

УДК 677.027.43

А. О. Кульнев, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, Н. Н. Ясинская

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 74

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КРАШЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН КАТИОННЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИАПАЗОНА

© А. О. Кульнев, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, Н. Н. Ясинская, 2018

*Проведены экспериментальные исследования влияния ультразвукового (УЗ) излучения частотой 35 кГц на процесс крашения полиакрилонитрильной (ПАН) пряжи катионными красителями, выполнен анализ показателей качества окрашенных образцов: равномерность и устойчивость окраски к физико-химическим воздействиям. Исследован процесс крашения по двум способами: по традиционному и с использованием ультразвуковых колебаний для предварительного озвучивания раствора. Сравнительный анализ результатов окрашивания и степени закрепления красителя показал, что использование УЗ-колебаний для озвучивания красильного раствора позволяет достичь высокой степени фиксации красителя на волокне при сокращении общей продолжительности процесса, не ухудшая качества окраса и устойчивости к физико-химическим воздействиям.*

**Ключевые слова:** крашение, ПАН-пряжа, катионные красители, ультразвук, устойчивость окраски.

### Введение

Крашение — важная стадия отделочного производства, характеризующаяся переходом красящих веществ из внешней среды (раствор, паровая фаза и т. п.) в волокно с последующим прочным закреплением их внутри полимера, что придает окраске устойчивость к различным воздействиям при эксплуатации [1]. Красящими веществами (красителями) являются органические соединения, обладающие способностью интенсивно поглощать энергию электромагнитных излучений в видимой части солнечного спектра. Конечной целью операции крашения является получение окраски с заданной колористической характеристикой (цвет, интенсивность, оттенок) и устойчивостью в условиях эксплуатации.

Крашение полиакрилонитрильной пряжи катионными красителями характеризуется сложными, ступенчатыми температурными режимами, обусловленными сложностью получения ровной окраски. Для получения хороших результатов при крашении необходимо перераспределить катионы красителя из поверхностного слоя внутрь волокна. Этот процесс протекает очень медленно, так как волокно практически не набухает в воде, а плотноупакованная сетка макромолекул полимера малоподвижна и оказывает большое сопротивление движению катионов красителя. Поэтому стадией, лимитирующей скорость процесса крашения, является диффузия красителя внутрь волокна [2]. Одним из способов, позволяющих интенсифицировать процесс крашения синтетических волокон катионными красителями, является применение упругих колебаний, генерируемых в жидкой среде.

Важный эффект в процессах отделки текстильных материалов с использованием ультразвуковых колебаний оказывает кавитация — возникновение в жидкости

пульсирующих пузырьков, заполненных паром. Сложное движение пузырьков, их схлопывание, слияние друг с другом генерирует в жидкости ударные волны, мгновенное значение давления в которых достигает нескольких тысяч атмосфер. Локальное давление такой силы сообщает значительное ускорение взвешенным в жидкости частицам, вызывая локальное нагревание среды и ионизацию. При схлопывании пузырьков может распадаться на большее количество мелких пузырьков, каждый из которых является зародышем для будущего кавитационного пузырька. Пульсирующие несхлопывающиеся пузырьки также оказывают разрушающее воздействие на поверхности раздела жидкости и твердого тела. Эти эффекты оказывают влияние на вещество: разрушают находящиеся в жидкости твердые тела (кавитационная эрозия), возникает перемешивание жидкости [3].

Воздействие акустических течений на процессы заключительной отделки в ультразвуковом поле в основном сводится к ускорению растворения компонентов ванн и их смешиванию. Перемешивание жидкости акустическими течениями по своему характеру принципиально отличается от любых видов механического перемешивания. Вихревые потоки, возникающие вблизи препятствий, разрушают ламинарный слой на границе жидкость–твердое тело, способствуют снятию концентрационных и диффузных ограничений. Акустические и гидродинамические потоки, возникающие на границе жидкость–твердое тело, ускоряют процесс растворения и способствуют перемешиванию компонентов в жидкой среде.

