

Введение В настоящее время к производству антибактериальных текстильных материалов проявляется особый интерес, в частности со стороны производителей трикотажных полотен, предназначенных для производства спортивной одежды, а также производителей текстиля и изделий медицинского назначения. Это обусловлено предъявляемыми требованиями потребителей к данным ассортиментным группам текстильных материалов, а именно: - необходимость придания бактериостатических и антибактериальных свойств трикотажным материалам, используемых в условиях средней и высокой физической активности и повышенного потоотделения тела человека, с целью минимизирования развития патогенной микрофлоры в пододежном пространстве; - необходимость придания антибактериальных свойств нетканым материалам, используемых для производства изделий медицинского назначения, с целью уменьшения бактериологической проницаемости данных материалов и, как следствие, повышения уровня защиты медицинского персонала. Анализ современных исследований показал, что перспективным с точки зрения придания антибактериальных свойств текстильным материалам является применение технологии высокочастотной (ВЧ) плазменной обработки. Для получения капиллярно-пористых материалов, обладающих антибактериальными свойствами, эффективным методом является нанесение антибактериального препарата в форме водного коллоидного раствора наночастиц серебра в условиях высокочастотной индукционной (ВЧИ) плазмы пониженного давления [1]. Преимуществами данного метода модификации является малая энергоемкость и экологичность. Объекты исследования Для исследования влияния потока ВЧ плазмы пониженного давления на процесс модификации трикотажных материалов наночастицами серебра с целью получения антибактериальных трикотажных материалов, используемых для производства термобелья, выбрано двухслойное трикотажное полотно бельевого ассортимента производства ЗАО «Трикотаж», г. Ярославль. Трикотажное полотно имеет состав: х/б – 65,3%, полипропилен – 34,7%; поверхностная плотность полотна составляет 162 ± 10 г/м²; переплетение двухслойный ластик. Для экспериментальных исследований процесса модификации нетканых материалов (НМ) медицинского назначения наночастицами серебра в условиях плазмы ВЧИ разряда пониженного давления, выбран нетканый материал, изготовленный по технологии спанбонд (поверхностная плотность 15 г/м²), производства ООО «Эластик», г. Казань. Выбор данного материала с целью придания ему антибактериальных свойств обоснован, прежде всего, его широким применением для изготовления одноразовой медицинской одежды и белья, включая одноразовую медицинскую одежду и белье, а также медицинских одноразовых средств индивидуальной защиты. Кроме того, НМ, изготовленные по технологии спанбонд, могут быть использованы для производства многослойных НМ, применяемых для

изготовления материалов медицинского назначения с улучшенными показателями бактериальной проницаемости. Для уменьшения разброса исследуемых показателей свойств трикотажных и нетканых полотен образцы для проведения исследований выбирались из одной партии. Хранение текстильных материалов осуществлялось в сухом проветриваемом помещении при относительной влажности воздуха 40-60 % и температуре 20-25 °C. В качестве антибактериального препарата, применяемого для модификации трикотажных и нетканых материалов, выбран коллоидный водный раствор наночастиц серебра AgБион-2 (ТУ 2499-033-44471019-2006), разработанный в Институте нанотехнологий Международного фонда конверсии (ИНАТ МФК) и производимый ЗАО "Концерн "Наноиндустрия". Активным антибактериальным компонентом раствора являются стабилизированные наночастицы серебра размером 3-16 нм.

Методика и результаты эксперимента

Для модификации наночастицами серебра трикотажных и нетканых материалов использовалась ВЧИ плазменная установка, схема которой представлена на рис. 1.

Рис. 1 - Экспериментальная ВЧИ плазменная установка

Рабочая камера объемом 50 литров представляет собой металлический колпак, который установлен на базовую плиту. Для визуального контроля процесса модификации, а также для целей оптической диагностики на боковой поверхности камеры расположены окна. ВЧ генератор опытной установки собран по одноконтурной схеме с общим катодом и настроен на индукционную нагрузку. Подача газа в рабочую камеру, осуществляется с помощью напуска плазмообразующего газа через плазмотрон. Система питания плазмотрона рабочим газом состоит из баллона со сжатым газом, редуктора для понижения давления, образцового манометра, ротаметра типа РС-3 для определения расхода газа и игольчатого натека для регулирования расхода, устройства для получения смеси газов и устройства для импульсной подачи газа. Поток газа, проходя область разряда, нагревается до состояния плазмы и истекает из плазмотрона в виде плазменной струи. Для обеспечения необходимого теплового режима нагруженных узлов установки служит система водоснабжения, состоящая из системы резиновых шлангов, посредством которых осуществляется подвод и отвод воды к установке и от нее.

