

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

74940 – индивидуальная подписка

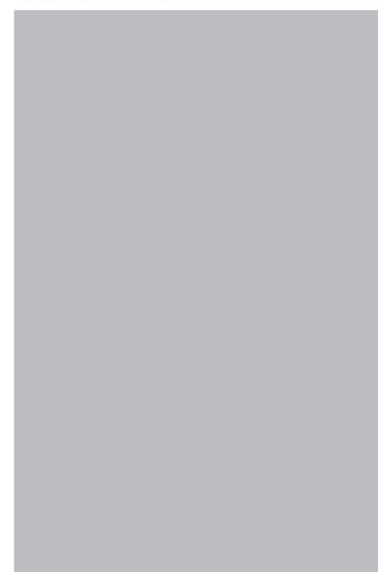
749402 – ведомственная подписка

выпуск 30

ВЕСТНИК



**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**



2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЕСТНИК

**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 1 (30)

ВИТЕБСК 2016

Редакционная коллегия:

Главный редактор – профессор Башметов В.С.

Зам. главного редактора – профессор Ванкевич Е.В.

Ответственный секретарь – профессор Рыклин Д.Б.

Члены редакционной коллегии

Технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения

- Редактор – проф., член-кор. НАН РБ
Рубаник В.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- вед. научн. сотрудник Беляев С.П. (СПбГУ, Российская Федерация)
 - проф. Буркин А.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Вертешев С.М. (ПсковГУ, Российская Федерация)
 - проф. Горбачик В.Е. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - доц. Казарновская Г.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Киосев Й. (Высшая школа Нидеррейна, Германия)
 - проф. Коган А.Г. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Корниенко А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Кузнецов А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Мерсон Д.Л. (НИИТП ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», Российская Федерация)
 - проф. Милашиус Р. (Каунасский технологический университет, Литва)
 - проф. Николаев С.Д. (МГУДТ, Российская Федерация)
 - проф. Ольшанский В.И. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Пятов В.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Садовский В.В. (БГЭУ, Республика Беларусь)
 - проф. Сакевич В.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - научн. сотрудник Салак А.Н. (Университет Авейро, Португалия)
 - проф. Сторожев В.В. (МГУДТ, Российская Федерация)
 - проф. Сункуев Б.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)

Химическая технология и экология

- Редактор – проф. Ковчур С.Г.
(ВГТУ, Республика Беларусь)
- член-кор. Академии инженерных наук Украины
Власенко В.И. (Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина)
 - научн. сотрудник Дутчик В. (Институт по исследованию полимеров, г. Дрезден, Германия)
 - академик НАН РБ Лиштван И.И. (Республика Беларусь)
 - проф., член-кор. НАН РБ Пантелеенко Ф.И. (БНТУ, Республика Беларусь)
 - доц. Платонов А.П. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - доц. Стёпин С.Г. (ВГМУ, Республика Беларусь)
 - доц. Ясинская Н.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)

Экономика

- Редактор – проф. Яшева Г.А.
(ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Богдан Н.И. (БГЭУ, Республика Беларусь)
 - проф. Быков А.А. (БГЭУ, Республика Беларусь)
 - проф. Варшавская Е.Я. (НИУ «Высшая школа экономики», Российская Федерация)
 - доц. Касаева Т.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
 - проф. Коседовский В. (Университет им. Н. Коперника, Республика Польша)
 - проф. Махотаева М.Ю. (ПсковГУ, Российская Федерация)
 - проф. Меньшиков В.В. (Даугавпилсский университет, Латвия)
 - проф. Нехорошева Л.Н. (БГЭУ, Республика Беларусь)
 - доц. Прокофьева Н.Л. (ВГТУ, Республика Беларусь)

Журнал включен в перечень научных изданий Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, в информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования» и базу Index Copernicus International.

Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72,
тел.: 8-0212-47-90-40

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Web-сайт университета: <http://vstu.by/>
Тексты набраны с авторских оригиналов

© УО «Витебский государственный
технологический университет», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения

Башметов В.С. Определение натяжения основных нитей на ткацких станках	7
Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Сравнительный анализ физико-механических свойств длинного трёпаного льноволокна.....	12
Матвеев А.К., Петюль И.А., Медведская Е.В. Разработка конструкции прибора и методики неразрушающего контроля устойчивости окраски кож и готовых изделий к трению	21
Милюшкова Ю.В., Горбачик В.Е. Анализ поперечных сечений стопы и колодки.....	27
Наumenко А.А., Шеремет Е.А., Козловская Л.Г. Моделирование изменения остаточной циклической деформации ниток в режиме периодического растяжения.....	34
Панкевич Д.К. Методика оценки качества водонепроницаемых композиционных слоистых материалов для одежды.....	40
Попок Н.Н., Махаринский Ю.Е., Латушкин Д.Г. Определение параметров граничного алгоритма управления рабочим циклом плоского врезного шлифования.....	49
Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В., Ордов К.В. Имитационная статистическая модель рыхления и очистки волокнистого материала.....	54

