехнический университет": [www.ivgpu.com](http://www.ivgpu.com).

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
д-р техн. наук, профессор



Е.Н. Никифорова

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертационной работы.** В диссертационной работе исследуется процесс наматывания пряжи крутильно-мотальным механизмом с узлом вращающегося прядильного кольца с целью повышения производительности кольцевой прядильной машины и улучшения качества выпускаемой продукции. Вследствие большого интереса к кольцевой прядильной машине у многих производителей пряжи ведётся постоянная работа по усовершенствованию и разработке принципиально новых узлов и механизмов этой машины. Кольцевая машина универсальна, так как применима для выработки пряжи широкого диапазона линейных плотностей из различных видов волокон, разной длины и тонины. Пряжа, выработанная кольцевым способом прядения, имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с пряжей, полученной на пневмомеханических машинах. Она обладает лучшими физико-механическими свойствами, в частности повышенной прочностью, более гладкой поверхностью, себестоимость кольцевой пряжи до сих пор ниже пневмомеханической. Кольцевая прядильная машина более экономична, потребляет 3-5 кВт энергии, в то время как пневмомеханическая машина - 25 кВт. При этом существует ряд факторов, сдерживающих повышение производительности кольцевой прядильной машины. Одним из основных факторов является преждевременное сторание бегунка, вызванного трением о кольцо. Чем выше частота вращения веретён, тем больше трение, тем быстрее наступает момент сторания бегунка. Другой причиной низкой производительности кольцевой прядильной машины, является несовершенство крутильно-мотального устройства, в связи с невозможностью увеличения частоты вращения веретена.

Для решения сложнейшей проблемы связанной с производством качественной пряжи кольцевого способа прядения и ткани, которые могли бы успешно конкурировать с зарубежным производством, необходимо найти решение целого ряда задач, а именно: увеличение производительности оборудования, снижение себестоимости пряжи и ткани при значительном улучшении их качества. Решение этих задач невозможно без научных исследований в области совершенствования крутильно-мотального механизма.

**Степень разработанности темы.** Диссертационная работа выполнена на основе глубокого анализа отечественной и зарубежной научной литературы и патентного поиска. В работе изучены и использованы научные достижения в области кольцевого прядения основоположников текстильной науки, а также современных ученых, таких как: А. П. Минаков, П. Ф. Гришин, К.И. Бадалов, И.И. Мигушов, Ю.В. Павлов, А. А.Столяров, Г.И. Чистобородов и др., которые занимались и продолжают заниматься механикой нити, проблемами оптимизации формирования и наматывания пряжи, являются обладателями патентов на новые устройства. В работе, на основе ранее сделанных научных разработок, предложена новая методика аналитического определения частоты

вращения прядильного кольца, а именно была получена формула определения натяжения нити в зоне "бегунок - паковка", адаптированная под крутильно-мотальное устройство с узлом вращающегося кольца. Разработаны и запатентованы крутильно-мотальные устройства, значительно повышающие эффективность работы кольцевой прядильной машины.

**Цель и задачи диссертационной работы.** Целью работы является повышение производительности кольцевой прядильной машины на основе рационализации технологии процесса наматывания пряжи на патрон.

В ходе исследования необходимо решить следующие задачи:

- проанализированы основные пути совершенствования кольцевой прядильной машины;

- уточнены зависимость важнейших технологических факторов кольцевой прядильной машины, определяющих ее производительность;

- на основании исследования операции наматывания пряжи на кольцевой прядильной машине с классическим крутильно-мотальным устройством доказано, что основным сдерживающим фактором повышения производительности кольцевой прядильной машины, является несовершенство крутильно-мотальной пары "кольцо - бегунок";

- разработано новое крутильно-мотальное устройство с улучшенными конструктивными особенностями, а также его привод, обладающий простотой изготовления;

- определено аналитически и доказано экспериментально, что разработанная конструкция крутильно-мотального устройства улучшает условия работы пары «кольцо-бегунок».

**Научная новизна работы.** Научная новизна диссертационного исследования состоит в создании технологических и технических разработок, направленных на повышение производительности труда и оборудования на основе совершенствования технологической операции наматывания пряжи в результате замены крутильно-мотальной пары «кольцо-бегунок» - крутильно-мотальным механизмом с узлом вращающегося прядильного кольца. Получены следующие основные результаты:

- разработан метод исследования работы крутильно-мотальных механизмов, позволивший по заданным свойствам вырабатываемой пряжи определять его оптимальные параметры, а именно адаптирована формула определения натяжения В.П.Щербакова под крутильно-мотальное устройство с узлом вращающегося прядильного кольца;

- получен способ расчета физических характеристик крутильно-мотальных устройств с узлом вращающегося прядильного кольца, таких как: расход воздуха, давление, которое нужно создать для вращения прядильного кольца;

- определены конструктивные параметры крутильно-мотального механизма с узлом вращающегося прядильного кольца, обеспечивающие оптимальные условия для осуществления технологического процесса

формирования и наматывания пряжи и позволяющие добиться повышения производительности прядильной машины на 15-20%.

Разработанные в диссертационном исследовании технические решения защищены патентами РФ.

**Теоретическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты дополняют общую теорию формирования и наматывания пряжи на кольцевых прядильных машинах. Разработанные научные положения, позволяют повысить эффективность проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при создании новых модификаций крутильно-мотальных устройств и модернизации известных, повысить качественные результаты разработок. Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе в курсе «Прядение натуральных и химических волокон», «Методы и средства исследований», а также при выполнении научно-исследовательских ВКР.

