

Список использованных источников

1. Материалы официального сайта TextileTrend [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www. http://textiletrend.ru/pro-tkani/naturalnyie/lnyanaya](http://www.textiletrend.ru/pro-tkani/naturalnyie/lnyanaya) – Дата доступа : 02.10.2017.
2. Дягилев, А. С. Построение информационной системы для контроля качества длинного трепаного льноволокна / Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 1 (361). – С. 51–54.
3. Дягилев, А. С. Производственный контроль качества длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2015. – № 2. – С. 59–62.
4. Дягилев, А. С. Сравнительный анализ свойств волокон льна масличного и коротких волокон льна-долгунца / Дягилев А.С., Головенко Т.Н., Чурсина Л.А., Коган А.Г., Шовкомуд А.В. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 2. – С. 54–58.
5. Пряжа из лубяных волокон и их смесей с химическими волокнами. ГОСТ 10078-85. – Введ. 26.02.1985. – Москва : Издательство стандартов, 1985. – 27 с.
6. Дягилев, А. С. Производственный контроль качества льняной пряжи / Дягилев А.С., Исаченко В.В., Коган А.Г. // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2016. – № 4. – С. 47–50.

УДК 677.494

**ОЦЕНКА СВОЙСТВ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕГО  
РАСТВОРА ПОЛИАМИДА-6 И ГИАЛУРОНОВОЙ  
КИСЛОТЫ**

*Евтушенко А.В., асп., Рыклин Д.Б., д.т.н., проф.,  
Ясинская Н.Н., к.т.н., доц., Азарченко В.М., маг.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

**Ключевые слова:** электроформование, раствор полимера, поверхностное натяжение, вязкость.

**Реферат.** В работе проведено исследование влияния гиалуроновой кислоты на свойства прядильного раствора высоковязкого гранулята полиамида-6, предназначенного для получения нановолокнистых покрытий методом электроформования. В качестве растворителя использовалась муравьиная кислота. Проанализированы требования, предъявляемые к растворам полимеров для электроформования. Проведены экспериментальные исследования поверхностного натяжения сталагмометрическим методом. При определении динамической вязкости использовали капиллярный вискозиметр. Результаты измерений показали, что добавление в состав волокнообразующего раствора гиалуроновой кислоты не будет препятствовать процессу электроформования нановолокнистых покрытий.

Электроформование волокон – метод получения волокон исключительно с помощью электрических сил. По сравнению с другими методами получения нетканых волокнистых материалов из раствора данный метод отличается сочетанием высокой эффективности, аппаратной простоты, высокой гибкости, позволяющей получать волокнистые материалы с широким диапазоном свойств и размеров единичного волокна – от микро- до нановолокон. Также электроформование волокон полимеров является наиболее производительным процессом производства нановолокон, [1].

Важную роль в процессе электроформования нановолокнистых материалов играют свойства прядильного раствора. Для каждого конкретного вида полимера состав и пропорции раствора оптимизируют. Основным критерием оптимальности раствора является достижение растворения полимера в течение определенного времени без установления слишком жестких требований к процессу подготовки растворов (температура и давление). К важнейшим свойствам, влияющим на процесс электроформования можно отнести поверхностное

натяжение и динамическую вязкость волокнообразующего раствора. Согласно теоретическим предпосылкам, их значения должны находиться в определенных интервалах.

Поверхностное натяжение раствора, обеспечивающее стабильность процесса и образование бездефектных волокон, приблизительно равняется 0,05 Н/м. В большинстве случаев значение данного параметра незначительно отличается для раствора от поверхностного натяжения растворителя. В то же время, возможен дефект, который наблюдается при повышенном значении поверхностного натяжения – так называемый «бисер» или «бусинки».

Не менее важной характеристикой прядильного раствора является его динамическая вязкость. На первой стадии процесса электроформования с точки зрения его энергетики вязкость выступает, как нежелательный фактор, увеличивающий потери энергии на преодоление внутреннего трения в жидкой струе, однако со всех других позиций - это не только положительный, но в ряде случаев существенный и даже решающий фактор для достижения желаемого результата, [2]. Во-первых, увеличенной вязкости соответствует более высокая концентрация полимера и, следовательно, большая весовая производительность процесса. Во-вторых, вязкость гасит капиллярные волны, разрушающие жидкую струю, и повышает ее устойчивость. И, наконец, в третьих, через молекулярные массу и структуру полимера вязкость прядильного раствора связана с его реологическими и прочностными свойствами и способностью противостоять деформационным нагрузкам и кавитации. Динамическая вязкость раствора при нормальных условиях должна находиться в диапазоне от 60 до 7000 мПа·с (чаще всего – от 100 до 3000 мПа·с).

На более ранних этапах исследований была установлена зависимость поверхностного натяжения и динамической вязкости от концентрации раствора полиамида, с увеличением которой оба параметра волокнообразующего полимера возрастают [3]. Поверхностное натяжение 10%-ного раствора ПА-6 –  $36,5 \cdot 10^{-3}$  Н/м, его динамическая вязкость – 122,93 мПа·с.

