УДК 677.022.3/.5
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_201

ИЗМЕНЕНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОКОН ПУТЕМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СУЧЕНИЯ*

CHANGING THE FRICTIONAL PROPERTIES OF FIBRES BY INTENSIFYING THE TWISTING PROCESS

С.А. ГОЛАЙДО[1], К.Э. РАЗУМЕЕВ[1], Д.В. СИЧЕВОЙ[2]

S.A. GOLAYDO[1], K.E. RAZUMEEV[1], D.V. SICHEVOY[2]

([1]Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), [2]Российский сельскохозяйственный центр (Россельхозцентр))

([1]The Kosygin State University of Russia, [2]Rassian Agricultural Center)

E-mail: sg1902@yandex.ru; ker2210@yandex.ru; dmitriy.sichevoy@gmail.com

Снижение неровноты пряжи достигается путем создания более однородного по воздействию на волокна поля вытягивания, которое можно регулировать с помощью изменения параметров технологического процесса, конструкции вытяжного прибора, свойств волокон и структуры ровницы. Изменение силы трения между волокнами возможно путем эмульсирования. Разработана технология пенного эмульсирования, направленная на уплотнение аппаратной ровницы для улучшения получаемой из нее пряжи путем интенсификации процесса сучения, которая может достигаться как изменением технологических параметров работы сучильного устройства, так и изменением свойств волокон непосредственно на чесальном аппарате.

Yarn unevenness is reduced by creating a more uniform drafting field, which can be controlled by varying process parameters, drafting device design, fiber properties, and roving structure. Friction between fibers can be altered through emulsification. Foam emulsification technology has been developed to compact rovings to improve the yarn produced by intensifying the twisting process. This can be achieved by varying the process parameters of the twisting device or by altering the fiber properties directly in the carding unit.

Ключевые слова: аппаратная пряжа, неровнота, движение волокон, эмульсирование, фрикционные свойства, напряжение сжатия.

Keywords: machine yarn, unevenness, fiber movement, emulsification, friction properties, and compression stress.

Введение

Современные требования к качеству пряжи диктуют необходимость поиска новых методов управления процессом ее формирования. Одним из ключевых факторов, влияющих на равномерность и прочность пряжи, являются фрикционные свойства волокон [1, 2], определяющие их взаимо-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения государственного задания 1025022600174-0-2.5.6 «Разработка комплекса мероприятий и научное сопровождение производства полного цикла по переработке овечьей шерсти в Российской Федерации с интеграцией компетенций отечественной научно-образовательной школы технологии, дизайна и моды продукции из шерсти».

действие в процессе вытягивания и сучения. Актуальность исследования обусловлена ростом спроса на высококачественную пряжу для технических и бытовых текстильных изделий, необходимостью снижения производственных потерь (обрывность, дефекты), а также ограниченностью традиционных методов регулирования поля вытягивания.

Цель работы заключается в разработке технологии модификации фрикционных свойств волокон для интенсификации сучения и улучшения качества пряжи.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовались шерстяные волокна цигайской породы (58-го качества) и эмульсии на основе ПАВ с концентрацией 5…10%. Методика исследования включает нанесение пенной эмульсии на ленту после основного прочеса чесального аппарата, что обеспечивает равномерное распределение состава между волокнами без контакта с рабочими органами машины.

На этапе исследования обосновано место эмульсионного воздействия – лентообразователь после первого основного прочеса чесального аппарата за пределами зоны наибольшего рыхления. Воздействие эмульсирования в этом месте позволяет вводить эмульсию внутрь ленты, тем самым обеспечивая лучшее ее распределение между волокнами; при этом отсутствует непосредственный контакт эмульсии с рабочими органами машины; две вертикальные решетки, между которыми после нанесения эмульсии транспортируется лента, обеспечивают ее сжатие в поперечном направлении, механическое разрушение пузырьков и пленок пены и распределение жидкости на большем числе волокон. Вследствие такого воздействия возрастает интенсивность уплотнения волокнистой ленточки путем ее ложного кручения в зоне между делительным ремешком и сучильными рукавами ровничной каретки чесального аппарата, а также упрочнение вырабатываемой ровницы.

Прочность ровницы складывается из сил трения и цепкости волокон [3]. При разрыве ровницы составляющие ее волокна скользят друг относительно друга без их разрыва.

Сущность сучения – это ложное кручение между двумя сжимающими продукт поверхностями, движущимися возвратно-поступательно во взаимно противоположных направлениях перпендикулярно оси продукта [4].