**Практическая значимость работы.** Результатом работы является следующее:

- создано и готово к внедрению в производство новое крутильно-мотальное устройство на основе узла вращающегося прядильного кольца, которое позволяет повысить производительность кольцевой прядильной машины на 15- 20%;
- разработан ряд конструкций крутильно-мотальных устройств, позволяющих более рационально организовать технологическую операцию наматывания пряжи на патрон;
- разработана усиленная конструкция опоры прядильного кольца, способной выдержать повышенный уровень вибрации;
- разработан универсальный привод прядильного кольца.

**Методология и методы исследования.** В работе применялись аналитический, экспериментальный метод исследования, а так же физическое моделирование. Аналитически были выявлены зависимости натяжения нити от различных параметров кольцевой прядильной машины: радиуса прядильного кольца, массы бегунка, радиуса намотки, частоты вращения веретена и т.д., на основании полученных данных, была получена формула, которая устанавливает зависимость натяжения нити в точке наматывания от частоты вращения прядильного кольца. Была изготовлена модель устройства, которая была испытана в лабораторных условиях. Экспериментально доказано, что разработанное крутильно-мотальное устройство с узлом вращающегося прядильного кольца способно повысить производительность кольцевой прядильной машины на 15-20%. Результаты полученные при исследовании нового крутильно-мотального устройства сравнивались с результатами классического устройства и на основе полученных данных, был проведен его анализ.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения и результаты:

- обоснование возможности высокоскоростного кольцевого прядения;
- уточнение зависимости натяжения нити от радиуса кольца, массы бегунка, линейной плотности пряжи, диаметра намотки на початок;
- новая методика аналитического определения величины натяжения нити в точке наматывания для крутильно-мотальных устройств с вращающимся прядильным кольцом;
- разработка крутильно-мотального устройства с узлом вращающегося прядильного кольца, которое позволяет значительно увеличить частоту вращения веретен, тем самым повысить производительность кольцевой прядильной машины;
- получение пряжи с физико-механическими свойствами, которые не уступают по показателям свойств пряжи, выработанной с использованием классического крутильно-мотального устройства.

**Степень достоверности научных результатов.** Изложенные в диссертационной работе положения, выводы и рекомендации являются достоверными, так как получены на основе теоретических и экспериментальных исследований. Выводы по результатам работы подтверждены производственными испытаниями, актом о проведении научно-исследовательской работы и техническим актом внедрения устройства. Новые разработанные устройства запатентованы. Аналитическое и экспериментальные исследования, а также лабораторные и производственные испытания были произведены в соответствии с государственными стандартами.

**Апробация работы.** Научные положения диссертации докладывались и получили одобрительную оценку на заседании кафедры технологии и проектирования текстильных изделий ИВГПУ, научно-технических конференциях ИВГПУ (ранее - ИГТА: ФГБОУ ВПО "Ивановская государственная текстильная академия"), КГТУ, МГУДТ, СПГУТД.

**Публикации.** Результаты выполненных исследований представлены в 18 печатных работах, в том числе в 3 статьях в журнале "Известия вузов. Технология текстильной промышленности" и 11 тезисах докладов научно-технических конференций. По итогам работы автором получены 4 патента на полезные модели Российской Федерации.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав с выводами, общих выводов, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 123 страницах машинописного текста, имеет 34 рисунка, 22 таблицы, список литературы включает 81 источник.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** определена актуальность темы диссертации, ее научная новизна и практическая значимость. Определена цель и поставлены задачи, решаемые в ходе исследования.

**В первой главе** исследованы особенности современных кольцевых

пряделных машин, выявлены основные факторы, влияющие на уровень её производительности, приведены основные положения теории баллонирования нити на кольцевой прядельной машине, определены основные направления совершенствования кольцевой прядельной машины и проанализированы известные научные разработки крутильно-мотального устройства. В результате анализа научных достижений в области кольцевого прядения, аналитического и экспериментального исследований отечественных и зарубежных научных разработок были поставлены следующие задачи:

1. Определить направление совершенствования кольцевой прядельной машины.
2. Разработать новое крутильно-мотальное устройство с улучшенными условиями работы пары «кольцо-бегунок».
3. Усовершенствовать методику определения натяжения нити в исследуемой зоне с учетом разработанного узла крутильно-мотального устройства.
4. Доказать экспериментально в лабораторных и производственных условиях, что новая конструкция крутильно-мотального устройства обеспечивает значительное повышение производительность прядельной машины.
5. Определить экономическую эффективность от внедрения новой конструкции крутильно-мотального устройства.

**Вторая глава** посвящена аналитическому исследованию зависимости натяжения нити в зоне "бегунок - паковка" от радиуса намотки, массы бегунка, и других факторов, влияющих на уровень производительности кольцевой прядельной машины. Натяжение нити в зоне "бегунок - паковка" имеет разные значения в определенных точках. Расчет натяжения в точке между бегунком и паковкой проводился по методу, который применяли известные ученые, работающие в области механики гибкой нити (П.Ф. Ерченко, В.А.Ворошилов, Ю.В.Павлов, Г.И.Чистобородов, И.И.Мигушов, А.А.Столяров).

