УДК: 678. 677.03

Ю. Н. Хакимуллин, К. В. Легаева, Е. С. Кузнецова,
Л. С. Травкина, М. С. Лисаневич, Р. Ю. Галимзянова

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ СПАНЛЕЙС

Ключевые слова: нетканый материал, технология спанлейс, радиационная стерилизация, гамма-излучение, ускоренные электроны.

Осуществлён анализ технических параметров нетканого материала, производимого по технологии спанлейс, облученного двумя различными источниками облучения (гамма-излучение, ускоренные электроны) и определены показатели, характеризующие радиационную стойкость нетканого материала. Даны рекомендации по выбору источника и дозы облучения для данного материала, когда при достижении стерильности сохраняются потребительские свойства.

Keywords: nonwoven, spunlace technology, radiation sterilization, gamma rays, accelerated electrons.

Implemented analysis of the technical parameters of the non-woven material produced by spunlace, after irradiation with two different sources of radiation (gamma rays, accelerated electrons) and identify indicators characterizing the radiation resistance of a non-woven material. Recommendations on the choice of the source and the radiation dose for a given material, when stored at achieving sterility consumer properties.

В настоящее время наблюдается тенденция по существенному увеличению объемов производства и расширению областей применения нетканых материалов (НМ), которые используются практически во всех областях жизнедеятельности человека. Такие свойства НМ, как гидрофильность или гидрофобность, воздухопроницаемость, хорошие барьерные и прочностные показатели при относительной дешевизне позволяют эффективно использовать их для медицинских целей.

Широкое применение в медицине нашли НМ, производимые по технологии спанлейс, благодаря своим уникальным свойствам, среди которых в первую очередь следует выделить: высокую степень впитываемости, высокую воздухопроницаемость, мягкость и хорошие тактильные ощущения, близкие к натуральным тканям, устойчивость на разрыв, безворсовую структуру, нетоксичность, антистатичность.

Спанлейс (spunlace) – это технология производства НМ, в которой скрепление волокон холста осуществляется водными струями. Как правило, полотно скрепляется на перфорированном барабане струями воды, бьющими под высоким давлением из форсуночных балок. При этом волокна холста перепутываются и связываются между собой [1].

На рисунке 1 схематично представлены основные этапы производства НМ по технологии спанлейс: формирование полотна, уплотнение полотна, скрепление, сушка, намотка.

Формирование полотна может осуществляться различными способами, среди которых [2]:

- кардочесание штапельных волокон (drylaid);

- аэродинамический способ формирования холста (airlaid);

- гидравлический способ формирования холста (wetlaid);

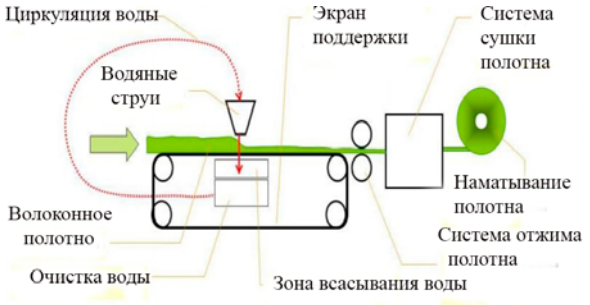

Рис. 1 – Основные этапы производства нетканого материала по технологии спанлейс

- спанлейд-спанбонд (spunlaid-spunbond) – холст формируется из непрерывных нитей (филаментов), полученных из расплава полимера.

Формованное полотно сначала уплотняется, чтобы устранить воздушные карманы, а затем пробивается водными струями (из форсунок) [3]. Падающие струи воды вызывают скрепление волокон. Водные струи сначала воздействуют с одной стороны полотна, затем полотно проходит через второй цикл скрепления в обратном направлении и, таким образом, закрепляется другая сторона полотна [4]. Давление воды, применяемой в переработке обычно возрастает от первой до последней форсунки [2].

Исходным сырьем для изготовления подобных материалов являются вискозные, полиэфирные, полипропиленовые и целлюлозные волокна. Важными характеристиками волокон для производства НМ по технологии спанлейс являются [3]:

- модуль изгиба: волокна с низким модулем изгиба требуют меньше энергии для скрепления;

- толщина волокон: полимерные волокна большего диаметра труднее скреплять из-за их большей жесткости на изгиб, чем волокна меньшего диаметра;

- форма поперечного сечения: волокна треугольной формы будут иметь жесткость на изгиб в 1,4 раза больше, чем у круглого волокна;

- длина: по сравнению с длинными волокнами, короткие волокна более подвижны и получается больше скрепленных частей. Прочность ткани, однако, пропорциональна длине волокна. Поэтому, длина волокна должна быть выбрана, чтобы соблюдался наилучший баланс между количеством скрепленных участков и прочностью ткани.

