

проводах возникает скин-эффект, который заключается в том, что вследствие возникновения в проводе вихревых токов основной ток идет в тонком поверхностном слое провода, а внутренняя часть провода практически не используется. Такая особенность протекания переменного тока привела к идее использования полых проводов. Полый провод представляет собой полую трубку, ток протекает по стенкам этой трубки, а внутренняя часть провода, которая не участвует в переносе тока – отсутствует. Полые провода решают проблему с повышенным расходом металла, но являются более сложными и дорогими в производстве, относительно легко переламываются. Прочность и долговечность полых проводов можно повысить, если внутреннюю область провода заполнить недорогим прочным пластиком.

Еще одним решением, снижающим потери электроэнергии в ЛЭП, является использование проводящих экранов. Основная идея применения проводящего экрана, соединенного с проводом, заключается в том, что внутри проводящего экрана электрическое поле отсутствует, оно появляется только снаружи экрана, а так как радиус экрана во много раз больше радиуса провода, то напряженность электрического поля снижается многократно. Вследствие громоздкости экранов их устанавливают, как правило, только в наиболее критичных местах, например в местах крепления проводов к опорам, т.е. там, где вероятность пробоя и возникновения коронного разряда особенно высока.

Таким образом, при конструировании, изготовлении и эксплуатации ЛЭП следует обращать внимание не только на потери энергии вследствие теплового действия тока, текущего в проводах, но и на другие физические процессы, которые могут иметь место, особенно при высоких напряжениях и приводить к дополнительным потерям энергии.

#### *Литература*

1. Потери на корону: усредненные, удельные, расчет, табличные значения [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://pue8.ru/uchet-elektroenergii/2-3-2-poteri-na-koronu.html>.

2. Потери на корону [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/091/990.htm>.

УДК: 535.373 + 539.2 + 541.14

### **ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОВОЛОКНА: ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**

Лагун А.

Научный руководитель – Зенькевич Э.И., докт. физ.-мат.н., профессор

Нановолокна и нанотекстиль (ткань, трикотаж, нетканка) не являются готовыми продуктами. Первые – нановолокна широко используются в

технике (наполнители композитных пластиков), в производстве собственно текстиля. Вторые – нанотекстиль используются в производстве одежды, головных уборов, обуви, предметов домашнего пользования и т.д.).

Химические нановолокна (искусственные и синтетические) производятся методом электроформования (ЭФВ) или электроспиннинга растворов или расплавов волокнообразующих полимеров, когда при выходе из фильеры раствор или расплав полимера попадает в электрическое поле с определенными параметрами и волокно вытягивается до диаметра наноразмеров 10-100 нм. По этой технологии принципиально можно производить нановолокна из любых волокнообразующих полимеров. Процесс ЭФВ протекает по схеме, изображенной на Рис. 1, и включает три основные стадии.

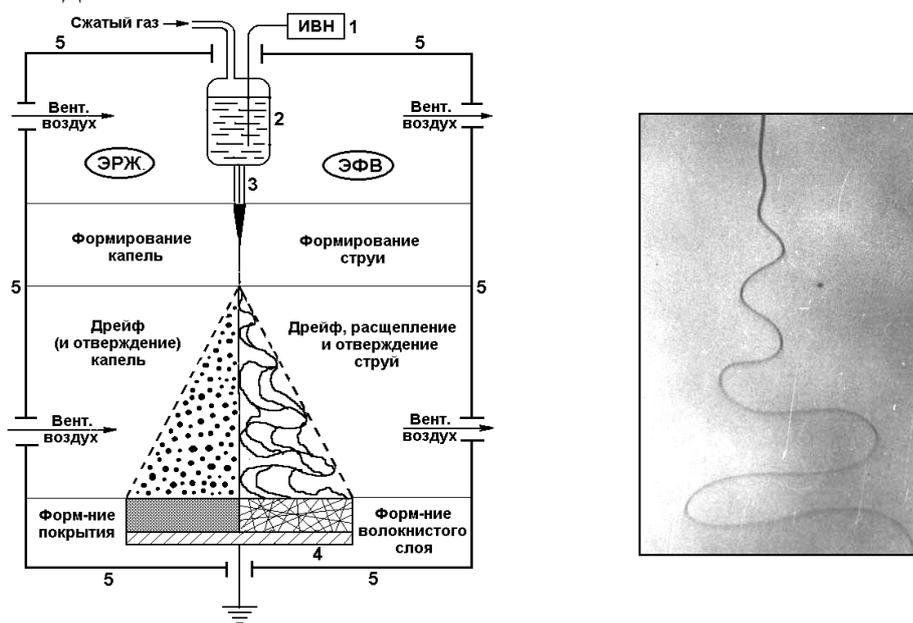


Рис. 1. Схема установки для осуществления процесса ЭФВ: 1 – источник высокого напряжения, 2 – емкость с рабочей жидкостью, 3 – капиллярное сопло, 4 – осадительный электрод, 5 – защитная камера.