На рисунке 1 показано действие сил натяжения на бегунок:

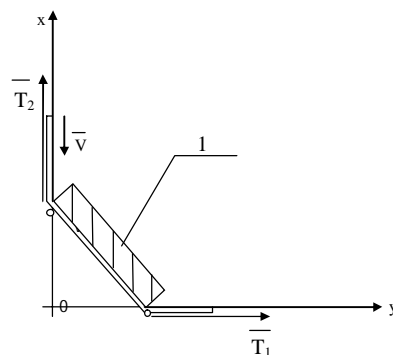


Рисунок 1. Действие сил натяжения на бегунок:  
1 - бегунок.

$$T_1 = \frac{m_b \omega^2 R \mu_{b-k}}{R - \frac{\mu_{b-k}}{(1 + 0,7 \mu_{n-b})^2}} ; \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{T_1}{(1 + 0,7 \mu_{n-b})^2} , \quad (2)$$

где  $T_1$  - натяжение нити в зоне "бегунок - паковка";  
 $T_2$  - вертикальная составляющая натяжения нити в баллоне;  
 $m_b$  - масса бегунка, мг;  
 $\omega^2$  - частота вращения бегунка,  $c^{-1}$ ;  
 $\mu_{b-k}$  - коэффициент трения в зоне "бегунок-кольцо";  
 $R$  - радиус кольца, м;  
 $\mu_{n-b}$  - коэффициент трения в зоне "нить - бегунок";  
 $r$  - радиус намотки, м.

Проведено аналитическое исследование устройства (патент № 2421557 РФ) изображенного на рисунке 2, а именно рассчитаны параметры, необходимые для работоспособности конструкции.

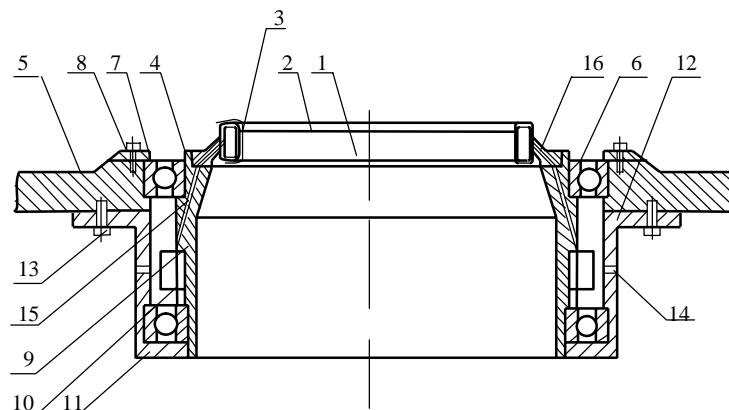


Рисунок 2. Устройство с вращающимся прядильным кольцом

Принцип работы крутильно-мотального устройства заключается в следующем: при пуске машины через отверстия 12 в корпусе 11 подаётся воздух, который, воздействуя на лопатки 9 турбины 8, приводит в движение втулку 4 с кольцом 1. Одновременно воздух по каналам 14 втулки 4 и каналам 13 опоры кольца 1 подаётся в полость кольца 1 и через перфорацию 2 воздействует на расширенные части бегунка, приподнимая и удерживая его во взвешенном состоянии над поверхностью прядильного кольца 1.

Исследование устройства (см. рисунок. 2), было проведено с использованием известных классических формул и законов совместно с учеными Ивановского государственного энергетического университета. Данная методика расчета соответствует заданным начальным условиям, и при этом



используются законы аэродинамики. Для расчета конструкции задались начальными известными параметрами, а именно:  $n$  - предполагаемая частота вращения аэродинамического кольца,  $\text{мин}^{-1}$ :  $n = 10000 \text{ мин}^{-1}$ ;  $R_k$  - радиус кольца, м:  $R_k = 0,025 \text{ м}$ ;  $S_{\text{лопатки}}$  - площадь поверхность одной лопасти кольца,  $\text{м}^2$ :  $S_{\text{лопатки}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;  $P$  - атмосферное давление воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^2$ :  $P = 101325 \text{ Па}$ ;  $\rho$  - плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ :  $\rho = 1,3 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $f$  - площадь отверстия, через которое проходит воздух, для создания воздушной подушки,  $\text{м}^2$ :  $f = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  - в нашем случае берем 10 отверстий;  $m_b$  - масса бегунка, мг:  $m_b = 155 \text{ мг}$ ;  $k$  - коэффициент трения:  $k = 0,21$ .

1. Расчёт давления, которое нужно создать для вращения кольца, и расход воздуха:

По закону Бернулли для стационарного потока идеальной, несжимаемой жидкости:

$$\rho \cdot v_c^2/2 + \rho \cdot g \cdot h + P = \text{const} \quad (3)$$

где  $h$  - высота, на которой находится рассматриваемый элемент жидкости, м;  
 $v_c$  - скорость потока воздуха через 10 отверстий, (м/с);

$P$  - статическое давление в точке пространства, где расположен центр массы рассматриваемого элемента жидкости, Па;

$g$  - ускорение свободного падения, Н.

Разделив на  $\rho$ , получим:

$$P/\rho + v_c^2/2 + g \cdot h = \text{const}; \quad (4)$$

$$P_0 = \rho \cdot v_c^2/2; \quad (5)$$

$$P_0 = 1,3 \cdot 52,3^2/2 = 0,17 \cdot 10^4 \text{ (Па)} = 0,017 \cdot 10^4 \text{ (кг}/\text{м}^2) \approx 0,02 \text{ (атм.)},$$

где  $P$  – нормальное атмосферное давление ( $P = 10000 \text{ Па}$ ), в нашем случае можно не учитывать;

$P_0$  – давление необходимое для вращения кольца  $n = 10000 \text{ мин}^{-1}$ , Па;

$$G = \rho \cdot f \cdot v_c; \quad (6)$$

где  $G$  - расход воздуха, кг/с;

$$G = 10 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 52,3 = 17 \cdot 10^{-3} \text{ (кг/сек)} = 17 \text{ (г/с)}.$$

2. Расчёт давления воздуха при выходе из кольца, за счёт которого должна возникнуть воздушная подушка

Воздушная подушка между бегунком и кольцом, возможна, в случае если будет соблюдаться равенство:

$$s \cdot P_2 = m_b \cdot \omega^2 \cdot R_k = c, \quad (7)$$

где  $s$  – площадь поверхности бегунка, в которую бьёт струя воздуха,  $\text{м}^2$ ;

$P_2$  – давление, которое должно создать воздушную подушку,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\omega^2$  – частота вращения бегунка,  $\text{с}^{-1}$ ;

$c$  – центробежная сила, Н.