Благодаря ультразвуковому капиллярному эффекту значительно увеличивается глубина и скорость проникновения жидкости в волокно под действием ультразвука. Ультразвуковые колебания оказывают влияние

на процессы впитывания жидкостей и диффузные процессы, определяющие набухание пропитываемого тела. Если режим «озвучивания» обеспечивает проявление ультразвукового капиллярного эффекта, то существенно увеличивается скорость движение фронта жидкости в пропитываемом теле. Увеличивается растворимость газа и возникает дополнительный диффузный поток растворенного газа от зоны с большей его концентрацией (мениска) к зоне с меньшей концентрацией (устью капилляра) [5].

Акустические колебания ультразвукового диапазона, с одной стороны, помогают в разрушении агрегатов красителя и стабилизации дисперсии, с другой — создают местные тепловые эффекты, что приводит к увеличению скорости диффузии красителя внутри волокна [5]. Результаты исследования процесса крашения полиэфирных тканей с применением ультразвуковых колебаний для интенсификации представлены в работе [6]. Показано, что предварительное озвучивание раствора красителя в течение 5–10 мин при интенсивности ультразвуковых 7,5–8,6 Н/см<sup>2</sup> позволяет сократить время крашения в два раза, получить более глубокие и насыщенные оттенки, повысить устойчивость окраски к физико-химическим воздействиям.

Целью работы является исследование процесса крашения полиакрилонитрильных пряжи с применением ультразвуковых колебаний, выбор и рекомендация оптимальных режимов воздействия ультразвука на красильный раствор для достижения наилучших показателей колористических свойств.

**Объекты и методы исследования**

В качестве объекта исследований рассмотрена полиакрилонитрильная пряжа линейной плотности 32х<sup>2</sup> текс производства ОАО «Полесье» Республика Беларусь.

**Таблица 1.** Состав красильной ванны при крашении ПАН пряжи

Наименование	Концентрация, %
<i>Brycryl</i> синий GRL 300%	0,02
<i>Brycryl</i> синий BG 200%	0,20
Уксусная кислота	1
Тубакрил RI	2,20
Зарабид OL	0,50
Киералан NAN	0,10

Для крашения ПАН-пряжи использовались катионные красители *Brycryl* синий GRL 300% и *Brycryl* синий BG 200%. Состав красильной ванны представлен в таблице 1.

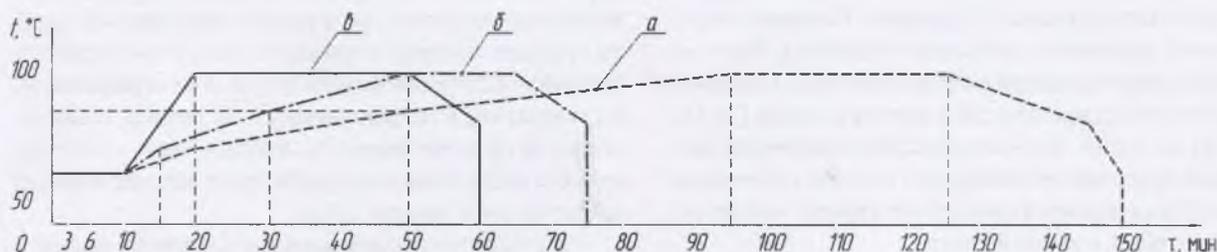
Приготовление красильного раствора (таблица 1) производилось при температуре 60 °С и рН=4,5–4,75. После добавления текстильно-вспомогательных веществ в раствор добавлялась смесь красителей (*Brycryl* синий GRL 300%, *Brycryl* синий BG 200%), при перемешивании в течение 3-х минут. В приготовленный красильный раствор помещался образец пряжи, в течение 10 минут производился нагрев до температуры 70 °С, затем в течение 35 минут нагрев до температуры 85 °С, после чего температура красильного раствора повышалась до температуры 100 °С в течение 45 минут. Крашение осуществлялось при температуре 100 °С в течение 30 минут, после чего красильный раствор остывал 25 минут до температуры 75 °С (рис. 1, а). После крашения образцы промывались в горячей и холодной воде с целью удаления незафиксированного красителя. Общая продолжительность процесса крашения составила 150 мин.

Крашение периодическим (традиционным) способом проводилось по схеме, представленной на рисунке 1 а при модуле ванны 50.