Химическая технология и экология

Витязь П.А., Сенють В.Т., Жорник В.И., Парницкий А.М., Гамзелева Т.В. Структурные особенности алмазных порошков после поверхностного модифицирования активаторами спекания	62
Матвейко Н.П., Брайкова А.М., Садовский В.В. Вольтамперометрическое определение тяжелых металлов в жидком туалетном мыле	74
Матвейко Н.П., Брайкова А.М., Бушило К.А., Садовский В.В. Инверсионно-вольтамперометрический контроль содержания тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье и препаратах на его основе	82

Рыклин Д.Б., Ясинская Н.Н., Евтушенко А.В., Джумагулыев Д.Д. Исследование раствора полиамида-6 для получения нановолокнистых покрытий методом электроформования.....	90
Сакевич В.Н., Посканная Е.С. Влияние замасливания волокон безжировым эмульсолом на показатели качества искусственного меха	99
Чепрасова В.И., Залыгина О.С., Марцунь В.Н. Исследование возможности получения пигментов из отработанных электролитов цинкования	105

Экономика

Вайлунова Ю.Г. Институциональные методы стимулирования сетевого взаимодействия субъектов холдинга.....	117
Вардомацкая Е.Ю., Шарстнев В.Л., Алексеева Я.А. Оптимизация маршрута с использованием теории графов в пакетах прикладных программ.....	130
Квасникова В.В., Ермоленко В.А. Оценка эффективности экспортной деятельности организаций по производству кабельно-проводниковой продукции: методика и апробация.....	140
Мартусевич А. А., Бугаев А. В. Методика оценки эффективности денежных потоков в товариществах собственников	152
Минюкович Е.А., Железко Б.А., Синявская О.А. Экономическая информатика: история становления и перспективы развития	165
Прудникова Л.В., Жиганова Т. В. Комплексная методика анализа и оценки инновационно-технологического уровня развития коммерческой организации	173
Яшева Г.А., Костюченко Е.А. Методологические аспекты кластерного подхода к инновационному развитию и повышению конкурентоспособности национальной экономики.....	188

Сведения об авторах.....	209
---------------------------------	-----

Памятка авторам научно-технического журнала «Вестник Витебского государственного технологического университета».....	214
---	-----

CONTENT

Technology and machinery of light industry and machine building

Bashmetau Valery

Determination of the warp threads tension on the weaving loom 7

Dyagilev Andrey, Biziuk Andrei, Kogan Alexander

Comparative analysis of physical and mechanical properties of long scutched flax fiber 12

Matveev Anton, Petjul' Irina, Medvedskaja Ekaterina

Development of the device design and technique of color fastness testing of leather and finished goods to friction 21

Miliushkova Yuliya, Gorbachik Vladimir

Analysis of foot and shoes cross section 27

Naumenko Alexander, Sheremet Elena, Kozlovskaja Lyudmila

Modelling of changes of residual cyclic deformation of threads during periodical tension 34

Pankevich Darya

Methodology of assessing the quality of composite materials containing a membrane layer for waterproof clothing 40

Popok Nikolai, Maharinsky Yury, Latushkin Dmitry

Determination of parameters of boundary algorithm for working cycle control of flat plunge grinding 49

Sevostyanov Petr, Samoylova Tatyana, Monakhov Vladislav, Ordov Konstantin

Simulation statistical model of breaking and cleaning of fibrous material 54

Chemical technology and ecology

Vitiaz Petr, Senjut' Vladimir, Zhornik Viktor, Parnickij Aleksandr, Gamzeleva Tat'jana

Structural features of diamond powder after surface modification by sintering activators 62

Matveiko Nikolay, Braikova Alla, Sadovski Viktor

Voltammetric determination of heavy metals in the liquid toilet soap 74

Matveiko Nikolay, Braikova Alla, Busilo Ksenia, Sadovski Viktor

Stripping voltammetric monitoring of the content of heavy small metals in medical plant raw material and preparations on its basis 82

Ryklin Dzmitry, Yasinskaya Natallia, Yeutushenka Aliaksandr, Dzhumagulyev Dovran

Investigation of polyamide-6 solution for nanofibrous web by electrospinning technique 90

Sakevich Valerij, Poskannaja Ekaterina
Application of oil by fat-free emulsol and its influence on quality score of artificial fur99

Cheprasova Victoria, Zalygina Olga, Martsul Vladimir
Research of the possibility for pigments obtaining from spent zinc electrolytes 105

Economics

Vailunova Yulia
Institutional incentives for promotion of networking cooperation of entities.....117

Vardomatskaja Alena, Sharstniou Uladzimir, Alekseeva Yanina
Route optimization using graph theory in the application package..... 130

Kvasnikova Vera, Yarmolenka Vasili
Evaluation of the efficiency of export business in organizations manufacturing cabling and wiring products: methods and approval..... 140

