

С. В. Илюшина, Р. Н. Сабирзянова, Р. Р. Хазимуратов,  
А. Т. Миндиярова

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

*Ключевые слова: волокно, модификация, капиллярность, обработка.*

*Проведены экспериментальные и теоретические исследования для оптимизации параметров высокочастотной емкостной плазменной обработки полипропиленовых волокон. В работе выбран метод центрального композиционного рототабельного планирования.*

*Keywords: fiber, modification, capillarity, the processing.*

*There are experimental and theoretical studies to optimize the high-frequency capacitive plasma treatment of polypropylene fibers. In this paper a method of central composite planning is selected.*

В настоящее время полимерные нетканые материалы (НМ) широко применяются в медицине и экологии. Это объясняется доступностью их получения и обработки, химической стойкостью, дешевой. Основными полимерными материалами, которые используются в последнее время, являются следующие: тефлон, полиуретан, поливинилхлорид, полипропилен, полиметилметакрилат и его производные (в частности, гидроксипропилметакрилат, акриламид, латекс, силикон и др.).

Однако полимерные материалы имеют в ряде случаев недостаточную механическую прочность, плохую биосовместимость, недолговременную стойкость по отношению к агрессивным биологическим средам человеческого организма и др. В связи с этим для улучшения функциональных свойств полимерных материалов актуальной является модификация их поверхности.

Из всех существующих на данный момент методов модификаций синтетических волокон наиболее перспективной является обработка плазмой. Природа протекающих в плазме процессов зависит от ряда факторов (структуры полимера, технологических параметров обработки и др.). Под воздействием разнообразных активных частиц на поверхности материалов наблюдается целый ряд процессов, например, разрыв связей в цепи, образование свободных радикалов, сшивание, деструкция и др. [1,2].

На обработку в высокочастотном емкостном (ВЧЕ) разряде оказывают влияние большое многообразие параметров (сила тока, напряжение, продолжительность процесса, давление в газоразрядной камере, расположение образца в определенной зоне камеры), одновременно протекают разнообразные физико-химические процессы, вследствие чего изучаемый параметр – капиллярность, изменяется в широких пределах. Поэтому было необходимо найти параметры для получения максимального значения капиллярности.

Объектом исследования являлись полипропиленовые (ПП) волокна.

План эксперимента предусматривал учет максимально изменяемых экспериментальных факторов с тем, чтобы оптимизировать параметры про-

цесса, обеспечить оптимальное значение капиллярности, сократить продолжительность эксперимента.

Для исследования гигроскопических свойств ПП волокон выбраны метод определения капиллярности. Капиллярность оценивалась согласно стандартному методу по ГОСТ 3816 – 81.

Сегодня решения вопросов оптимизации параметров не могут приниматься без достаточной аналитической проработки. При оптимизации параметров технологического процесса, на наш взгляд, можно выделить следующие стадии.

На первом этапе конкретизируется цель, определяются пути и способы ее достижения, намечаются соответствующие этапы достижения цели. В основе оптимальных моделей лежат предварительные результаты, тенденции их изменения, цели и ограничения, заданные внешней средой.

На втором этапе выявляются причины возможных отклонений экспериментальных данных от теоретических, осуществляются их регулирование [3].

Недостаточная точность и анализ результатов являются главной помехой для повышения эффективности проведения процесса.

Из существующих методов оптимизации выбран метод центрального композиционного рототабельного планирования. Особенность этого метода состоит в том, что получающееся в результате планирования эксперимента математическое уравнение имеет свойство рототабельности. Выходным параметром эксперимента являлась капиллярность волокон.

Обработка волокон осуществлялась на экспериментальной высокочастотной емкостной (ВЧЕ) плазменной установке, описанной в работе [4]. Технологические параметры ВЧЕ разряда пониженного давления изменялись в следующих пределах: напряжение на аноде  $U_a$  от 2,5 до 6,5 кВ; сила тока на аноде  $I_a$  от 0,2 до 0,8 А. Значения расхода плазмообразующего газа аргона, продолжительности воздействия и давления в вакуумной камере составляли  $G=0,04$  г/с,  $t=180$ с и  $P=26,6$  Па соответственно установлены в ранних работах [4,5] как оптимальные для обработки химических волокнистых материалов.

На начальном этапе оптимизации осуществлялось планирование двухфакторных эксперимен-

тов на основе полинома второй степени:  
 $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$ .