Крашение с применением ультразвука проводилось по схеме, представленной на рисунке 1 (б, в). В красильную ванну помещались испытуемый образец, текстильно-вспомогательные вещества и смесь красителей (таблица 1), после чего происходило озвучивание раствора ультразвуковыми колебаниями частотой 35 кГц и интенсивностью 7,5–8,6 Н/см<sup>2</sup> в течение 10 минут при температуре 60°С рН=4,5–4,75 с последующим нагревом:

— способ УЗ 1 (Рис. 1, б) — в течение 5 минут производился нагрев до температуры 70°С, затем в течение 15 минут производился нагрев до температуры 85°С, после чего красильная ванна разогревалась до температуры 100 °С в течение 20 минут. Температура 100°С выдерживалась 15 минут, после чего красильный раствор остывал 10 минут. Общая продолжительность процесса составила 75 минут;

— способ УЗ 2 (Рис. 1, в) — в течение 10 минут красильная ванна разогревалась до температуры 100°С, при которой выдерживалась 30 минут. После чего красильный раствор остывал 10 минут. Общая продолжительность процесса составила 60 минут.



**Рис. 1.** Схема крашения ПАН-пряжи: а — традиционный способ; б (способ УЗ 1), в (способ УЗ 2) — крашение с применением акустических колебаний ультразвукового диапазона

Визуальная оценка образцов, окрашенных традиционным способом и с использованием ультразвуковых колебаний, показала, что равномерность и насыщенность окраски при использовании предварительно «озвученных» красильных растворов находятся на одинаковом уровне, что и при традиционном способе.

Известно, что при определении устойчивости окраски текстильных материалов к физико-химическим воздействиям проводят обработку окрашенного материала совместно с неокрашенными образцами по ГОСТ 9733 и оценивают степень посветления первоначальной окраски и степень закрашивания белых ф краситель — волокно [7]:

- устойчивость к стиркам согласно ГОСТ 9733.4–83;
- устойчивость к сухому и мокрому трению согласно ГОСТ 9733.27–83.

### Результаты и обсуждения

Результаты оценки устойчивости окраски к физико-механическим воздействиям ПАН-пряжи и режимные параметры крашения озвученным раствором красителя и традиционным способом приведены в таблице 2.

На рисунке 2 представлена диаграмма устойчивости окраски ПАН пряжи, окрашенной в условиях воздействия акустических колебаний ультразвукового диапазона, к физико-механическому воздействию.

Установлено, что крашение ПАН-пряжи катионными красителями с использованием акустических колебаний ультразвукового диапазона обеспечивает устойчивость окраски при сокращении времени до 2-х раз.

### Заключение

В результате исследований процесса крашения ПАН-пряжи катионными красителем установлено, что предварительное озвучивание красильного раствора в условиях ультразвуковых колебаний частотой 35 кГц позволяет сократить продолжительность процесса крашения при сохранении высокой равномерности окраски и устойчивости ее к физико-химическим воздействиям.

Установлено, что предварительное озвучивание красильного раствора с применением ультразвуковых колебаний в течение 10 минут, интенсивностью 7,5–8,6 Вт/см<sup>2</sup> при температуре раствора 60 °С позволяет сократить продолжительность процесса крашения ПАН пряжи катионными красителями в 2 раза по сравнению с традиционным способом. При этом показатели качества окраски образцов после крашения в озвученном красильном растворе находятся на высоком уровне

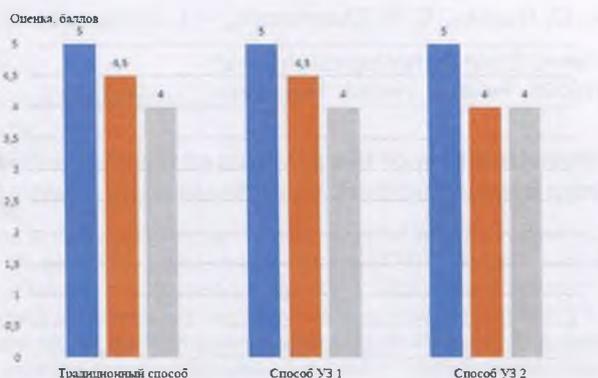


Рис. 2. Устойчивость окраски полиакрилнитрильной пряжи к физико-механическим воздействиям

и соответствуют образцам, окрашенным традиционным способом.