Martusevich Nastasia, Buhayeu Aliaksandr
Methods of assessment of cash flows efficiency in the condominiums..... 152

Miniukovich Katsiaryna, Zhalezka Boris, Siniauskaya Volha
Economic informatics: history of formation and perspectives of development..... 165

Prudnikava Liudmila, Zhyhanava Tatsiana
Complex methodology for analysis and evaluation of innovative technological level of the commercial organization 173

Yashava Halina, Kostuchenko Elena
Cluster approach as a factor of innovative development of the national economy and increase of competitiveness..... 188

Information about authors..... 209

Reference guide for authors of scientific-technical journal «Vestnik of Vitebsk State Technological University» 214

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРА ПОЛИАМИДА-6 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОВОЛОКНИСТЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

Д.Б. Рыклин, Н.Н. Ясинская, А.В. Евтушенко,
Д.Д. Джумагулыев

УДК 677.494

РЕФЕРАТ

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ, НАНОВОЛОКНО, ПОЛИАМИД, ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ, ВЯЗКОСТЬ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

Цель работы – определение зависимости физико-химических свойств раствора полиамида-6, оказывающих наибольшее влияние на эффективность процесса электроформования, от его состава.

Определен комплекс требований, предъявляемых к растворам полимеров, предназначенным для электроформования. Проведены экспериментальные исследования, в результате которых определено влияние вида гранулята полиамида-6 и его концентрации на поверхностное натяжение, кинематическую и динамическую вязкость, а также электрическую проводимость раствора. В качестве растворителя использовалась муравьиная кислота.

На основании анализа результатов измерения были приготовлены растворы, использованные для электроформования на установке NSLAB. Результаты измерений полученных волоконистых покрытий показали, что исследуемый способ электроформования позволяет получить из предложенных вариантов растворов наноразмерные волокна, так как их толщина при определенных параметрах раствора и процесса формования не превышает 100 нм.

ABSTRACT

ELECTROSPINNING, NANOFIBRE, POLYAMIDE, SURFACE TENSION, VISCOSITY, ELECTRICAL CONDUCTIVITY

The objective of the investigation was determination of influence of composition of the polyamide-6 solution on physical and chemical properties.

The list of the requirements to polymers solutions for electrospinning was defined. As a results of experiments series it was determined the effect of the type polyamide-6 granulate and its concentration on the surface tension, kinematic and dynamic viscosity and electrical conductivity of the solution. The formic acid was used as solvent.

Results of the investigation were used as a base for solution preparing for electrospinning on Nano Spider machine NSLAB (Elmarco). The measurement results obtained fibrous web showed that the analyzed electrospinning technique allows obtaining nanoscale fibers, since the fibres thickness of was less than 100 nm with proper selection of the composition of the solution and the parameters of the molding process.

В настоящее время среди перспективных технологий производства новых видов текстильных материалов в литературных источниках все чаще упоминается способ электроформования нановолокон и создания на их основе нетканых материалов или нановолокнистых покрытий [1 – 4].

Текстильные материалы с нановолокнистыми покрытиями, получаемые методом электроформования из растворов полимеров, находят широ-

кое применение в различных отраслях промышленности. Материалы из волокон субмикронного диаметра используются для высокоэффективной фильтрации высокодисперсных аэрозолей в системах очистки газовоздушных выбросов и средствах защиты органов дыхания, аналитических фильтрах для контроля уровня загрязненности воздуха. Полученные методом электроформования слои из нановолокон включаются в композиционные текстильные материалы но-

вого поколения для обеспечения регулируемой водо- и паропроницаемости, антимикробных и антивирусных барьерных свойств. Производство нановолокнистых материалов из биосовместимых и биodeградируемых полимеров открывает широкие перспективы для их использования в медицинских приложениях при создании перевязочных средств, заменителей тканей, систем контролируемой доставки лекарственных средств и др. Ценные и полезные свойства нановолокнистые покрытия приобретают при наполнении их частицами различных веществ. Такие волокна малоусадочны, имеют пониженную горючесть, повышенную прочность на разрыв и истирание, в зависимости от природы вводимых наночастиц могут приобретать другие защитные свойства, требующиеся человеку: фотокаталитическую активность, УФ-защиту, антимикробные свойства; электропроводность, грязеотталкивающие свойства, фотоокислительную способность в различных химических и биологических условиях.

Целью данной работы являлось определение зависимости физико-химических свойств раствора полиамида-6, оказывающих наибольшее влияние на эффективность процесса электроформования, от его состава.

Известно, что свойства полимерного раствора играют существенную роль в процессе волокнообразования. Состав раствора необходимо оптимизировать для каждого конкретного вида применяемого полимера. Для получения качественного нановолокнистого покрытия к используемым растворам полимеров, а также непосредственно к растворителям предъявляется ряд специфических требований.