На рисунке 3 показано действие сил на каждом участке бортика кольца.

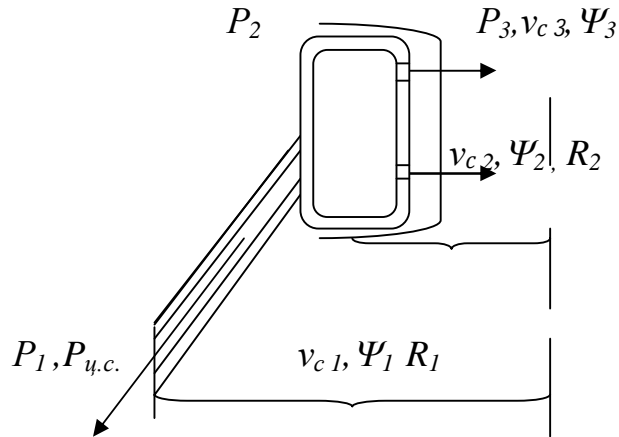


Рис. 3. Действие сил на бортик кольца

Из равенства (7) находим давление воздуха, необходимое для создания воздушной подушки:

$$P = m_6 \cdot \omega^2 \cdot R/S; \quad (8)$$

$$P = 155 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-3} / 40 \cdot 10^{-6} \approx 100000 (\text{Па}) = 10000 (\text{кг/м}^2) = 1 \text{ атм.}$$

Из уравнения Бернулли для нашего случая:

$$P_1 + \rho \cdot v_{c1}^2 / 2 + \Psi_1 \cdot \rho \cdot v_{c1}^2 / 2 - P_{\text{ц.с.}} = P_2 + \rho \cdot v_{c2}^2 / 2, \quad (9)$$

где  $P_{\text{ц.с.}}$  – воздушная центробежная сила, возникающая при вращении кольца внутри отверстия, Н;

$\Psi$  – коэффициент сопротивления в трубе;

$R_1, R_2$  – расстояния от центра кольца до бортика кольца, м;

$v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}$  – скорости воздушного потока через отверстия для каждого участка м/с;  $P_1, P_2, P_3$  – давления на каждом из участков бортика кольца, Па.

Предположим, что  $v_{c1} = v_{c2}$ , тогда:

$$P_1 + \Psi_1 \cdot \rho \cdot v_{c1}^2 / 2 - P_{\text{ц.с.}} = P_2; \quad (10)$$

$$P_2 + \Psi_2 \cdot \rho \cdot v_{c2}^2 / 2 = \Psi_3 \cdot \rho \cdot v_{c3}^2 / 2 + P_3. \quad (11)$$

$P_3$  можно не учитывать т. к. это нормальное атмосферное давление, которое не влияет на процесс. Выражая  $P_{\text{ц.с.}}$ , получаем:

$$P_{\text{ц.с.}} = (\rho \cdot \omega^2 \cdot R_1 - \rho \cdot \omega^2 \cdot R_2) = \rho \cdot \omega^2 \cdot (R_1 - R_2); \quad (12)$$

$$P_{\text{ц.с.}} = 1,3 \cdot 10^6 \cdot (30 \cdot 10^{-3} - 25 \cdot 10^{-3}) \approx 0,2 \text{ атм.}$$

Воздушная центробежная сила рассчитана с учётом сил сопротивления в отверстиях.

$$\Psi = \lambda \cdot l/d, \quad (13)$$

где  $\lambda$  - коэффициент состояния отверстия;  
 $l$  – длина отверстия, м;  $d$  - диаметр отверстия, м.

Из расчётов видно, что воздушная центробежная сила  $P_{ц.с.}(0,2 \text{ атм.})$  больше, чем созданное давление  $P_0$  (0,02 атм.) для вращения кольца, следовательно, нужно подобрать такие параметры кольца, которые должны удовлетворять неравенству (14), в этом случае можно увеличить мощность компрессора, диаметр отверстий в кольце, суммарную площадь отверстий в бортике кольца или площадь лопаток кольца:

$$P_0 \gg P_{ц.с.} \quad (14)$$

И когда неравенство (14) будет соблюдаться, нужно вести расчёт по равенствам (8, 9), находя давление  $P_1, P_2$  на каждом участке, в качестве проверки используя равенство (9). Аналитическое исследование свойств пряжи и анализ факторов, влияющих на производительность кольцевой прядильной машины, позволили выявить зависимость натяжения нити от радиуса кольца, массы бегунка, линейной плотности пряжи, диаметра намотки на початок, задаваясь некоторыми элементами технической характеристики отечественной кольцевой прядильной машины, необходимых для расчёта основных параметров.

**Третья глава** посвящена анализу разработанного узла вращающегося прядильного кольца крутильно-мотального механизма. На основании полученных результатов исследования влияния различных технологических факторов на работу кольцевой прядильной машины была поставлена задача повышения её производительности путем усовершенствования крутильно-мотального устройства. С этой целью сконструирован ряд крутильно-мотальных устройств, обеспечивающих работу оборудования при повышенных частотах вращения веретён за счёт применения вращающихся прядильных колец (патент № 128619; патент № 129934; патент № 115783; патент № 103809). На основе исследования различных вариантов крутильно-мотальных устройств изготовлен узел вращающегося кольца прядильной машины (пат. № 129934) (рисунок 4), в котором прядильное кольцо приводится во вращение за счет подачи воздушной струи. Устройство работает следующим образом: вращение кольца 1 на втулке 2, снизу выполненной в виде турбины с лопатками 3, производится за счет подачи воздуха от компрессора 13 по шлангу 14 в отверстие 7 крышки 6 на лопатки 3 втулки 2. Компрессор 13 подключен к генератору тока 10, который вырабатывает электрический ток благодаря ременной передаче 11 - 12 от фланца 8 веретена 9 к шкиву генератора 10. Втулка 2 крепится на кольцевой планке 4 при помощи подшипника 5.