Процесс сучения осуществлялся с использованием сучильных рукавов с рифленой поверхностью для увеличения коэффициента трения ($\eta = 0{,}9$).

В процессе технологической операции полоски ватки после выхода с ремешков поступают в межрукавное пространство сучильного аппарата. Вследствие превышения толщины полосок над величиной рабочего зазора происходит их радиальное сжатие поверхностями рукавов, что приводит к возникновению значительных сил трения в зонах контакта. Синхронное поступательное перемещение взаимодействующих рукавов обеспечивает последовательное уплотнение волокнистой массы с последующим формованием ровницы цилиндрической конфигурации, обусловленным встречно-направленным возвратно-поступательным движением рабочих органов [5].

Чем большее число оборотов закатывания получает каждое сечение ровницы, проходя через сучильные рукава, тем выше при прочих равных условиях окажется плотность и, следовательно, прочность ровницы. Упрочнение продукта при сучении достигается за счет увеличения контактов между волокнами. По эффекту уплотняющего действия сучение слабее действительного кручения, осуществляемого веретеном. При сучении нарушается первоначальная параллелизация волокон в большей мере, чем при ложном кручении [6, 7].

Радиальные сжимающие усилия, возникающие между сучильными рукавами, оказывают продолжительное распределенное воздействие на всю поверхность обрабатываемого материала. Благодаря поперечному перемещению рукавов происходит последовательное всестороннее обжатие продукта, включая участки с уменьшенной толщиной, что способствует стабилизации новой ориентации волокон в ровнице.

При поступательном движении рукавов и минимальном осевом натяжении материала протяженность зоны контактного сжатия соответствует рабочей ширине рукава. Данный фактор обуславливает значительное повышение плотности продукта, а низкое осевое натяжение минимизирует крутильную жесткость и исключает межрукавное проскальзывание.

Результаты и обсуждения

Сучильные рукава по аналогии с вьюрком при ложном кручении не индуцируют увеличения жесткости материала. Это обеспечивает более эффективное упрочнение и, что критически важно, формирует интенсивное, равномерное и продолжительное радиальное давление на продукт. В результате достигаемое в процессе сучения повышение плотности и прочности материала существенно превосходит эффект от сопутствующего реверсивного ложного кручения.

В исследовании предложено определять интенсивность сучения ровницы суммарным числом оборотов закатывания продукта вокруг собственной оси при прохождении им сучильных рукавов. Теоретическую интенсивность сучения можно определить по формуле:

$$K = 4enb/(\pi m\upsilon), \quad (1)$$

где e – эксцентриситет эксцентрика; n – частота вращения эксцентрикового вала в минуту; b – ширина рабочей зоны, мм; m – разводка между сучильными рукавами; υ – скорость поступательного движения ровницы, м/мин.

Фактическая интенсивность сучения меньше теоретической, так как между ровницей и рукавами имеется проскальзывание. С учетом проскальзывания фактическая интенсивность будет определена по формуле:

$$K_Ф = K\eta = 4enb\eta/(\pi m\upsilon) = 1{,}27\, enb\eta/(m\upsilon), \quad (2)$$

где η – коэффициент, учитывающий скольжение между рукавами (обычно η принимают равным 0,9).

Для увеличения коэффициента η на поверхности рукавов предусмотрены рифли, что способствует повышению трения между рукавами и ровницей.

Анализ формулы (2) показывает, что интенсивность процесса сучения зависит в основном от технологического режима работы чесального аппарата, но данная формула не учитывает структуру продукта и свойства волокон.

Плотность продукта в процессе сучения определяется не только прямым механическим воздействием сучильных рукавов, но и структурно-механическими характеристиками волокон, такими как чешуйчатость и гибкость. Чешуйчатость, являющаяся морфологической особенностью шерстяных волокон, оказывает непосредственное влияние на величину сил трения, генерируемых при кручении.

Гибкость и степень распрямленности волокон существенно влияют на эффективность уплотнения ровницы: менее жесткие волокна при деформации демонстрируют меньшую тенденцию к восстановлению исходной конфигурации, что способствует увеличению числа межволоконных контактов и, как следствие, более интенсивному уплотнению [8].

Применение эмульсирования на определенных этапах технологического процесса позволяет:

- повысить гибкость волокон,
- модифицировать их фрикционные свойства,
- интенсифицировать уплотнение продукта за счет оптимизации сучения,
- скорректировать распределение сил трения в вытяжном приборе,
- минимизировать неровноту, обусловленную вытягиванием [9].

Таким образом, управление указанными параметрами волокон позволяет оптимизировать процесс сучения и улучшить качественные показатели конечного продукта.