Из литературных данных [1, 2] известно, что основными параметрами электроформования, обеспечивающими стабильность процесса и образование бездефектных волокон, являются вязкость, электропроводность и поверхностное натяжение растворов, значения которых, согласно теоретическим предпосылкам, должны находиться в определенных интервалах значений.

Как правило, поверхностное натяжение раствора данного полимера незначительно отличается от поверхностного натяжения растворителя. Чем ниже коэффициент поверхностного натяжения прядильного раствора, тем устойчи-

вее жидкая струя. В литературе отмечается, что приемлемой с этой точки зрения считается величина коэффициента поверхностного натяжения 0,05 Н/м.

Другим важнейшим свойством прядильного раствора является его динамическая вязкость. На первой стадии процесса электроформования с точки зрения его энергетики высокая 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. 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 молекулярную 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).

Рекомендуемый диапазон электрической проводимости растворов – от 0,01 мСм/см до 10 мСм/см. Чем быстрее или интенсивнее требуется проводить деформацию, тем выше должна быть электропроводность прядильного раствора. При увеличении электропроводности раствора уменьшается диаметр нановолокон.

Также при разработке состава раствора необходимо стремиться к максимальной стабильности свойств в течение длительного времени для обеспечения постоянства характеристик нановолокнистых покрытий. В течение времени вязкость раствора может меняться, а также может происходить структурирование полимерных цепочек, деградация полимера или разделение фаз.

В качестве волокнообразующего полимера при проведении исследований было принято решение использовать полиамид-6. Исследованы два варианта гранулята, физико-химические показатели которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели гранулята полиамида-6

Наименование показателя гранулята полиамида-6	Значение показателя	
	Вариант 1. Гранулят для производства композиционных материалов, нити ВCF (низковязкий)	Вариант 2. Гранулят для производства нити технического назначения (высоковязкий)
Размер гранул $l \times d$, мм	(1,9 x 2,5) ±0,2	(1,9 x 2,5) ±0,2
Относительная вязкость в 96 % H_2SO_4 , отн. ед. (номинальное значение)	2,40-2,80	3,20-3,50
Массовая доля воды, не более, %	0,05	0,05
Массовая доля экстрагируемых веществ, не более, %	0,55	0,50
Молярная концентрация аминогрупп NH_2 , ммоль/кг	для η 2,40-2,60 – (40-50) для η 2,60-2,80 – (35-45)	32-40

Выбор растворителя в первую очередь зависит от вида растворяемого полимера. Температура кипения растворителя должна находиться в диапазоне от 80 до 200 °С. Давление паров жидкости при нормальном давлении повышается с увеличением температуры кипения.

Давление пара растворителя должно быть таким, чтобы растворитель испарялся достаточно быстро, чтобы обеспечить отверждение волокон, пока они не достигнут коллектора, но не слишком быстро, чтобы позволить максимальное вытягивание волокон вплоть до нанометрового размера, пока они не отвердеют. Давление насыщенных паров растворителя должно находиться в диапазоне 0,35 – 10 кПа при температуре 20 °С. Растворители с более низким давлением паров не рекомендуется использовать в связи с тем, что их медленное испарение может способствовать образованию дефектов в нановолокнистом слое. С другой стороны, повышенная летучесть растворителя не обеспечит формирование волокон с поверхности жидкости.

При проведении исследований в качестве растворителя использовалась муравьиная кислота. Данные, приведенные в таблице 2, под-

тверждают, что выбранный растворитель удовлетворяет всем приведенным выше требованиям.

Известно, что возможный диапазон концентраций полимера в растворе для формирования нановолокнистого покрытия составляет от 3 до 20 % [1, 2]. При этом свойства раствора в значительной степени зависят от выбранной концентрации полимера.

В результате предварительных экспериментальных исследований установлен диапазон варьирования концентрации полиамида в муравьиной кислоте: концентрация низковязкого полиамида-6 (вариант 1) изменялась в диапазоне от 5 до 15 %, а концентрация высоковязкого полиамида-6 (вариант 2) – в диапазоне от 2,5 до 12 %. Определение свойств растворов осуществлялось согласно стандартным методикам.

Для определения зависимости поверхностного натяжения от концентрации применялся стагмометрический метод, который основан на определении веса массы капли, отрывающейся под действием силы тяжести от плоской поверхности торцевого среза капилляра. На рисунке 1 представлена графическая зависимость поверхностного натяжения от концентрации раствора

Таблица 2 – Свойства муравьиной кислоты

Наименование показателя	Значение показателя
Плотность, г/см ³	1,22
Температура кипения, °С	101
Давление насыщенного пара при нормальных условиях, кПа (атм.)	5,3 (0,053)
Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м при температуре: 15 °С 20 °С 30 °С	3,813×10 ⁻² 3,758×10 ⁻² 3,648×10 ⁻²
Относительная диэлектрическая проницаемость	57