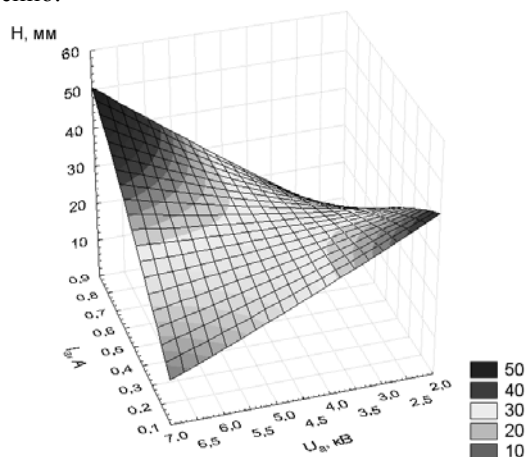
В данном исследовании изучалось влияние комбинации следующих факторов: силы тока и напряжения, силы тока и продолжительности процесса, силы тока и давления, напряжения и продолжительности процесса. По полученному двухфакторному эксперименту рассчитано уравнение регрессии второго порядка. Все расчеты производили в программе «Statistica 6.0». Погрешность результатов оценивали с помощью методов статистической обработки экспериментальных данных при доверительной вероятности 0,95.

Математическая зависимость значений капиллярности (H) от силы тока ( $I_a$ ) и напряжения ( $U_a$ ) имеет вид:

$$H = 63,25 - 72,48I_a - 9,04U_a - 13,18I_a^2 + 0,12U_a^2 + 19,17I_aU_a$$

Знаки коэффициентов регрессии указывают на влияние факторов на капиллярность. Из полученного уравнения видно, что коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$  отрицательны, следовательно, были выбраны завышенные значения факторов. Положительное значение  $b_{12}$  свидетельствует, что оба фактора принимают верхнее значение.

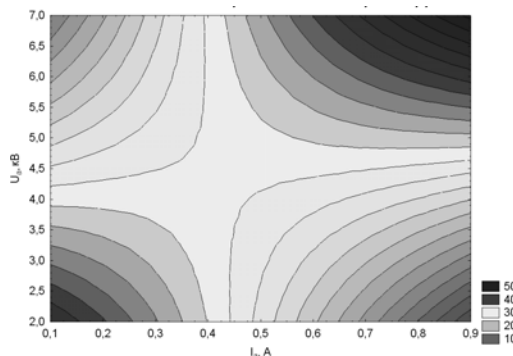
Поверхности отклика и контуры поверхности отклика при изменении значений силы тока и напряжения представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.



**Рис. 1 – Поверхность отклика на плоскости при постоянном значении продолжительности процесса (t=180 с)**

Полученные контуры поверхностей отклика на изменение входных параметров (силы тока, напряжения) позволяют выбирать область модификации, при которых достигается требуемые показатели капиллярности.

При плазмохимической модификации волокон наблюдается улучшение капиллярности. Образование гидроксильных групп на поверхности полиэтиленовых волокон, ответственных за гидрофильность, происходит за счет образования свободных радикалов, которые на воздухе превращаются в кислородсодержащие группы различной химической природы.



**Рис. 2 – Контур поверхности отклика при постоянном значении продолжительности процесса (t=180 с)**

Изменение физико-механических свойств волокон под воздействием НТП, согласно литературным данным, обеспечивается специфическим воздействием ВЧЕ-разряда: рекомбинацией ионов на поверхности, бомбардировкой ее ионами с энергией, приобретенной ими в слое пространственного заряда.

С целью оптимизации технологических параметров модификации свойств ПП волокон в ВЧЕ-разряде в среде аргона выбран метод центрального композиционного рототабельного планирования.

Экспериментально полученные результаты свидетельствуют, что плазменная обработка в ВЧЕ-разряде позволяет активировать поверхность ПП волокон, понижая поверхностное натяжение.

Полученная математическая модель двухфакторного эксперимента, адекватно описывающая процесс и позволяющая определить значения капиллярности при варьировании следующих параметров: силы тока и напряжения.

### Литература

1. Абдуллин И.Ш. Высоочастотная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых материалов. Теория и практика применения / И.Ш. Абдуллин, Л.Н. Абуталипова, В.С. Желтухин, И.В. Красина. Казань: КГУ – 2004. – 428 с.
2. Хамматова В.В. Регулирование формовочной способности текстильных материалов с использованием плазменных технологий: автореферат дисс. / Хамматова Вернера Васильевна. – Казань. 2006. – 32 с.
3. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов / А.Ю. Закгейм. – М.: Химия. – 1973. – 224 с.
4. Сергеева, Е. А. Оптимизация режимов низкотемпературной плазменной обработки высокомолекулярных полиэтиленовых волокон / Е.А. Сергеева, И. А. Гришанова, С. В. Илюшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. - №7. - С. 94-98.
5. Сергеева, Е.А. Влияние природы и состава плазмообразующей среды на физико-механические свойства высокомолекулярных полиэтиленовых волокон / Е.А. Сергеева, И.А. Гришанова, С.В. Илюшина, М.Ф. Шаехов // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. - № 10. – С.187-190.