Способы изменения свойств волокон в аппаратном прядении представлены пароэмульсионным воздействием на клочки смеси после щипально-замасливающей машины, увлажнением ленты и доувлажнением ровницы на ровничной каретке [10].

Первый из названных способов обеспечивает наилучшие из известных методов

условия для проникновения влаги и жира в волокно, так как нанесение эмульсии осуществляется в замкнутом пространстве (трубопроводе) с помощью пара. Вместе с тем известно, что минимальная обрывность волокон в процессе чесания имеет место при влажности 25%, что не достигается этим способом в силу естественной по процессу десорбции волокон. Этому способствует разрыв во времени между моментами пароэмульсирования и чесания смеси; интенсивное обезвоживание волокон в процессе чесания в результате действия высокоскоростных потоков воздуха вблизи поверхности волокон [10].

В предшествующих технологических решениях увлажнение волоконного полуфабриката на чесальном аппарате осуществлялось посредством форсуночной системы. Данный метод, хотя и обеспечивал повышение влагосодержания волокон, обладал существенными технологическими ограничениями, обусловленными отсутствием автоматизированных средств управления, но это приводило к нарушению синхронизации между остановом оборудования и подачей водной среды на обрабатываемый материал. Конструктивное расположение распыляющей форсунки в надрешеточном пространстве лентообразователя дополнительно осложняло эксплуатационное обслуживание системы.

Альтернативный технологический подход предусматривал увлажнение сучильных рукавов ровничной каретки и демонстрировал определенные технические преимущества. Однако его практическая реализация оказалась ограниченной вследствие несовершенства применяемых технических решений. В частности, наблюдалось изменение капиллярных характеристик фитильных элементов, ответственных за транспортировку водной фазы от питающего резервуара к зоне контактного взаимодействия с обрабатываемой поверхностью сучильного рукава.

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующие технические требования к конструкции устройства для модификации свойств волокнистого полуфабриката:

- место установки – на чесальном аппарате за пределами зоны наибольшего рыхления, по возможности ближе к ровничной каретке;
- использование эмульсий, имеющих большие возможности для модификации свойств волокон по сравнению с доувлажнением;
- повышенная надежность способа, исключающего нежелательную утечку эмульсии при останове аппарата;
- доступность установки для обслуживания.

В связи с этими требованиями перспективным является метод пенного эмульсирования. Устройства для пенного эмульсирования [11] легко адаптируются к машинам разных конструкций, позволяют наносить эмульсии или воду с незначительными количествами пенообразующих веществ.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сказать, что дополнительное эмульсирование положительно сказывается на свойствах волокнистого продукта – уменьшается обрывность, волокно становится более эластичным, гибким.

Благоприятное воздействие эмульсия оказывает также и при взаимодействии волокна с рабочими частями машины – уменьшается обрывность, электризуемость волокон. Согласно результатам исследований можно предположить, что применение эмульсии благоприятно скажется на протекании технологических процессов производства, сократит время выработки ровницы, увеличит производительность труда и оборудования.

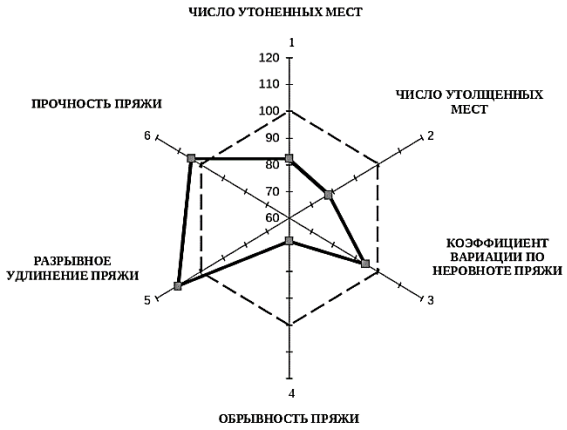

Рис. 1

При производственной апробации и испытаниях пряжи, обработанной по технологии пенного эмульсирования, установлено снижение неровноты пряжи на 5,9 %, обрывности пряжи на 25 %, количества утоненных мест на 17,6 %, количества утолщенных мест на 22,6 %, повышение прочности пряжи на 9,4 %, относительного разрывного удлинения пряжи на 3,8 % (рис. 1).

Таким образом, разработанная технология пенного эмульсирования соответствует цели и задаче исследования: уплотнение аппаратной ровницы для улучшения получаемой из нее пряжи путем интенсификации процесса сучения, которая может достигаться как изменением технологических параметров работы сучильного устройства, так и изменением свойств волокон непосредственно на чесальном аппарате.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Olabisi A., Kirwan K., Tuersley Ia., Coles S.* (2023). Comparative assessment of the performance of friction materials based on different agricultural wastes // Tribology International. 191. 109130. – DOI 10.1016/j.triboint.2023.109130.