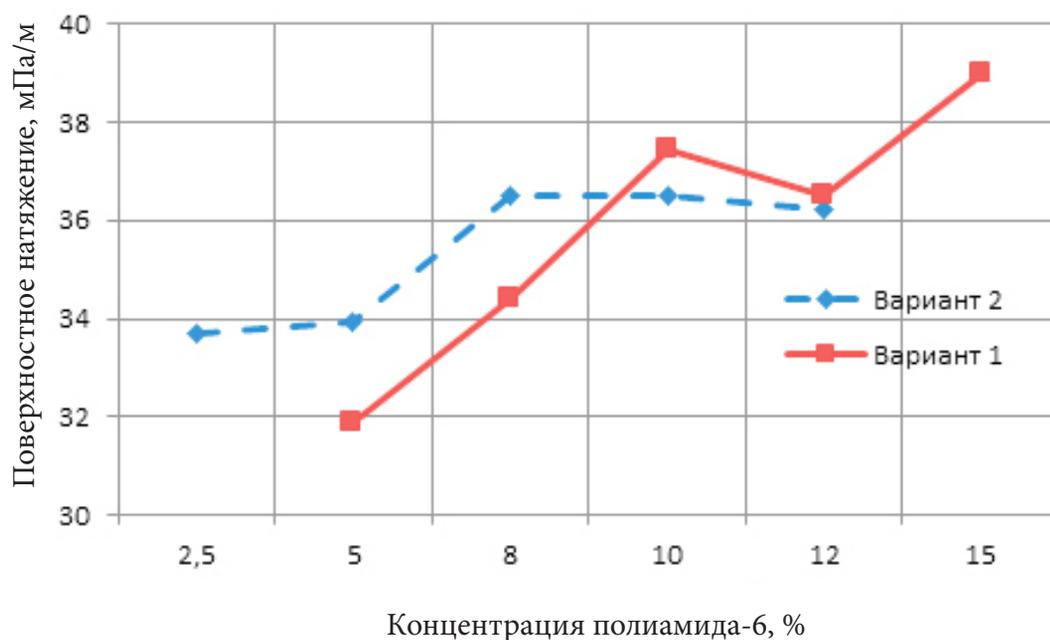


Рисунок 1 – Зависимость поверхностного натяжения раствора от концентрации полиамида-6

полиамида.

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что с увеличением концентрации полиамида-6 поверхностное натяжение волокнообразующего полимера возрастает. При этом значение данного показателя несущественно

отличается от коэффициента поверхностного натяжения муравьиной кислоты при нормальных условиях $3,758 \times 10^{-2}$ Н/м и не превышает предельно рекомендуемого значения, составляющего 5×10^{-2} Н/м.

Как известно, растворы полимеров отлича-

ются высокой вязкостью, обусловленной силами сцепления между молекулами жидкости (внутренним трением). С повышением концентрации вязкость растворов полимеров резко возрастает, так как растворенные частицы способны образовывать более сложные структуры.

Концентрированные полимерные растворы представляют собой пространственную флуктуационную сетку, образованную ассоциатами макромолекул. Резкое возрастание вязкости при концентрации полиамида выше 10 % связано с образованием устойчивой непрерывной в объеме флуктуационной сетки, образованной из молекулярных клубков или их ассоциатов. В результате этого изменяются реологические характеристики раствора, что приводит к возрастанию устойчивости к деформационным нагрузкам под действием физических полей и в частности к образованию непрерывных жидких струй в процессах электроформования. Поэтому для электроформования следует использовать растворы с высокой концентрацией, так как это гарантирует проведение электроформования (а не электрораспыления без получения волокон) и его стабильность. Таким образом, общий принцип при выборе концентрации состоит в определении максимально возможной концентрации полимерного раствора без ущерба для стабильности процесса электроформования.

Метод определения вязкости, применяемый при проведении исследований, основан на измерении времени вытекания определенного объема жидкости через капилляр, радиус и дли-

на которого известны.

Для определения вязкости растворов при проведении исследований использовался капиллярный вискозиметр Оствальда. В таблице 3 приведены результаты экспериментальных исследований растворов двух вариантов полиамида-6 в муравьиной кислоте.

На основании данных, приведенных в таблице 3, были проведены расчеты кинематической и динамической вязкости растворов, результаты которых представлены на рисунках 2 и 3.

Из полученных экспериментальных зависимостей вязкости растворов полиамида в муравьиной кислоте видно, что концентрационный диапазон резкого увеличения вязкости составляет 10 – 15 %.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением содержания в растворе полиамида-6 происходит существенное повышение как его кинематической, так и динамической вязкости;
- использование высоковязкого гранулята (вариант 2) позволяет получить растворы с той же вязкостью, как и в случае применения низковязкого гранулята (вариант 1), но при пониженном содержании полиамида-6;
- если в качестве нижней границы допустимого диапазона динамической вязкости принять 100 мПа·с, можно рекомендовать при приготовлении раствора добавлять не менее 12 % низковязкого гранулята или не менее 10 % высоковязкого гранулята. При этом более вы-

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований по оценке вязкости раствора полиамида-6