Предложен новый технологический способ крашения полиакрилнитрильной пряжи в условиях воздействия акустических колебаний ультразвукового диапазона, исследовано влияние режимных параметров подготовки красильных растворов с использованием ультразвуковых колебаний и процесса крашения ПАН-пряжи озвученным раствором красителя (предварительное озвучивание красильного раствора в течение 10 минут при мощности ультразвукового излучения 100 Вт, интенсивность 7,5–8,6 Вт/см<sup>2</sup>), температуре раствора 60 °С.

### Список литературы

1. Кричевский Г. Е. Химическая технология текстильных материалов. М., 2000. Т. 2. 540 с.
2. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Свойства и особенности переработки химических волокон. М., 1974.
3. Балашова Т. Д. Краткий курс химической технологии волокнистых материалов. М., 1984. 200 с.
4. Прохоренко П. П., Дежкунов Н. В., Коновалов Г. Е. Ультразвуковой капиллярный эффект. Минск: Наука и техника, 1981. 135 с.
5. Sekar N. Ultrasonic waves in polyester dyeing — and explanatory note // Colourage. 2001. V. 48. Is. 5. P. 49–50.
6. Кульнев А. О. Жерносек С. В., Ясинская Н. Н., Ольшанский В. И., Коган А. Г. Крашение текстильных материалов из полиэфирных волокон с использованием ультразвукового воздействия // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2017. № 1 (32). С. 155–163.
7. Сафонов В. В. Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства. М., 2006. 405 с.

Таблица 2. Устойчивость окраска ПАН пряжи к физико-механическим воздействиям

Способ крашения	Режимы озвучивания		Устойчивость, балл		
	τ, мин	P, Вт	Сухое трение	Мокрое трение	Стирка
Традиционный	—	—	5	4,5	4
Способ УЗ 1	10	100	5	4,5	4
Способ УЗ 2	10	100	5	4	4

**A. O. Kulnev, S. V. Zhernosek, V. I. Alshanski, N. N. Yasinskaya**

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

**Intensification of the process of dyeing textile materials  
from synthetic fibers by cationic dyes in with acoustic oscillations of ultrasound range**

*The authors carried out experimental studies of the effect of ultrasonic radiation at a frequency of 35 kHz on the process of dyeing polyacrylonitrile (PAN) yarn with cationic dyes, analyzing the quality indices of the resulting stains: uniform color and resistance to physicochemical effects. The dyeing process was carried out using two technologies: classical and using ultrasonic vibrations for preliminary sounding of the solution. A comparative analysis of the results of the intensity of staining and the degree of dye fixation showed that the use of ultrasonic vibrations for dyeing a dye solution allows achieving a high degree of dye fixation on the fiber while reducing the total duration of the process, without deteriorating the quality of the color and the resistance to physical and chemical influences.*

**Keywords:** dyeing, PAN-yarn, cationic dyes, ultrasound, color stability.

**References**

1. Krichevsky G. E. Chimucheka etnologicheskij tekstil'nyh materialov. [Chemical technology of textile materials]. Moscow. 2000. V. 2, 540 p. (in Rus.)
2. Kukin G. N., Soloviev A. N. Svoystva i osobennosti pererabotki himicheskikh volokon. [Properties and features of processing of chemical fibers]. Moscow. 1974. (in Rus.)
3. Balashova T. D. Kratkij kurs himicheskij tehnologii voloknistyh materialov. [Short course of chemical technology of fibrous materials]. Moscow. 1984. 200 p. (in Rus.)
4. Prokhorenko P. P., Dezhkunov N. V., Kononov G. E. Ul'trazvukovoj kapilljarnyj effekt. [Ultrasonic capillary effect]. Minsk. Science and Technology Publishing house. 1981. 135 p. (in Rus.)
5. Sekar N. Ultrasonic waves in polyester dyeing — and explanatory note. *Colourage*. 2001 V. 48, Is. 5. 49–50 pp. (in Eng.)
6. Kulnev A. O., Zhernosek S. V., Yasinskaya N. N., Alshanski V. I., Kogan A. G. Dyeing textile materials from polyester fibers using ultrasound. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. [Vestnik of the Vitebsk State Technological University]. 2017, No 1 (32). 155–163 pp. (in Rus.)
7. Safonov, V. V. Intensifikacija himiko-tekstil'nyh processov otdelochnogo proizvodstva. [Intensification of chemical-textile processes of finishing production]. Moscow. 2006. 405 p. (in Rus.)