Для приведения в движение прядильного кольца на лопатки от компрессора подаётся струя сжатого воздуха. Для обеспечения энергосберегающего режима работы оборудования в конструкции

предусмотрен генератор постоянного тока, сопряженный со шкивом веретена через ременную передачу. Генератор, вырабатывая электроэнергию от вращения веретён, аккумулирует её в батарее и снабжает электроэнергией компрессор, производящий сжатый воздух. Из расчётов конструкции крутильно-мотального устройства определена мощность генератора, необходимого для обеспечения работоспособности компрессора, и подобран аккумулятор.

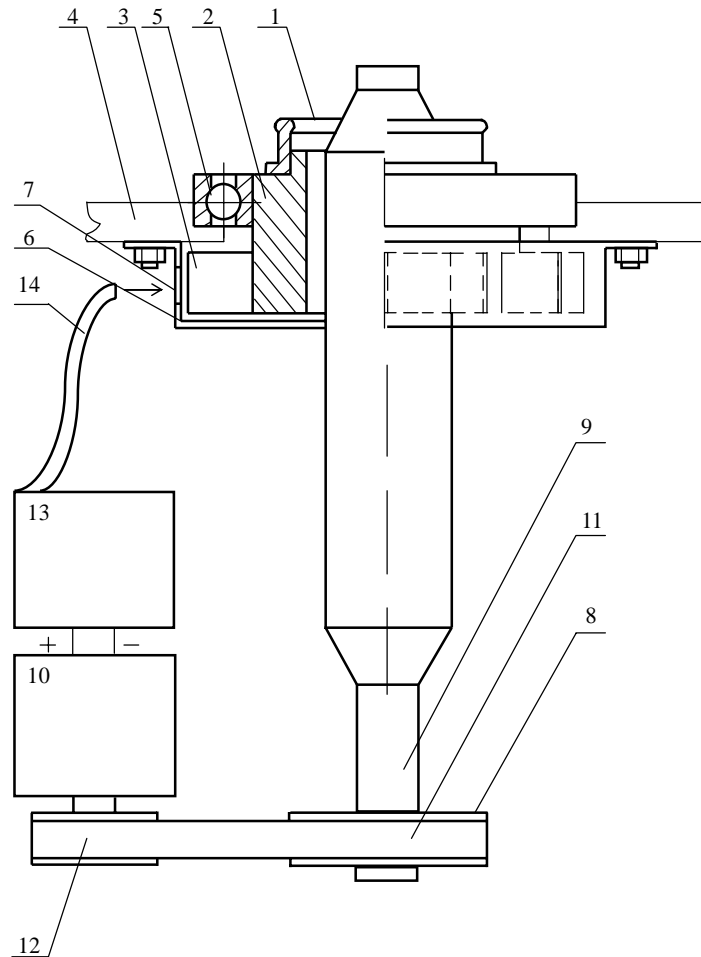


Рис. 4. Схема узла вращающегося  
прядильного кольца

Так, например, если частота вращения веретена прядильной машины достигает  $10000 - 15000 \text{ мин}^{-1}$ , то подбирается генератор мощностью, примерно равной 1000 Вт, с учетом коэффициента при запуске (коэффициент равен 3), исходя из частоты вращения ротора генератора, что будет достаточно для среднего компрессора мощностью 120 - 800 Вт, который перекачивает воздух со скоростью 30 – 120 л/мин. В третьей главе представлена разработанная методика аналитического исследования натяжения нити в зоне "бегунок - паковка" крутильно-мотального устройства с узлом вращающегося прядильного кольца. Рассчитано и экспериментально определено натяжение

нити, при котором соблюдаются законы наматывания и формирования пряжи. В ходе аналитического исследования крутильно-мотального устройства с вращающимся прядильным кольцом получено и впервые применено математическое выражение определения натяжения нити в точке наматывания:

$$T_1 = \frac{m_6(0,1(n_B - n_K))^2 R \mu_{6-K}}{\frac{r}{R} - \frac{\mu_{6-K}}{(1 + 0,7\mu_{H-6})^2}}, \quad (15)$$

где  $m_6$  - масса бегунка, мг;

$R$  - радиус кольца, м;

$\mu_{6-K}$  - коэффициент трения "бегунок - кольцо";

$\mu_{H-6}$  - коэффициент трения "нить - бегунок";

$r$  - радиус намотки, м;

$n_K$  - частота вращения прядильного кольца устройства,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_B$  - частота вращения веретена,  $\text{мин}^{-1}$ .