Вид гранулята	Исследуемый показатель	Значение показателя при следующих концентрациях полиамида-6					
		2,5 %	5 %	8 %	10 %	12 %	15 %
Низковязкий полиамид-6 (вариант 1)	Время истечения раствора, с	-	141,0	319,3	457,7	1008,7	2030,0
	Плотность раствора (г/см ³)	-	1,1013	1,1494	1,1754	1,125	1,1126
Высоковязкий полиамид-6 (вариант 2)	Время истечения раствора, с	86,7	280,0	488,7	1059,3	1980,7	-
	Плотность раствора (г/см ³)	1,2023	1,1723	1,2194	1,1456	1,116	-

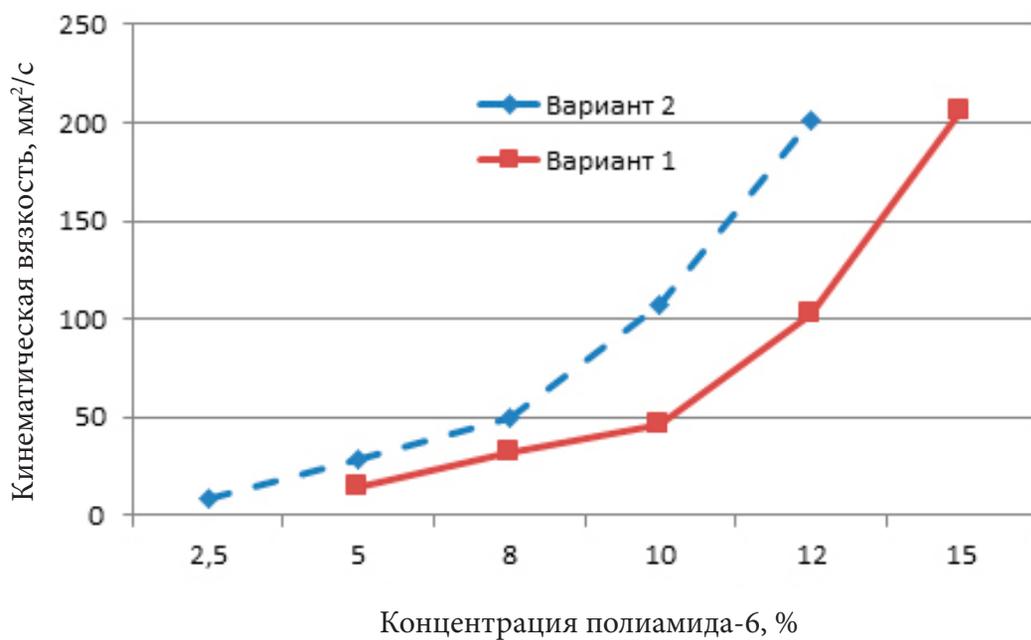


Рисунок 2 – Влияние содержания полиамида-6 на кинематическую вязкость раствора

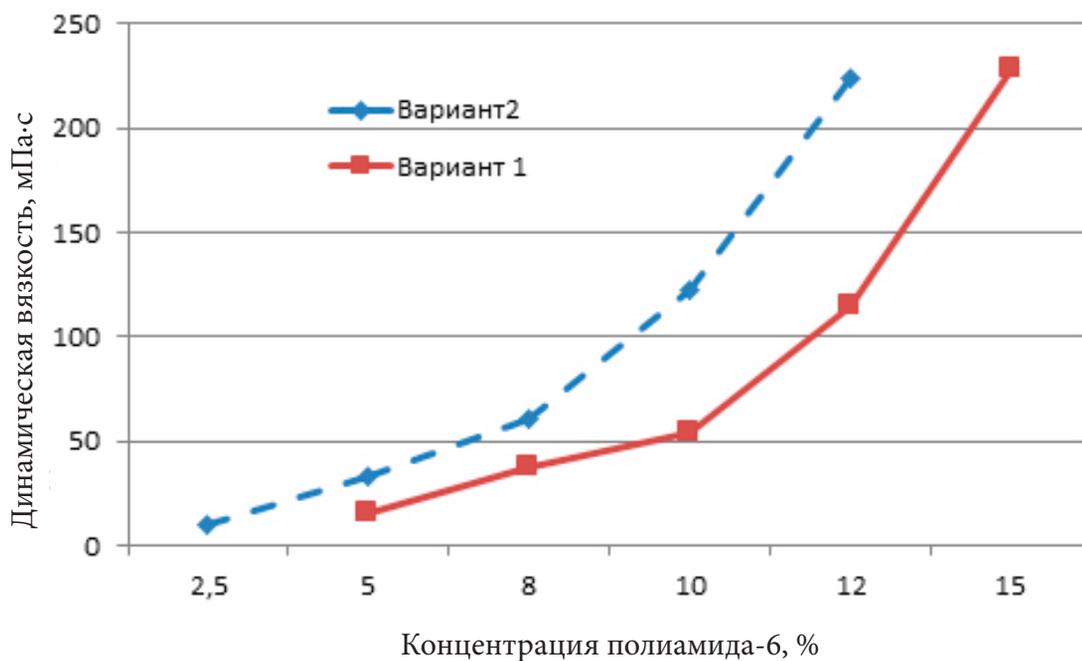


Рисунок 3 – Влияние содержания полиамида-6 на динамическую вязкость раствора

сокая концентрация полимера является предпочтительной, так как способствует повышению производительности установки и обеспечивает более стабильное формирование нановолокнистого слоя.