- смачиваемость волокон: гидрофильные волокна скрепить легче, чем гидрофобные волокна.

В соответствии с мировой практикой на рынке распространение получили следующие составы НМ спанлейс [2]:

- вискоза/ полиэфир;
- вискоза/ полипропилен;
- вискоза;
- полиэфир;
- хлопок;
- полипропилен;
- хлопок/полипропилен;
- хлопок/полиэфир;
- хлопок/вискоза;
- целлюлоза/полиэфир.

Состав определяет конечную сферу использования материала. В медицине наибольшее распространение получили нетканые материалы, производимые по технологии спанлейс на основе вискозы [5].

Чаще всего медицинские изделия из НМ должны подвергаться стерилизации. Для данных изделий принято использовать радиационную стерилизацию. Иногда используется газовая стерилизация – обработка изделий оксидом этилена, но этот метод имеет ряд недостатков: окись этилена легко воспламеняется, является пожароопасным веществом и является сильным ядом для человека, проявляя канцерогенное, мутагенное, раздражающее и наркотическое действие [6].

В настоящее время радиационным методом стерилизуется более 50% медицинских изделий одноразового пользования. Стерилизующим агентом при радиационной стерилизации является проникающее гамма-излучение или ускоренные электроны [7].

Электронно-лучевое (ЭЛ) излучение не предполагает глубинного проникновения в толщу продукта, как это делает гамма-излучение. В зависимости от плотности продукции ЭЛ-излучение проникает на глубину до 40 см от поверхности упаковки изделия. Действие ЭЛ-излучения ограничивается несколькими секундами, в отличие от многочасового воздействия на продукт гамма-излучением. Кратковременность воздействия ускоренных электронов снижает возможные эффекты окисления, сводя к минимуму нарушения в структуре, как продукта, так и упаковочного материала [8-10].

При проведении радиационной стерилизации устанавливают диапазон доз, при которых будет обеспечена стерильность изделий. Как правило, данный диапазон составляет от 20±3 кГр до 40±5 кГр. В некоторых случаях верхняя граница указанного диапазона может быть выше, в зависимости от вида изделия и характеристик стерилизующей установки.

Известно, что ионизирующее излучение приводит к деструкции некоторых полимеров, например полипропилена, проявляющегося в уменьшении технических показателей изделий на их основе. Также возможно протекание в полимерах автоокислительных реакций инициированных радиацией, которые, могут продолжаться длительное время после облучения изделий [11, 12], способствуя разрушению материала, что отражается на его работоспособности.

Учитывая то, что с каждым годом объемы производства и потребления стерильных изделий из НМ, производимого по технологии спанлейс растет, возникает необходимость в изучении влияния ионизирующего излучения на технические свойства данного материала. Практический интерес представляет определение наиболее чувствительных к воздействию радиации показателей (так называемых характерных показателей радиационной стойкости) по которым возможно осуществление контроля потребительских свойств НМ спанлейс после стерилизации. Так как в настоящее время для стерилизации используется как ускоренные электроны, так и гамма-излучение, большое значение имеет также определение влияния вида ионизирующего излучения на нетканый материал.

Таким образом, целью данной работы являлось определение влияния поглощенной дозы при радиационной стерилизации и вида ионизирующего излучения на свойства НМ производимого по технологии спанлейс.

В качестве объекта исследования был выбран перфорированный спанлейс (состав полипропилен/вискоза), используемый в качестве салфеток, тампонов тупферов, масок и т.д.

Образцы нетканых материалов были облучены в широком диапазоне поглощенных доз – от 20 до 60 кГр на радиационно-технической установке: ИЛУ-10, принадлежащей ООО «СФМ-Фарм» и радиационно-технической установке «Пинцет» (укомплектована источниками излучения кобальт 60), принадлежащей ОАО "Татхимфармпрепараты".

Были проведены физико-механических испытания облученных образцов (рисунок 2, 3). В качестве показателей были выбраны: прочность при удлинении в продольном и поперечном направлении (ГОСТ Р 53226-2008), прочность на прорыв (ИСО 13938-1:1999), абсорбирующая способность абсорбента (ISO 9073-12:2002) в соответствии с техническими условиями на НМ.

