

УДК 677.014.823

О. В. Прохоренко, С. С. Гришанова, А. Г. Коган

Витебский государственный технологический университет
210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДОПОГЛОЩАЕМОСТЬ ЛЬНЯНОЙ РОВНИЦЫ

© О. В. Прохоренко, С. С. Гришанова, А. Г. Коган, 2020

В статье исследовано влияние ультразвукового воздействия на поглощение воды волокнами льняной ровницы при мокром способе прядения. Установлено увеличение водопоглощения льняных волокон при ультразвуковом воздействии в ванне, что свидетельствует об увеличении их впитывающей способности. Чем больше воды поглотит комплексное льняное волокно, тем эффективнее будет происходить его мацерация в процессе вытягивания при воздействии ультразвука на ровницу в корыте в течение короткого промежутка времени. Определены факторы, влияющие на водопоглощение льняного волокна в ровнице (вид обработки волокна, время воздействия ультразвука на волокно, температура в ультразвуковой ванне, мощность воздействия). Установлены рациональные значения этих факторов для используемой ультразвуковой установки. Нарботаны образцы льняной пряжи с использованием ультразвука и без. Установлено улучшение качественных показателей льняной пряжи при использовании ультразвука при ее получении.

Ключевые слова: льняная ровница, ультразвуковое воздействие, водопоглощение.

Введение

Перед льняной отраслью Республики Беларусь остро стоят вопросы повышения качества льнопродукции, что позволило бы сделать ее более конкурентоспособной на внутреннем и внешнем рынках сбыта. Исходя из этого, присутствует необходимость в разработке новых, менее энергоемких и более эффективных технологий производства льняной пряжи мокрым способом.

Одним из главных процессов при мокром способе прядения является утонение ровницы в вытяжном приборе прядильной машины. Поскольку утонение происходит за счет смещения элементарных волокон и их комплексов, для мокрого способа прядения важную роль играет способность льняных волокон к разделению на элементарные в мокром состоянии — мацерационная способность [1]–[2].

Развитие технологий с применением ультразвука и современные исследования в области ультразвуковой кавитации открывают широкие возможности для создания новых и совершенствования существующих технологических процессов, протекающих при использовании ультразвукового излучения в жидких средах.

В работах [3]–[4] также отмечается положительное влияние ультразвука на эффективность обработки лубяных волокон.

При прядении мокрым способом жидкость, поглощаемая льняной ровницей из корыта прядильной машины, ослабляет связи между элементарными льняными волокнами, что способствует процессу дробления комплексов льняных волокон на элементарные волокна в вытяжном приборе прядильной машины. Исходя из этого выдвинута гипотеза, что чем больше жидкости поглощает льняное волокно в ровнице, тем выше вероятность возникновения кавитационных эффектов в водной среде и эффективнее будет происходить процесс мацерации льняных волокон в процессе мокрого прядения.

Ультразвуковая кавитация — физический процесс, возникающий и протекающий в жидких средах и характеризующийся образованием в жидкости каверн — пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью. Кавитационные пузырьки появляются во время полупериодов разрежения и резко захлопываются после перехода в область повышенного давления. Описанный процесс приводит к появлению гидродинамических возмущений и, как следствие, разрушению поверхностей твердых тел, находящихся в кавитирующей жидкости.

Объекты и методы исследования

Цель работы — изучить влияние ультразвукового воздействия на поглощение воды волокнами льняной ровницы с целью интенсификации процесса мацерации льняных волокон в процессе мокрого прядения с помощью эффекта кавитации. Оценить качественные показатели льняной пряжи, полученной с использованием ультразвукового воздействия на льняную ровницу в процессе мокрого прядения.

Для количественного описания процесса поглощения льняной ровницей воды из ванны выбран показатель водопоглощения за единицу времени (P_{θ} , %). Водопоглощение показывает, какую часть первоначальной массы материала составляет масса содержащейся в нем влаги, поглощенной за единицу времени, и рассчитывается по формуле:

$$P_{\theta} = \frac{m_{\theta} - m_0}{m_0} \times 100, \%,$$

где m_{θ} — масса отрезка ровницы после погружения в воду; m_0 — первоначальная масса отрезка ровницы.

Текстильные материалы (в том числе льняное волокно) способны к поглощению различных веществ, находящихся в газообразном, парообразном или жидком состоянии. Как правило, поглощение сопровождается

изменением ряда механических (прочность, жесткость, деформация и др.) и физических (теплозащитные, оптические, электростатические и др.) свойств, размеров и массы материалов.