Прядильный полимерный раствор, к которому через помещенный в него металлический электрод от источника 1 подведено регулируемое высокое отрицательное постоянное электрическое напряжение, из емкости 2 под собственным весом или избыточным давлением газа вытекает с заданным объемным расходом через инжектирующее капиллярное сопло 3 и под действием электрических сил образует исходную непрерывную и стационарную ускоряющуюся и утончающуюся свободную струю, ось которой совпадает с генеральным направлением электрического поля. Вторая стадия состоит из нескольких процессов, протекающих одновременно. В ней вызванные флуктуациями по времени и пространству объемной плотности электрических зарядов колебания силовых линий электрического поля и

неизбежного при этом отклонения их от оси, обладающей значительной инерцией ускоренной струи, приводят к появлению действующего на последнюю гидродинамического момента сил со стороны вязкой газовой среды, увеличивая это отклонение. В результате струя разворачивается в виде расширяющегося книзу конуса Тэйлора. Одновременно резко интенсифицируется начавшееся еще на первой стадии процесса испарение растворителя, струя отверждается, и образовавшееся волокнистое облако дрейфует во внешнем электрическом поле на осадительный электрод 4. Третья стадия также состоит из двух, одновременно протекающих процессов: первого – случайной укладки волокон в слой осями параллельно плоскости осадительного электрода и второго – замыкающего электрическую цепь искрового газового разряда между осадительным электродом и образующимся на нем волокнистым слоем.

Для более глубокого анализа существа, технологических и производственных возможностей процесса ЭФВ и для его практической реализации и эффективного им управления требуются знания механизмов составляющих его физических процессов и их адекватное теоретическое описание. Основными компонентами сырья для электроформования нановолокнистых материалов являются волокнообразующие полимеры, растворители и различные технологические и функциональные низкомолекулярные добавки.

Чешской фирмой ELMARCO разработана оригинальная технология Nanospider™, обеспечивающая электростатический процесс формирования волокон без использования жиклеров (рис. 2). Основные преимущества этой технологии определяются следующими факторами. Механическая простота. Оборудование для производства нановолокон, в котором не используются форсунки, гораздо проще и легче в эксплуатации. Отсутствие засорения и загрязнения форсунок обеспечивает снижение эксплуатационных расходов и существенно повышает качество нановолокон. Значительное повышение объема производства: 1) большая рабочая ширина, до 1,6 метра; 2) промышленные линейные скорости; 3) эффективное время работы 89%. Благодаря технологии Nanospider™, обеспечиваются: 1) более высокая равномерность толщины волокон, 2) более высокая равномерность нанесения нановолоконного слоя, 3) прекрасная однородность нановолоконного слоя, 4) контролируемый диаметр нановолокон, 5) узкое распределение волокон по диаметру, 6) возможность применения широкого спектра полимеров, 7) использование различных материалов основы (подложек), которые ранее считались непригодными для процесса электроспиннинга, 8) нановолоконный слой может иметь любую желаемую поверхностную и объемную плотность, 9) простота в обслуживании и энергоэффективное производство и, как результат, 10) более низкие закупочные и эксплуатационные расходы. Технология Nanospider™ компании ELMARCO может быть настроена на работу со многими типами полимеров и на производство широкого ассортимента органических, неорганических и биологически разлагаемых

нановолокон. Эта технология позволяет достичь диаметра волокна всего 80 нм +/- 30%.



Рис.2. Технология Nanospider™ и структура нановолокон, получаемых из органических полимеров (полиуретан, поливиниловый спирт, полиарамид) биополимеров (хитозан, желатин, целлюлоза).

Методом электроспиннинга можно получать волокна диаметром до нескольких десятков нанометров. Масса такой нанонити чрезвычайно мала. Например, если учесть, что расстояние между Землей и Луной составляет 380 тыс. км, то понадобится всего лишь около 3 г нановолокна диаметром 100 нм и плотностью 1 г/см<sup>3</sup> для того, чтобы соединить нашу планету с ее единственным спутником. За счет малого диаметра нановолокна обладают большой удельной площадью поверхности, что чрезвычайно важно для биомедицины и современных нанотехнологий.

#### *Литература*

1. Филатов Ю.Н. // Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс) – 1997. – Москва: Изд. Нефть и Газ.