При облучении дозой 60 кГр происходит снижение прочности НМ в продольном направлении: в случае гамма-излучения на 40%, ускоренных электронов на 12%. Прочность НМ при удлинении в поперечном направлении имеет небольшие значения и соответственно снижается

незначительно. Наблюдается изменение цвета с белого на светло-желтый при облучении НМ гамма-лучами поглощенной дозой 60 кГр.

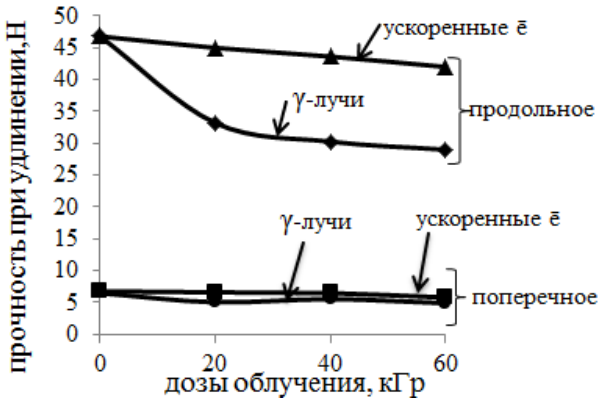

Рис. 2 − Зависимость прочности при удлинении в поперечном и продольном направлении перфорированного НМ спанлейс от поглощенной дозы радиационного облучения двух видов: ускоренные электроны и гамма-лучи

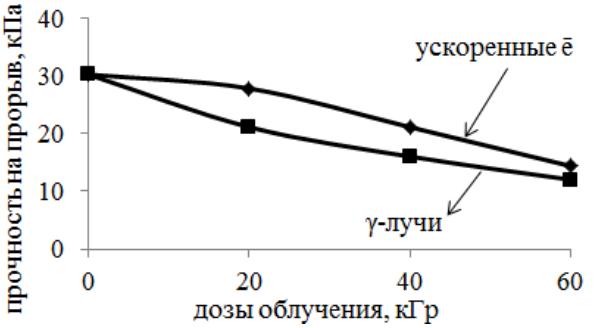

Рис. 3 − Зависимость прочности на прорыв перфорированного НМ спанлейс от поглощенной дозы радиационного облучения двух видов: ускоренные электроны и гамма-лучи

При облучении гамма-лучами и ускоренными электронами дозой 60 кГр снижение прочности на прорыв составляет ~ 60%. Следует отметить, что показатели прочности на прорыв НМ, облученного ускоренными электронами поглощенной дозой 20 и 40 кГр, имеют значения на ~20% больше, чем при гамма-излучении.

Перфорированный НМ спанлейс характеризуется как материал с большой впитывающей способностью. Было исследовано влияние дозы облучения различных источников на абсорбирующую способность материала. Данные представлены на рисунке 4. Абсорбирующая способность НМ при облучении гамма-лучами дозой 60 кГр падает на 50%, при облучении ускоренными электронами дозой 60 кГр падение составляет лишь 20%.

Снижение физико-механических показателей НМ спанлейс при облучении, скорее всего, обусловлено присутствием в составе НМ полипропиленовых волокон. Полипропилен благодаря наличию третичных атомов углерода в основной макромолекулярной цепи имеет низкую стойкость к термоокислительной и радиационной деструкции [15]. Нужно отметить, что при поглощенной дозе выше 50 кГр начинается разрушение вискозного материала [16].

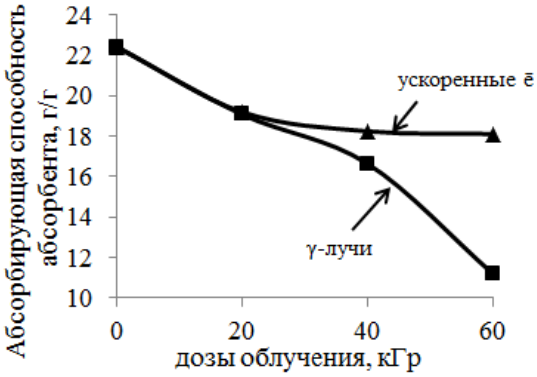

Рис. 4 – Зависимость абсорбирующей способности перфорированного НМ спанлейс от поглощенной дозы радиационного облучения двух видов: ускоренные электроны и гамма-лучи

Более значительное падение показателей при облучении гамма-излучением связано с тем, что наряду с радиационной деструкцией, более интенсивно в отличие от облучения ускоренными электронами протекает и термоокислительная деструкция, поскольку температура при стерилизации гамма-излучением составляет 70-80ºС. Также, влияет время стерилизации. Как было отмечено выше при облучении ускоренными электронами действие излучения ограничивается несколькими секундами, в отличие от многочасового воздействия на продукт гамма-излучением, что также отражается на свойствах материfла. Кроме того, интенсивному протеканию окислительных процессов и деструкции способствует появление озона при длительной радиационной стерилизации.