Льняные волокна относятся к капиллярно-пористым телам, имеющим сложную систему пор и капилляров. Поры в текстильных материалах образуются в результате неплотного расположения макромолекул, микрофибрилл, фибрилл в структуре волокон. Микропористая структура материалов связана прежде всего с особенностями строения текстильных волокон и нитей. В связи с этим поглощение веществ структурой текстильных материалов представляет собой весьма сложный процесс.

При непосредственном соприкосновении волокнистого материала с водой последняя поглощается как путем диффузии ее молекул в полимер, так и путем механического захвата ее частиц структурой материала. В последнем случае существенную роль играют процессы смачивания и капиллярного впитывания.

При полном погружении материала в воду происходит иммерсионное смачивание, в котором участвуют только две фазы — жидкость и твердое тело.

При поглощении влаги волокнами наблюдается увеличение их размеров, особенно поперечника, т. е. происходит набухание волокон. Значительное увеличение поперечных размеров волокон по сравнению с их длиной связано с продольной ориентацией макромолекул фибрилл в структуре волокон. Молекулы воды, проникая вглубь волокна, ослабляют связи между макромолекулами, увеличивают расстояние между ними [5].

Исследования водопоглощаемости льняной ровницы за единицу времени под воздействием ультразвукового излучения проводились в ультразвуковой ванне «Сапфир». Объем рабочей емкости ванны составляет 1,3 литра, ванна оснащена двумя излучателями, работающими с частотой 35 кГц. Генератор ультразвуковых колебаний работает при потребляемой мощности от 0

до 100 Вт. Установка оснащена регулируемым нагревателем работающем в диапазоне 15–70 °С и таймером.

Для изучения изменения массы (водопоглощения) льняной ровницы после погружения в жидкость с ультразвуком и без была использована следующая методика.

Ровницу разрезали на метровые отрезки. Если ровница после химической обработки (мокрая), ее предварительно сушили в сушильной установке при температуре 105–107 °С до стабилизации массы (проверяют каждые 30 минут изменение массы). Далее отрезки ровницы (суровой или беленой) выдерживали в развернутом виде в климатических условиях (относительная влажность воздуха — $(65 \pm 2)\%$, температура воздуха — $(20 \pm 2)\text{°C}$) не менее 24 ч. После этого каждый отрезок ровницы пинцетом клали на электронные весы и определяли массу отрезков ровницы в сухом состоянии.

Для определения массы отрезка ровницы после погружения в ванну с водой необходимы следующие действия. С помощью пинцета каждый отрезок (отдельно) погружают в корзину ванны с водой ультразвуковой установки. Выдерживают в ванне одинаковый промежуток времени без воздействия ультразвука или с ультразвуком. Вынимают пинцетом отрезок, встряхивают три раза и взвешивают. За окончательный результат испытания принимают среднее арифметическое результатов 5-ти определений, вычисленное с погрешностью не более 0,1% и округленное до 1%.

Образцы выдерживали в ванне 30 секунд, так как изначально была поставлена задача увеличить скорость процесса прядения. По традиционной методике определения водопоглощения (по ГОСТ) время выдерживания образца в жидкости 1 мин.

На рисунке 1 представлен показатель водопоглощения волокна суровой и беленой ровницы за 30 секунд погружения в ванну при воздействии ультразвука и без ультразвука.

Как видно из графика на рисунке 1, у суровой и беленой ровницы показатель водопоглощения за 30 се-



Рис. 1. Показатель водопоглощения суровой и беленой ровницы

Fig. 1. Index of water absorption of harsh and bleached rovings

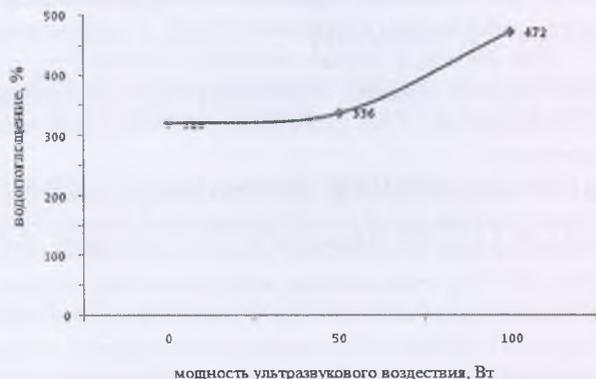


Рис. 2. Зависимость коэффициента водопоглощения льняного волокна в ровнице от мощности воздействия ультразвука в ванне

Fig. 2. Dependence of the water absorption coefficient of flax fiber in the roving on the power of ultrasound in the bath

кунд при воздействии ультразвука больше, чем при его отсутствии. При этом для химически необработанной ровницы водопоглощение выше, чем у белой.