Принцип работы ВЧИ плазменной установки основан на ионизации плазмообразующего газа под действием электромагнитного поля индуктора. При подаче на индуктор ВЧ напряжения, в разрядной камере образуется плазменный сгусток, при продуве через который плазмообразующий газ образует плазменную струю, являющуюся инструментом обработки. Для нанесения наночастиц на трикотажные и нетканые материалы применялось приспособление, обеспечивающее получение и подачу в разрядную камеру смеси плазмообразующего газа и наночастиц серебра из коллоидного раствора [2]. При прохождении смеси плазмообразующего газа и наночастиц серебра через плазменный сгусток происходит активирование поверхности наночастиц,

что делает их реакционноспособными. Активированные наночастицы серебра, распространяясь в газовом потоке, оседают на поверхности волокон. Для установления закономерностей воздействия ВЧИ плазмы пониженного давления на образцы текстильных полотен обработка проводилась при следующих входных параметрах установки: напряжение на аноде – 4 кВ; сила тока на аноде – от 0,5 до 1,3 А; время обработки – от 30 до 90 секунд; расход плазмообразующего газа - 0,04 г/с; давление в рабочей камере – 50 Па. В качестве плазмообразующего газа использовался аргон. Для обработки трикотажных и нетканых материалов наночастицами серебра в условиях ВЧИ плазмы применяли коллоидные растворы различных концентраций (1%; 0,5%; 0,25%; 0,1%). Для оптимизации режимов плазменной модификации трикотажных и нетканых материалов использовался метод центрального композиционного ротатбельного планирования (ЦКРП), который позволяет получать модель, способную с одинаковой точностью предсказывать значение параметра оптимизации независимо от направления на равных расстояниях от центра плана. Статистическая обработка полученных результатов экспериментов, произведенная в программе «Statistica 6.0», позволила определить оптимальные параметры обработки: $U_a = 4\text{ кВ}$, $I_a = 1\text{ А}$, $G_{Ar}=0,04\text{ г/с}$, $t = 60\text{ с}$. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что целесообразным является применение антибактериального препарата с концентрацией 0,1%, поскольку увеличение концентрации раствора вызывает ухудшение органолептических свойств (поверхность становится жесткой) текстильных материалов. Количество серебра, содержащегося в каждом исследуемом образце после его модификации антибактериальным препаратом в условиях плазмы ВЧИ разряда пониженного давления, определялось методом атомно-эмиссионного анализа на атомно-эмиссионном спектрометре iCAP 6300 DUO. Результаты элементного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание серебра в модифицированных образцах текстильных материалов

№ образца	Содержание серебра в образце, мг/см ²
Трикотажное полотно	0,007
Нетканый материал 1	0,004
2	0,006
3	0,005
4	0,007
5	0,008
6	0,005
7	0,007
8	0,006

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют, что нанесение наночастиц серебра данным методом на поверхность волокнистых текстильных материалов позволяет добиться достаточно равномерного распределения антибактериального препарата по поверхности материалов. Среднее содержание серебра на поверхности трикотажного полотна составило 0,007 мг/см², на поверхности нетканого полотна 0,005 мг/см². Устойчивость нанесения наночастиц серебра в условиях плазмы ВЧИ разряда пониженного давления на поверхность трикотажных материалов исследовалось путем определения количества содержащегося в образце серебра до и после 10 циклов промывки, имитирующих циклы стирки в обычных условиях эксплуатации изделия. Промывка образцов производилась в течение 20 минут в среде водопроводной

воды, а также водопроводной воды с добавлением ПАВ при температуре воды 400С. Количество промывок составляло от 1 до 5. После каждой промывки образцы высушивали при комнатных условиях, избегая прямого попадания солнечных лучей [3, 4]. Далее после каждого цикла промывки и полной сушки образцов повторно определялось содержание серебра в каждом из них. Результаты устойчивости закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое трикотажных материалов представлены в таблице 2.

Количество циклов промывки образца	Содержание серебра в образце, мг/см ²
до промывки	0,007
1	0,005
2	0,005
3	0,004
4	0,003
5	0,003

Анализ экспериментальных данных показал, что нанесение наночастиц серебра в условиях плазмы ВЧИ разряда пониженного давления, не обеспечивает достаточно эффективного закрепления наночастиц серебра в поверхностном слое материала, что приводит к вымыванию антибактериального препарата в процессе эксплуатации изделия и снижению его антибактериальных свойств.

Выводы Ряд проведенных исследований показал, что методика нанесения наночастиц серебра в условиях плазмы ВЧИ разряда пониженного давления на поверхность трикотажных и нетканых материалов позволяет равномерно нанести наночастицы серебра на поверхность текстиля, но не приводит к их эффективному закреплению в поверхностном слое материала. Поэтому данная методика модификации текстильных материалов актуальна для получения антибактериальных нетканых материалов одноразового использования. Для дальнейших исследований по модификации многоразовых трикотажных материалов с целью придания им антибактериальных свойств, устойчивых во времени в процессе эксплуатации изделия, использовалась экспериментальная плазменная установка высокочастотного емкостного (ВЧЕ) разряда пониженного давления [5,6]