2. *Zhou Q., Wang W., Zhang Y. etc.* Analyzing the thermal and hygral behavior of wool and its impact on fabric dimensional stability for wool processing and garment manufacturing // Textile Research Journal. 2020. V. 90. № 19-20. pp. 2175...2183.

3. *Малютина И.А., Коган А.Г., Рыклин Д.Б.* Получение полипропиленовой и смесовой пряжи с использованием полипропиленовых волокон по аппаратной системе прядения // Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства. Витебск: ВГТУ, 2003. С. 189…194.

4. *Liu X., Su X., Song J.* (2019). Research on yarn qualities modified by mechanical false-twisting device // The Journal of The Textile Institute, 111(4). pp. 529…539. – https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1649581

5. *Разумеев К.Э., Федорова Н.Е., Голайдо С.А.* Дополнительное эмульсирование как возможность снижения неровноты пряжи // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3(399). С. 120…123.

6. *Махкамова Ш.Ф., Темиров Ш.И.У.* Исследование влияния механизма ложного кручения на процесс формирования кольцевой пряжи // Universum: технические науки. 2022. № 4-6(97). С. 40…43.

7. *Балясов П.Д.* Сжатие текстильных волокон в массе и технология текстильного производства. М.: Легкая индустрия, 1975. 176 с.

8. *Капитанов А.Ф.* Фрикционные процессы в прядении. Ч. 1: Прядение и трибология. М., 2005. 293 с.

9. *Midolo G., Zoppo M., Durante M. etc.* (2025) Assessing the mechanical properties of low-quality sheep wool yarn // Construction and Building Materials. Vol. 475. 141220. – ISSN 0950-0618. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2025.141220.

10. *Федорова Н.Е., Разумеева К.Э., Голайдо С.А.* Исследования моделей контактирования волокон // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2023. Т. 64, № 6. С. 31…34.

11. Пат. 19288 U1 Российская Федерация, МПК D01B 9/00. Устройство для эмульсирования волокнистого продукта на текстильной машине.

REFERENCES

1. *Olabisi A., Kirwan K., Tuersley Ia., Coles S.* (2023). Comparative assessment of the performance of friction materials based on different agricultural wastes // Tribology International. 191. 109130. – DOI 10.1016/j.triboint.2023.109130.

2. *Zhou Q., Wang W., Zhang Y. etc.* Analyzing the thermal and hygral behavior of wool and its impact on fabric dimensional stability for wool processing and garment manufacturing // Textile Research Journal. 2020. V. 90. № 19-20. pp. 2175...2183.

3. *Malyutina I.A., Kogan A.G., Ryklin D.B.* Production of polypropylene and blended yarn using polypropylene fibers using a hardware spinning system // Resource- and energy-saving technologies of industrial production. Vitebsk: Vitebsk State Technological University, 2003, pp. 189…194.

4. *Liu X., Su X., Song J.* (2019). Research on yarn qualities modified by mechanical false-twisting device // The Journal of The Textile Institute, 111(4). pp. 529…539. – https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1649581

5. *Razumeev K.E., Fedorova N.E., Golaido S.A.* Additional emulsion as a possibility to reduce yarn unevenity // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 3(399). P. 120...123.

6. *Makhkamova Sh. F., Temirov Sh.I.U.* Investigation of the effect of the false torsion mechanism on the formation of ring yarn // Universum: technical sciences. 2022. № 4-6(97). P. 40...43.

7. *Balyasov P.D.* Compression of textile fibers in mass and technology of textile production. Moscow: Light Industry Publ., 1975. 176 p.

8. *Kapitanov A.F.* Friction processes in spinning. Part 1: Spinning and tribology. Moscow, 2005. 293 p.

9. *Midolo G., Zoppo M., Durante M. etc.* (2025) Assessing the mechanical properties of low-quality sheep wool yarn // Construction and Building Materials. Vol. 475. 141220. – ISSN 0950-0618. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2025.141220.

10. *Fedorova N.E., Izmaslyeva K.E., Golaido S.A.* Studies of fiber contacting models // Izvestiya vysshikh

uchebnykh zavedeniy. Technology of light industry. 2023. Vol. 64, No. 6, pp. 31...34.

11. Patent 19288 U1, Russian Federation, IPC D01B 9/00. Device for emulsifying a fibrous product on a textile machine.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 09.07.25.