В процессе химической обработки льняных материалов именно пектиновые вещества, цементирующие элементарные волокна, вымываются в первую очередь. Пектиновые вещества гигроскопичны, этим и объясняется высокая гигроскопичность льна [6]. Так как у химически обработанной ровницы из межклеточного пространства волокон практически вымыты гигроскопичные пектины, ее водопоглощение меньше чем у суровой ровницы, что может объяснить результаты, полученные в ходе эксперимента.

Увеличение водопоглощения волокон при ультразвуковом воздействии свидетельствует об увеличении их впитывающей способности. При воздействии ультразвуковой волны в жидкости появляется эффект кавитации. Кавитация обеспечивает максимальное воздействие на твердые тела, погруженные в жидкость, и является одним из основных механизмов интенсификации технологических процессов, протекающих в жидкости. В нашем случае кавитация интенсифицирует процесс мацерации волокон при вытягивании в вытяжном приборе прядильной машины.

Как показали предварительные эксперименты [7]–[8], основными факторами, влияющими на мацерацию льняного волокна при ультразвуковом воздействии, являются время воздействия ультразвука на волокно (время пребывания ровницы в ультразвуковой ванне), температура в ультразвуковой ванне и мощность ультразвукового воздействия.

На рисунках 2–4 приведены графики зависимости водопоглощения льняного волокна в ровнице от данных факторов. Эксперимент проводился с использованием ультразвуковой ванны «Сапфир», куда погружалась суровая льняная ровница.

Исследования водопоглощения льняного волокна в ровнице проводились при отсутствии ультразвука, при 50% мощности и при максимальной мощности ультра-

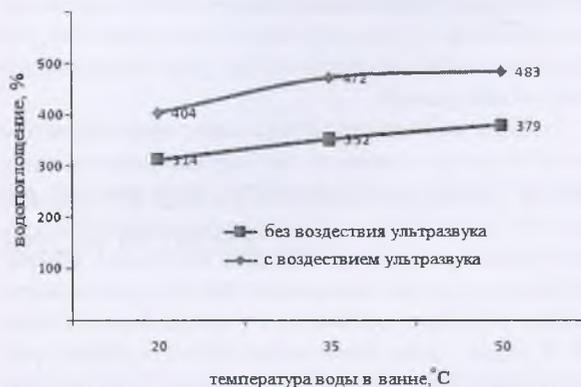


Рис. 3. Зависимость водопоглощения льняного волокна в ровнице от температуры воды в ванне

Fig. 3. Dependence of water absorption of flax fiber in roving on water temperature in the bath

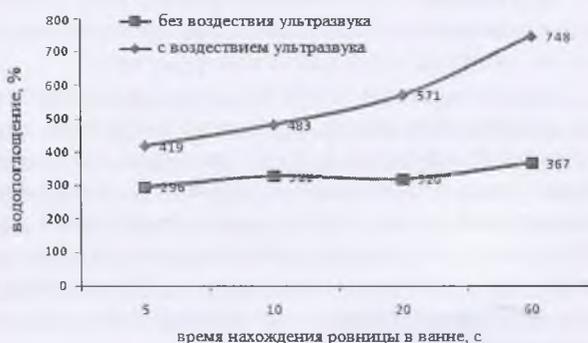


Рис. 4. Зависимость коэффициента водопоглощения льняного волокна в ровнице от времени ее погружения в ультразвуковую ванну

Fig. 4. Dependence of the water absorption coefficient of flax fiber in the roving on the time of its immersion in an ultrasonic bath

звука при температуре воды в ванне 35 °C и времени воздействия 30 сек.

Наибольший показатель водопоглощения льняное волокно имеет при максимальной мощности воздействия ультразвука, т. е. 100 Вт.

Далее эксперименты проводились при максимальной мощности воздействия ультразвука 100 Вт.

Как видно из рисунка 3, водопоглощение льняного волокна в ровнице с увеличением температуры воды в ванне растет, как с применением ультразвука, так и без. С применением ультразвука показатель водопоглощения волокна больше. Разница показателя водопоглощения льняного волокна при 200 °C и 300 °C существенная, а вот при 350 °C и 500 °C незначительная. Температура воды или эмульсии в ультразвуковой ванне (в корыте прядильной машины) не должна превышать 400 °C, так как более высокие температуры запрещены в прядильных цехах по требованиям безопасности труда. Поэтому следующие эксперименты проводились при температуре воды в ультразвуковой ванне 350 °C.