Из равенства (15) следует, что натяжение нити зависит от разности  $n_B - n_K$  и справедливо для прямолинейного участка натяжения в зоне "бегунок - паковка" как при использовании вращающегося прядильного кольца, так и при фиксированном кольце. Важнейшей задачей аналитического исследования работы нового крутильно-мотального устройства явилось определение частоты вращения веретён и частоты вращения прядильных колец, при которых натяжение нити в зоне "бегунок - паковка" оптимально для процесса наматывания пряжи с минимальной обрывностью. Исследования условий работы кольцевой прядильной машины П-66-5М показали, что натяжение нити в точке касания  $T_1$  с бегунком, между бегунком и паковкой с фиксированным прядильным кольцом резко уменьшается при увеличении радиуса намотки. Это и приводит к повышенному уровню обрывности пряжи. Поэтому с целью снижения колебания натяжения нити в течение всего цикла наматывания пряжи на патрон разработано крутильно-мотальное устройство с узлом вращающегося прядильного кольца. Разность между частотами вращения веретена и вращающегося прядильного кольца  $n_B - n_K$  получена на основании выражения (16):

$$n_B - n_K = 10 \sqrt{\frac{T_1 \left( \frac{r}{R} - \frac{\mu_{6-K}}{(1 + 0,7 \cdot \mu_{H-6})^2} \right)}{m_6 \cdot R \cdot \mu_{6-K}}}. \quad (16)$$

В результате аналитического исследования работы отечественной прядильной машины П-66-5М установлено, что для пряжи линейной плотности  $T=34$  текс, при частоте вращения веретён  $n=12500 \text{ мин}^{-1}$  средняя частота вращения прядильного кольца составляет  $n_K=3565 \text{ мин}^{-1}$ . Для сравнения был произведен расчет частоты вращения прядильного кольца для машины FA1520

иностранный производства. В результате установлено, что при частоте вращения веретён  $n=25000 \text{ мин}^{-1}$  средняя частота вращения прядильного кольца составляет  $n_k=6263 \text{ мин}^{-1}$ . В ходе исследования выявлено, что благодаря применению узла вращающегося прядильного кольца достигается снижение величины натяжения нити в зоне "бегунок-паковка", за счет уменьшения силы трения бегунка по кольцу. Из этого следует, что для оптимизации процесса формирования и наматывания пряжи на паковку необходимо установить такую частоту вращения прядильного кольца, при которой натяжение нити, с одной стороны, обеспечивало бы высокий коэффициент запаса прочности вырабатываемой пряжи, а с другой - позволяло бы получать достаточно плотную намотку её на патрон. Методика определения частоты вращения прядильного кольца  $n_k$  для пряжи различных линейных плотностей позволяет повышать частоту вращения веретён  $n_v$  в соответствии со значением  $n_k$ , не нарушая технологического процесса формирования и наматывания пряжи на патрон, что способствует значительному увеличению производительности прядильной машины. В результате аналитического исследования крутильно-мотального устройства с узлом вращающегося прядильного кольца установлены его наиболее рациональные конструктивные размеры, получена формула для определения натяжения нити в точке касания нити с бегунком в зоне "бегунок-паковка".

**Четвертая глава** посвящена производственному и лабораторному исследованию сконструированного крутильно-мотального устройства с вращающимся прядильным кольцом. Экспериментальные исследования технологии формирования и наматывания пряжи при помощи нового крутильно-мотального устройства проводились в производственных условиях ООО "Ветка - Текстиль" (г. Кинешма) на прядильных машинах П - 66 - 5М при выработке хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 15,4 текс. Для исследования технологического процесса баллонирования и наматывания пряжи было применены методика и устройство измерения натяжения нити между бегунком и паковкой, разработанное на кафедре прядения ИГТА (патент №2485226 РФ, МПК<sup>7</sup> D01H13/26. Устройство для измерения натяжения нити между бегунком и паковкой кольцевой прядильной машины/ Столяров А.А.- Оpubл.20.06.13, Бюл.№17). Во время эксперимента создавались условия, соответствующие техническим нормам и требованиям производства. Результаты эксперимента определялись путем анализа процесса выработки пряжи линейной плотности  $T=15,4$  текс на кольцевой прядильной машине П-66-5М: исследовалось поведение нити в баллоне в ходе наблюдения и оценки процесса наматывания, фиксировалась обрывность нити в зоне "бегунок-паковка" в результате наблюдения 480 веретен одной кольцевой прядильной машины с классическим крутильно-мотальным устройством в течение 5 часов при различных частотах вращения веретен ( $7900-12500 \text{ мин}^{-1}$ ). Сначала наблюдение велось за всеми веретенами на прядильной машине с классическим крутильно-мотальным устройством.

С внедрением 10 опытных образцов разработанного устройства с вращающимся прядильным кольцом, результаты наблюдения 480 веретен в течение 5 часов, при частоте вращения веретен  $12500 \text{ мин}^{-1}$ , показали 150 обрывов: 60 обрывов в зоне "бегунок - паковка", 90 обрывов по другим причинам. В расчете за 60 мин: 32 обрыва, 14 обрывов в зоне "бегунок - паковка", 18 - по другим причинам. В результате аналитического исследования был проведен расчет обрывности с учетом внедрения 480 разработанных крутильно-мотальных устройств: 31 обрыв, 13 обрывов в зоне "бегунок - паковка", 18 - по другим причинам.

Сравнительный анализ и лабораторные испытания выработанной пряжи без внедренного устройства вращающегося кольца и полученной пряжи с разработанным устройством крутильно-мотального механизма показали, что физико-механические свойства обоих видов пряжи близки по своим характеристикам.

Определение крутки пряжи после экспериментальных исследований и наблюдений проводилось в лабораторных условиях с помощью прибора КУ - 2 по методу удвоенного кручения. Сравнительный анализ показал, что число кручений на 1 метр пряжи при внедрении устройства и до усовершенствования механизма отличается на 1 - 3,5 % , что является приемлемым показателем для данного вида пряжи.

Разрывная нагрузка, или прочность пряжи на разрыв определялась путем растяжения и обрыва пряжи на разрывной машине. Опыты показали, что отклонение от нормы составляет порядка 1 - 2% в сторону увеличения прочности. Отклонение полученных результатов от нормы ГОСТ составляет не более 5 % по критерию Стьюдента.