Для определения электрической проводимости использовался Кондуктометр HI 9033.

Результаты измерений электрической проводимости полученных растворов приведены на рисунке 4.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что с увеличением содержания полимера в растворе его электрическая проводимость повышается. При этом на вид установленной зависимости не оказывает влияние вязкость исходного полимера, так как в диапазоне от 5 до 12 % графики на рисунке 4 практически совпадают. С увеличением концентрации полимера ее влияние на электрическую проводимость существенно снижается. Необходимо обратить внимание на то, что все исследуемые варианты растворов соответствуют установленным требованиям по электрической проводимости (от 0,1 до 10 мСм/см).

Таким образом, в результате анализа комплекса свойств полученных растворов установлено, что с ростом концентрации полиамида в 85%-ной муравьиной кислоте происходит увеличение вязкости, электропроводности и поверхностного натяжения. В исследуемом диапазоне концентраций показатели свойств соответствуют требованиям для электроформования волокон.

В лаборатории Каунасского технологического университета на установке NSLAB (Elmarco, Чехия) осуществлялось нанесение покрытия на неподвижный полипропиленовый нетканый материал с поверхностной плотностью 21,5 г/м² при следующих режимах:

- вид используемого электрода – зубчатый валик,
- расстояние от конца валика до осадительного электрода – 130 мм;
- напряжение – 70 кВ;
- сила тока – 30-40 мА при использовании низковязкого полиамида, 25–35 мА при использовании высоковязкого полиамида,
- время нанесения – 2 мин.

Оценка технологичности растворов осуще-

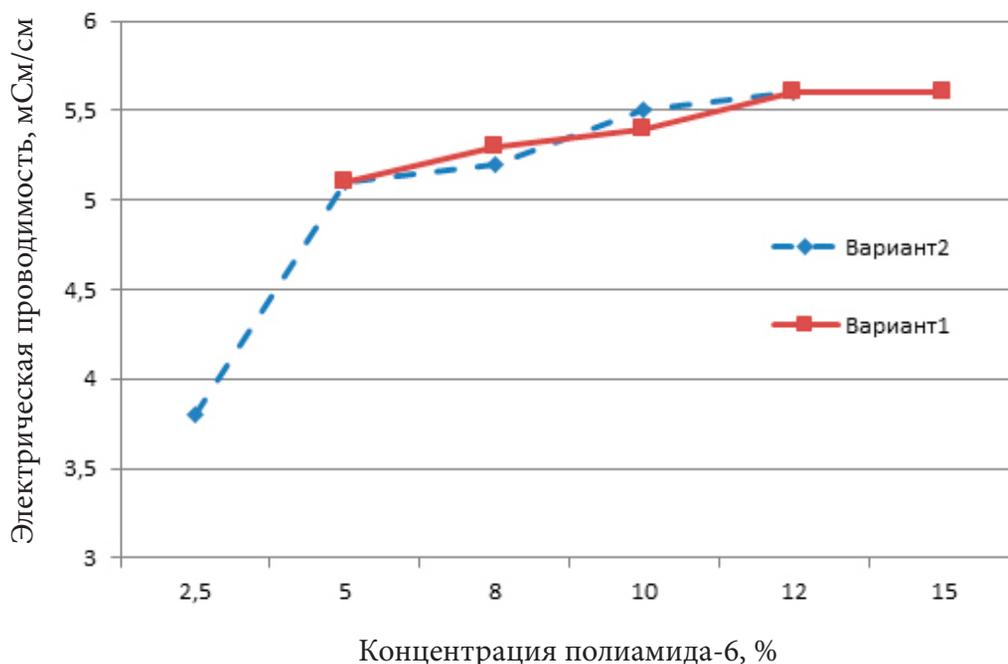
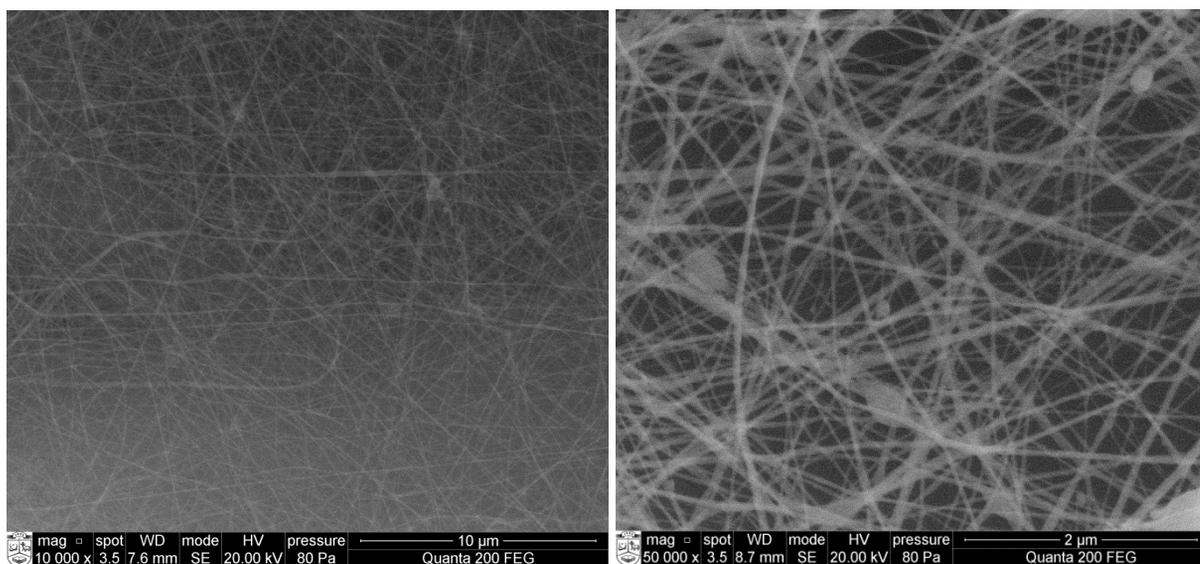