Как видно на рисунке 4, водопоглощение льняного волокна в ровнице с увеличением времени пребывания волокна в ванне растет с применением ультразвука и без. Показатель водопоглощения льняного волокна с применением ультразвукового воздействия выше при прочих равных условиях.

Время пребывания ровницы в корыте прядильной машины, где размещается источник ультразвука, ограничено скоростью протекания технологического процесса на прядильной машине, который может быть отрегулирован скоростью выпуска, но в достаточно узком диапазоне (так как повлияет на производительность). Опытным путем установлено, что предпочтительным интервалом времени является от 35 секунд до 60 секунд.

В таблице 1 представлены рациональные значения факторов, которые влияют на водопоглощение ровницы, а следовательно, и на процесс мацерации волокна при мокром способе прядения для используемой ультразвуковой установки.

Таблица 1. Рациональные значения факторов

Table 1. Rational values of factors

Наименование фактора	Значение фактора
Время воздействия ультразвука на волокно, сек	35
Температура в ультразвуковой ванне, °С	35
Мощность воздействия ультразвука, Вт	100

Наработаны образцы льняной опытной (с ультразвуком с использованием рациональных значений факторов) и базовой (без ультразвука) пряжи 50 текс из беленой ровницы 634 текс и суровой ровницы 667 текс. В таблице 2 представлены физико-механические показатели полученной льняной пряжи 50 текс.

Согласно полученным данным, при воздействии ультразвука на беленую и суровую ровницу в ванне установлена тенденция к увеличению прочности пря-

Таблица 2. Физико-механические показатели полученной льняной пряжи 50 текс

Table 2. Physical and mechanical properties of the obtained linen yarn 50 text

Наименование показателя	Значение показателя			
	Из суровой ровницы 667 текс		Из беленой ровницы 634 текс	
	с УЗ	без УЗ	с УЗ	Без УЗ
Фактическая линейная плотность, текс	49,9	50,9	51,1	52
Коэффициент вариации по линейной плотности на 100 м отрезках, %	1	3,4	3,0	3,8
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	17,9	17,8	19,3	18,2
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	16,4	14,2	13,8	18,1
Удлинение, %	1,5	1,5	1,5	1,5

жи и снижению неровноты по линейной плотности по сравнению с базовыми образцами. Кроме того, в случае воздействия ультразвука на беленую ровницу у полученной льняной пряжи снизилась неровнота по разрывной нагрузке по сравнению с базовым образцом. Разрывное удлинение опытных образцов пряжи, полученных с использованием ультразвука, практически не изменилось по сравнению с базовыми образцами.

Выводы

1. Проведены исследования влияния ультразвукового воздействия на водопоглощение льняного волокна в ровнице за единицу времени при мокром способе прядения. Установлено, что показатель водопоглощения при воздействии ультразвука больше, чем при его отсутствии, причем у химически необработанной ровницы водопоглощение выше, чем у беленой. Чем больше воды поглотит комплексное льняное волокно, тем эффективнее будет происходить его мацерация в процессе вытягивания при воздействии ультразвука на ровницу в корыте в течение короткого промежутка времени.

2. Определены факторы и их интенсивность влияния на водопоглощение льняного волокна в ровнице (вид обработки ровницы, время воздействия ультразвука на волокно в ванне, температура в ультразвуковой ванне, мощность воздействия). Установлены рациональные значения этих факторов для используемой ультразвуковой установки.

3. Установлен положительный эффект от влияния ультразвукового воздействия на ровницу в процессе мокрого прядения, который выражен в снижении показателей неровноты и повышении разрывной нагрузки льняной пряжи.

Список литературы:

1. *Сергеев К. В., Жуков В. И.* К вопросу об ультразвуковом воздействии как факторе интенсификации мацерационной способности волокна при мокром способе прядения льна // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 5 (334). С. 47–49.
2. *Тимова У. Ю., Сергеев К. В., Воеводин П. Н.* Повышение мацерационной способности льняного волокна с помощью ультразвука // Научные труды молодых ученых КГТУ. Кострома. 2010. № 11. С. 32–36.
3. *Renouard S., Hano C., Doussot J., Blondeau J. P., Lainé E.* Characterization of ultrasonic impact on coir, flax and hemp fibers // Materials Letter. August 2014. vol. 129. pp. 137–141.
4. *Brunšek R., Vojnovic B., Butorac J., Ramljak J.* Influence of flax retting on wastewater quality // Book of Proceedings of the 9th International Textile, Clothing & Design Conference — Magic World of Textiles. Dubrovnik. Croatia. 7–10 October 2018. URL: http://www.ttf.unizg.hr/advancetex/PDF/Conferences/04_Brunsek_ITCDC_2018_waste%20water.pdf (дата обращения: 14.02.2020).
5. Швейное производство. Поглощение. URL: <https://msd.com.ua/shvejnoe-proizvodstvo/pogloshhenie> (дата обращения: 14.02.2020).
6. *Кундий С. А.* Разработка энергосберегающих экологически безопасных технологий подготовки льняных мате-