Методом спектрального анализа при помощи прибора был проведен сравнительный анализ неровноты пряжи по линейной плотности продуктов до и после усовершенствования крутильно-мотального механизма кольцевой прядильной машины. Испытания показали, что пряжа, которая выработана с новым устройством, имеет более ровную структуру по всей длине вследствие оптимального натяжения нити при вращающемся прядильном кольце.

**В пятой главе** работы рассчитаны основные показатели экономического эффекта от внедрения нового крутильно-мотального устройства в производство, а также годовая прибыль. При оценке результатов получено, что обрывность с новым узлом вращающегося кольца сократилась примерно на 20 - 25 %, что и доказывают расчеты факторного изменения натяжения.

### **Итоги выполненного исследования**

В ходе решения задач, поставленных в диссертационной работе, были получены следующие основные выводы и рекомендации:

1. Установлено, что кольцевая прядильная машина по-прежнему является универсальной, также в ходе анализа подтверждено, что основной причиной

низкой производительности кольцевой прядильной машины является несовершенство крутильно-мотального устройства.

2. Уточнены зависимости натяжения пряжи в процессе наматывания ее на патрон от массы бегунка, диаметра кольца, высоты намотки и радиуса кольца.

3. Разработан ряд крутильно-мотальных устройств (патент №128619; патент №129934; патент №115783; патент №103809), позволяющих повысить производительность кольцевой прядильной машины.

4. Аналитически установлено и экспериментально подтверждено, что применение крутильно-мотального устройства с вращающимся прядильным кольцом позволяет улучшить условия работы пары «кольцо - бегунок» (снижая трение), что дает возможность повысить частоту вращения веретен на 3000 – 5000 мин<sup>-1</sup>.

5. Разработан энергосберегающий привод прядильного кольца. Определено, что вращение прядильного кольца с частотой порядка 1000 - 5000 мин<sup>-1</sup>, осуществляется за счет компрессора при малом расходе воздуха  $G = 2 - 10$  г/с.

6. Уточнены методы и средства теоретического и экспериментального исследований крутильно-мотальных устройств на основе вращающегося прядильного кольца.

7. Определены конкретные конструктивные параметры крутильно-мотального устройства с вращающимся прядильным кольцом.

8. В ходе проведения опытов было выявлено, что новое крутильно-мотальное устройство позволяет уменьшить колебание натяжения нити в зоне "бегунок - паковка" на 10 - 15%, способствуя значительному снижению обрывности пряжи;

9. Установлено, что физико-механические свойства выработанной пряжи не уступают по показателям свойств пряже, выработанной с использованием классического крутильно-мотального устройства.

10. В результате применения методик оценки экономической эффективности было установлено, что разработанное крутильно-мотальное устройство работоспособно и, благодаря снижению обрывности на 15 - 25 % в зоне "бегунок - паковка", может дать годовую прибыль с одной машины с учетом энергопотребления, стоимости разработанного узла вращающегося кольца, обслуживания:  $V_{15}=28300$  руб.,  $V_{25}=66840$  руб.,  $V_{34}=78000$  руб., в зависимости от линейной плотности пряжи.

В данной диссертационной работе были решены все поставленные задачи. По итогам аналитического и экспериментального исследования, разработано новое крутильно-мотальное устройство с узлом вращающегося прядильного кольца, которое приводится во вращение благодаря индивидуальному энергосберегающему приводу, которому нет аналогов в мире, также выведена формула расчета натяжения нити, справедливая для крутильно-мотального устройства с вращающимся прядильным кольцом. Все достижения в работе



позволяют повысить производительность кольцевой прядильной машины за счет ускорения частоты вращения веретен.

**Рекомендации.** Материалы изложенные в данной диссертационной работе рекомендованы к дальнейшим научным исследованиям, лабораторным работам. Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе в курсе «Прядение натуральных и химических волокон», «Методы и средства исследований», а также при выполнении научно-исследовательских работах.

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** В настоящее время актуальность совершенствования кольцевого способа прядения возрастает, поскольку пути повышения производительности пневмомеханической прядильной машины, а также ассортимента выработанной пряжи этим способом практически утрачены. В России парк кольцевых прядильных машин на 80% состоит в основном из устаревшего отечественного оборудования, поэтому существует необходимость замены или усовершенствования его. Устройства и результаты, представленные в диссертации своевременны и в дальнейшем могут быть полезны для применения, а также модифицирования для последующего использования их в научных целях.

### **Основные публикации**

Статьи в журнале "Известия вузов. Технология текстильной промышленности"

1. Охлопков Д.С. Крутильно-мотальное устройство текстильной машины/ Охлопков Д.С, А.А.Столяров// Изв. вузов. Технол. текст. пром - сти.- 2011.- №4. - С.51 - 53. (лично автором 2 с.)

2. Охлопков Д.С. Исследование крутильно-мотального механизма с вращающимся прядильным кольцом / Охлопков Д.С, А.А.Столяров// Изв. вузов. Технол. текст. пром - сти.- 2012.- №6. - С.48 - 49. (лично автором 1 с.)

3. Охлопков Д.С. Новая конструкция крутильно-мотального механизма кольцевой прядильной машины / Охлопков Д.С, А.А.Столяров// Изв. вузов. Технол. текст. пром - сти.- 2013.- №8. - С.55- 58. (лично автором 3 с.)

### **Патенты**

4. Пат. на полезную модель 103809 Российская Федерация, МПК D 01 H7/56. Узел вращающегося кольца прядильной машины / Охлопков Д.С., Столяров А.А. - Опубл. 27.04.2011, Бюл.№12. - 3с.:ил. (лично автором 2 с.)

5. Пат. на полезную модель 115783 Российская Федерация МПК D 01 H 7/56. Узел вращающегося кольца текстильной машины / Столяров А.А., Охлопков Д.С., Столяров Ал. А. - Опубл. 10.05.2012, Бюл.№13. - 3 с. :ил. (лично автором 1 с.)