Рисунок 4 – Влияние концентрации полиамида-6 на электрическую проводимость раствора

ствлялась на основании анализа изображений нановолокнистого покрытия, полученных с использованием электронного сканирующего микроскопа (рисунок 5).

при определенных параметрах раствора и процесса формования не превышает 100 нм.

В то же время установлено, что в получаемом нановолокнистом слое заметны застывшие



а

б

Рисунок 5 – Изображения нановолокнистых покрытий, полученных на установке NSLAB:
 а – с применением высоковязкого полиамида-6 (концентрация 15 %);
 б – с применением низковязкого полиамида-6 (концентрация 15 %)

В ходе проведенных измерений определены параметры нановолокон, формируемых на установке NSLAB при одинаковой концентрации полиамида-6 в растворе:

- при использовании низковязкого полиамида:
 - средняя толщина волокна – 56,3 нм;
 - коэффициент вариации толщины волокна – 22 %;
- при использовании высоковязкого полиамида,
 - средняя толщина волокна – 105,4 нм;
 - коэффициент вариации толщины волокна – 23,6 %.

Результаты измерений подтверждают, что исследуемый способ электроформования позволяет получить из предложенных вариантов растворов наноразмерные волокна, так как их толщина

капли полимера, что является нежелательным явлением. В связи с этим на следующих этапах работы необходимо провести исследования по оптимизации работы установок для нанесения нановолокнистого покрытия с целью предотвращения возникновения выявленных дефектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев, А.Т., Афанасов, И.М. (2010), *Получение нановолокон методом электроформования*, Москва, Московский гос. ун-т им. М.В.Ломоносова, 83 с.
2. Филатов, Ю.Н. (1997), *Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ- процесс)*, Москва, ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 231 с.
3. Elmarco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nano-volokna.ru/>. – Дата доступа: 20.01.2016.
4. Алексеев, И.С., Степин, С.Г., Дорошенко, И.А. (2013), Синтез нити с бактерицидными свойствами из полимерных наноразмерных волокон, *Вестник ВГТУ*, 2013, № 25, С. 78-81.

REFERENCES

1. Matveev, A.T., Afanasov, I.M. (2010), *Poluchenie nanovolokon metodom jelektroformovaniya*, [Obtaining nanofibres by electrospinning method], Moscow, Lomonosov Moscow State University, 83 p.
2. Filatov, Ju.N. (1997), *Jelektroformovanie voloknistykh materialov (JeFV- process)*, [Electrofibrinous materials (EFV- process)], Moscow, GNC RF NIFHI im. L. Ja. Karpova, 231 p.
3. Elmarco [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.nano-volokna.ru/>. – Access date: 20.01.2016.
4. Alekseev, I.S., Stepin, S.G., Doroshenko, I.A. (2013), Synthesis of thread with antibacterial properties of nanoscale polymer fibers [Sintez niti s baktericidnymi svojstvami iz polimernykh nanorazmernykh volokon], *Vestnik VGTU – Vestnik of VSTU*, 2013, № 25, pp. 78-81.

Работа выполнена в рамках проекта белорусско-литовского сотрудничества Т15ЛИТ-021 «Влияние состава нановолокнистых покрытий на функциональные свойства текстильных материалов» при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований

Статья поступила в редакцию 14. 03. 2016 г.