- риалов на основе биопроцессов: диссертация кандидата технических наук, Иваново, 1999. 189 с.
7. Прохоренко О. В., Гришанова С. С., Коган А. Г., Бакова Ю. С. Анализ качества льняной пряжи и возможности его повышения // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2019. № 1 (36). С. 81–90.
 8. Прохоренко О. В., Коган А. Г. Применение ультразвуковой колебательной системы для интенсификации мокрого прядения льна // Материалы докладов 51-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебский государственный технологический университет. Витебск. 2018. С. 303–306.

A. V. Prakharenka, S. S. Hryshanava, A. G. Kogan

Vitebsk State Technological University
210035, Belarus, Vitebsk, Moskovsky Prospekt, 72

The researches of influence of ultrasonic impact on water absorption of flax roving

In the article the influence of ultrasonic effect on absorption of water by fibers of flax roving in the process of wet spinning was investigated. It was found increasing of absorption of flax fibers under ultrasonic impact in the bath, that indicates the increasing of their absorption capacity. The more liquid absorbs the complex flax fiber in the roving, the more effective the process of maceration will be while drawing by ultrasonic impact on the roving in the bath within a short period of time. The factors, which influence the water absorption of flax fibers in the roving were defined (time of ultrasonic impact on fibers, temperature in the ultrasonic bath, power of impact). Rational values of these factors for used ultrasonic installation were defined. The flax yarns with and without ultrasonic impact were made. The improving of quality indexes of flax yarn with the ultrasonic impact was defined.

Keywords: flax ravings, ultrasonic impact, water absorption.

References:

1. Sergeev K. V., Zhukov V. I. On the issue of ultrasonic action as a factor in the intensification of the fiber maceration ability in the wet method of spinning flax. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. [The News of higher educational institutions. Technology of textile industry]. 2011. No. 5 (334). 47–49 pp. (in Rus.).
2. Titova U. Yu., Sergeev K. V., Voevodin P. N. Increasing the maceration ability of flax fiber using ultrasound. *Nauchnyye trudy molodykh uchenykh KGTU*. [Scientific works of young scientists of KSTU]. 2010. No. 11. 32–36 pp. (in Rus.).
3. Renouard S., Hano C., Doussot J., Blondeau J. P., Lainé E. Characterization of ultrasonic impact on coir, flax and hemp fibers. *Materials Letter*. August 2014. vol. 129. 137–141 pp. (in Eng.).
4. Brunsek R., Vojnovic B., Butorac J., Ramljak J. Influence of flax retting on wastewater quality. *Book of Proceedings of the 9th International Textile, Clothing & Design Conference — Magic World of Textiles*. Dubrovnik. Croatia. 7–10 October 2018. URL: http://www.ttf.unizg.hr/advancetex/PDF/Conferences/04_Brunsek_ITCDC_2018_waste%20water.pdf. (date of access: 02/14/2020). (in Eng.).
5. *Shvejnoye proizvodstvo. Pogloshcheniye*. [Sewing production. Absorption]. URL: <https://msd.com.ua/shvejnoe-proizvodstvo/pogloshhenie> (date of access: 02/14/2020). (in Rus.).
6. Kundiy S. A. *Razrabotka energosberegayushchikh ekologicheskikh bezopasnykh tekhnologiy podgotovki l'nyanykh materialov na osnove bioprotsessov*. [Development of energy-saving environmentally friendly technologies for the preparation of linen materials based on bioprocesses]. Dissertation of the candidate of technical sciences. Ivanovo. 1999. 189 p. (in Rus.).
7. Prokhorenko O. V., Grishanova S. S., Kogan A. G., Bakova Yu. S. Analysis of the quality of linen yarn and the possibility of its improvement. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. [Bulletin of the Vitebsk State Technological University]. 2019. No. 1 (36). 81–90 pp. (in Rus.).
8. Prokhorenko O. V., Kogan A. G. The use of an ultrasonic vibrating system for the intensification of wet spinning of flax. *Materiyal dokladov 51-y mezhhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov*. [Materials of reports of the 51st international scientific and technical conference of teachers and students]. Vitebsk State Technological University. Vitebsk. 2018. 303–306 pp. (in Rus.).