6. Пат. на полезную модель 129934 Российская Федерация, МПК D 01 H7/56. Устройство вращающегося кольца текстильной машины / Охлопков Д.С., Столяров А.А.- Опубл.10.07.2013, Бюл.№19. - 3 с.:ил. (лично автором 2 с.)

7. Пат. на полезную модель 128619 Российская Федерация, МПК D 01 H7/56. Узел вращающегося кольца прядильной машины / Охлопков Д.С., Столяров А.А. - Опубл. 27.05.2013, Бюл.№15. - 3 с. :ил. (лично автором 2 с.)

### **Материалы научно - технических конференций**

8. Столяров, А.А. Устройство контроля обрыва пряжи на кольцевой прядильной машине / А.А. Столяров, Д.С. Охлопков, Ал.А Столяров// Актуальные проблемы науки и техники в развитии инновационных технологий для экономики региона: материалы междунар. науч. - техн. конф./ КГТУ. - Кострома, 2010. - С.101 -102. (лично автором 0,5 с.)

9. Столяров, А.А. Устройство обнаружения обрыва пряжи на кольцевой прядильной машине / А.А. Столяров, Д.С. Охлопков, Ал.А Столяров// Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения (Технотекстиль - 2010): ДИДУТ (филиал) /УлГТУ.- Димитровград, 2010. - С.5 - 7. (лично автором 1 с.)

10. Охлопков, Д.С. О результатах исследования технологических операций формирования и наматывания пряжи на кольцевых прядильных машинах/ Д.С. Охлопков, А.А.Столяров, // Молодые ученые - развитию текстильной и лёгкой промышленности (Поиск - 2010): сборник материалов межвуз. науч. - техн. конф. аспирантов и студентов/ ИГТА.- Иваново, 2010. - С.12 - 13. (лично автором 1 с.)

11. Столяров, А.А. О выравнивании натяжения нити в баллоне на кольцевой прядильной машине / А.А. Столяров, Д.С. Охлопков, Ал.А.Столяров// Текстиль XXI века: тезисы докладов X Всероссийской научной студенческой конференции/ МГТУ им. А.Н.Косыгина. - М., 2011. - С.32 -33. (лично автором 0,5 с.)

12. Столяров, А.А. Аэродинамическое крутильно-мотальное устройство текстильной машины / А.А. Столяров, Д.С. Охлопков, Алексей Столяров// Текстиль - 2011: тезисы докладов на междунар. науч - техн. конф. - Современные технологии и оборудование текстильной промышленности/ МГТУ им. А.Н.Косыгина. - М.,2011.- С.188 -189. (лично автором 0,5 с.)

13. Охлопков, Д.С. Результаты исследования натяжения нити в зоне бегунок - паковка на кольцевой прядильной машине/ Д.С. Охлопков, А.А. Столяров, Ал.А. Столяров//(Текстиль - 2011): тезисы докладов на междунар. науч - техн. конф. - Современные технологии и оборудование текстильной промышленности/ МГТУ им. А.Н.Косыгина. - М., 2011.- С.22 - 23. (лично автором 1 с.)

14. Охлопков, Д.С. Об исследовании нового устройства крутильно-мотального механизма кольцевой прядильной машины/ Д.С. Охлопков, А.А.Столяров // Молодые учёные - развитию текстильной и лёгкой промышленности (Поиск - 2012): сборник материалов межвуз. науч. - технич.

конф. аспирантов и студентов/ ИГТА. - Иваново, 2012. - Ч. 1. - С.13. (лично автором 0,5с.)

15. Охлопков, Д.С. О результатах исследования натяжения нити в зоне бегунок - паковка на кольцевой прядильной машине / Д.С.Охлопков, А.А.Столяров //Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и лёгкой промышленности (Прогресс - 2012): сборник материалов межвуз. науч. - техн. конф./ ИГТА. - Иваново, 2012. - Ч. 1. - С.15. (лично автором 0,5 с.)

16. Охлопков, Д.С. Разработка нового устройства крутильно-мотального механизма кольцевой прядильной машины / Д.С.Охлопков, А.А.Столяров //Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и лёгкой промышленности (Прогресс - 2012): сборник материалов межвуз. науч. - технич. конф./ ИГТА.- Иваново, 2012. - Ч. 1. - С.23. (лично автором 0,5 с.)

17. Охлопков, Д.С. Об исследовании нового устройства крутильно-мотального механизма кольцевой прядильной машины/ Д.С. Охлопков, А.А.Столяров // Молодые учёные - развитию текстильной и лёгкой промышленности (Поиск - 2013): сборник материалов межвуз. науч. - технич. конф. аспирантов и студентов/ ИВГПУ. - Иваново, 2013. - Ч.1. - С.14. (лично автором 0,5 с.)

18. Охлопков, Д.С. О результатах исследовании нового устройства крутильно-мотального устройства с вращающимся кольцом прядильной машины/ Д.С.Охлопков, А.А.Столяров // Молодые учёные - развитию текстильно- промышленного кластера (Поиск - 2014): сборник материалов межвуз. науч. - технич. конф. аспирантов и студентов/ ИВГПУ. - Иваново, 2014. - Ч. 1. - С.18. (лично автором 0,5 с.)

Подписано в печать 27.11.2015.  
Формат 1/16 60x84. Бумага писчая. Плоская печать.  
Усл.печ.л.1,16.Уч.изд.л.1,11. Тираж 100 экз. Заказ № 3557.

ФГБОУ ВО "Ивановский государственный политехнический университет"  
Издательский центр ДИВТ  
153000 г. Иваново, Шереметевский просп., 21