При проведении исследований использовали 10%-ный раствор полиамида-6 в муравьиной кислоте, в который добавили гиалуроновую кислоту. Подготовка раствора проходила следующим образом: растворяли высоковязкий гранулят полиамида в 85%-ной муравьиной кислоте. Низкомолекулярную гиалуроновую кислоту растворяли в теплой дистиллированной воде, которую на следующем этапе добавляли в формовочный раствор полиамида при тщательном перемешивании до образования однородной гелеобразной субстанции.

Для определения поверхностного натяжения применяют методы капиллярного поднятия, взвешивания или счета капель, наибольшего давления пузырьков, отрыва кольца и ряд других. В данном исследовании применялся сталагмометрический метод, который основан на определении веса капли, отрывающейся под действием силы тяжести от плоской поверхности торцевого среза капилляра. В момент отрыва капли от конца вертикальной трубки вес капли равен силе поверхностного натяжения, которая действует вдоль окружности шейки капли. Сталагмометр представляет собой стеклянную трубку с расширением в средней части заканчивающуюся капилляром, который располагают горизонтально. К верхнему концу трубки подсоединен резиновый шланг с грушей и зажимом. Исследуемую жидкость наливают в стакан, который поднимают так, чтобы конец капилляра погрузился в жидкость. С помощью груши набирают жидкость, избегая попадания пузырьков воздуха. Далее открывают зажим и начинают счет капель. Процесс подсчета завершается, как только объем жидкости между двумя метками сталагмометра истекает.

Экспериментальное исследование поверхностного натяжения раствора полиамида-6 и гиалуроновой кислоты проводилось в течение 5 суток. Измерения повторяли три раза с интервалом в 15 минут. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений поверхностного натяжения раствора

		1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
Количество кап-пель	Проба 1	120	102	99	98	99
	Проба 2	106	98	107	97	97
	Проба 3	88	102	97	102	99
Поверхностное натяжение, Н/м·10 <sup>-3</sup>	Проба 1	34,9	40,5	41,7	42,1	41,7
	Проба 2	39	42,1	38,6	42,6	42,6
	Проба 3	46,9	40,5	42,6	40,5	41,7
	Среднее значение	40,27	41,03	40,97	41,73	42,00

Среднее количество образующихся капель при истечении раствора полиамид-6 – гиалуроновая кислота плотностью  $1,183 \text{ г/см}^3$  оказалось равным 100,73, поверхностное натяжение –  $42 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ . Анализируя полученные результаты, можно отметить, что поверхностное натяжение волокнообразующего раствора незначительно повышается при добавлении гиалуроновой кислоты. Данный показатель не превышает предельно рекомендуемого значения, составляющего  $50 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ , а также он незначительно отличается от коэффициента поверхностного натяжения муравьиной кислоты при нормальных условиях  $37,58 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

Как известно, растворы полимеров отличаются высокой вязкостью, обусловленной силами сцепления между молекулами жидкости. При проведении исследований для определения вязкости использовали метод, основанный на определении времени вытекания некоторого объема жидкости через капилляр, радиус и длина которого известны.

Для определения вязкости растворов при проведении исследований использовался капиллярный вискозиметр. В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований раствора полиамида-6 в муравьиной кислоте и гиалуроновой кислоты.

Таблица 2 – Результаты измерений динамической вязкости раствора

		1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
Время истечения, с	Проба 1	1806	871	1500	1333	1633
	Проба 2	1694	868	1284	1488	1709
	Проба 3	1728	986	1282	1406	1666
Динамическая вязкость, мПа·с	Проба 1	216,28	104,31	179,63	159,63	195,55
	Проба 2	202,86	103,95	153,77	178,20	204,66
	Проба 3	206,93	118,08	153,52	168,38	199,50
	Среднее значение	208,69	108,78	162,30	168,74	199,90

Вязкость раствора существенно снижается в течение суток после его приготовления, а далее стабилизируется. Добавление 2,5 % гиалуроновой кислоты не оказывает существенного влияния на реологические свойства раствора. Среднее значение динамической вязкости увеличилось с 122,93 мПа·с до 169,68 мПа·с, что незначительно в пределах указанных диапазонов для электроформования (от 100 до 3000 мПа·с).

Согласно полученным данным, добавление в состав волокнообразующего раствора гиалуроновой кислоты не будет препятствовать процессу электроформования нановолокнистых покрытий. Смесь полимеров полиамид-6 – гиалуроновая кислота является технологически совместимой и может быть рекомендована для получения волокнистых материалов.

#### Список использованных источников

- Мулярчик В.В. Получение нановолокон из хитозана методом электроформования / В. В. Мулярчик, В. Н. Данишевский, Е. С. Мазовка, Н. Р. Прокопчук, П. Г. Никитенко. // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. – 2014. – № 4. – С. 5–8.
- Матвеев А.Т., Афанасов И.М. (2010), Получение нановолокон методом электроформования, Москва, Московский гос. ун-т им. М.В.Ломоносова, 83 с.
- Рыклин, Д.Б. Исследование раствора полиамида-6 для получения нановолокнистых покрытий методом электроформования / Д.Б. Рыклин, Н.Н. Ясинская, А.В. Евтушенко, Д.Д. Джумагулыев // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2016. – № 1. – С. 90–98.

УДК 677.017

## ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО СВОЙСТВАМ МАТЕРИАЛОВ

*Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Зырина М.А.*

*Костромской государственной университет,  
г. Кострома, Российская Федерация*

Ключевые слова: качество, одежда, материалы, пакеты материалов, свойства.