Таким образом, в результате проведенных исследований перфорированного НМ полученного по технологии спанлейс показано, что все изученные показатели – прочность при пространственном растяжении, прочность при одноосном растяжении (в продольном направлении) адсорбирующая способность, в изученном диапазоне поглощенных доз могут характеризовать стойкость НМ к воздействию радиации.

На основании полученных результатов, можно рекомендовать использовать, как наиболее щадящий вид радиационной стерилизации, стерилизацию ускоренными электронами.

Литература

1 Хакимуллин Ю.Н. Нетканые материалы на основе полимеров, используемые для производства медицинской одежды и белья, стерилизуемой радиационным излучением: виды материалов, технологии производства. Вестник Казанского технологического университета / Ю.Н. Хакимуллин, С.И. Вольфсон, Р.Ю. Галимзянова, И.В. Кузнецова, А.В. Ручкин, И.Ш. Абдуллин – 2011. – №23. – С. 97-103

2 Спанлейс: технология, свойства, применение // newchemistry.ru: аналитический портал химической

промышленности. URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=336 (дата обращения:02.03.2014).
3 Chellamani, K.P. and Vignesh Balaji, R.S. 2010. Nonwovens in healthcare and hygiene. Asian Tech. Textiles. 4(3): 49-54.
4 Huang H., Xiao Ga. 2004. Spunlace (hydroentanglement), Retrieved November 5, 2011 from www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Spunlace.htm
5 Мельнев С.А. Способы придания полипропиленовым нетканым материалам гидрофильных свойств // RUSTM.NET: электр. журнал Технический текстиль №19, 2009 URL:http://rustm.net/catalog/article/1515.html (дата обращения:16.04.2014).
6 Промышленная стерилизация газовым методом [Электронный ресурс] URL: http://medinfo.dp.ua/_stat/s207. htm (дата обращения:10.03.2014).
7 Алимов А.С. Практическое применение электронных ускорителей. Препринт НИИЯФ МГУ № 2011 – 13/877, Москва, 2011 г.
8 Гречухин Д.П. Гамма-излучение // Физическая энциклопедия / Д. М. Алексеев, А. М. Балдин, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романови др.; под общ. ред. А. М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1988-1999.
9 Методы стерилизации и их воздействие на медицинское оборудование, содержащее электронику Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.elin.ru/files/pdf/Thermochron/AN5068_RU.pdf (дата обращения:29.02.2014).
10 Источники ионизирующего излучения [Электронный ресурс]. URL: http://sp-department.ru/for_students/online_education/course.php
COURSE_ID=2&LESSON_ID=35 (дата обращения: 02.02.2014).
11 Иванов В.С. Радиационная химия полимеров: учебное пособие для вузов/ В.С. Иванов. – Л.: Химия, 1988. – 320 с.: ил.
12 Process for the production ofa gamma-radiation resistant polypropylene fibre for a radiation sterilizable non-woven fabric: пат. EP 0667406 A1 European patent: EP19950300857 / Makipirtti simo [FI]; Bergholm heikki [FI]; заявительSuominen Oy J. W. [FI]; заявл. 13.02.95 ; опубл. 16.08.96.
13 Portnoy, R.C. Polypropylene for Medical Applications / R.C. Portnoy. – Business Briefing : Medical Device Manufacturing & Technology, 2002.– 1-4 с.
14 Куксенко Е.С. Повышение стойкости полипропилена к термоокислительной деструкции Дис. ... канд. хим. наук. Москва. 2005. - 3 с.
15 Рахматуллина Э.Р. Влияние стабилизаторов на свойства композиций медицинского назначения на основе полипропилена / Э.Р. Рахматуллина , Р. Ю. Галимзянова, М. С. Лисаневич, Е. С. Кузнецова, Ю. Н. Хакимуллин, Н. А. Мукменева – 2013. – №22. – С. 181-183
16 Material Considerations // Irradiation Processing. URL: http://www.sterigenics.com (дата обращения:16.09.2014).

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ, проект № 2196 базовой части государственного задания.

© **Ю. Н. Хакимуллин** – д-р техн. наук, проф. каф. ТОМЛП, ХТПЭ КНИТУ, **К. В. Легаева** – магистрант каф. ТОМЛП КНИТУ; **Е. С. Кузнецова** – магистрант каф. ТОМЛП КНИТУ; **Л. С. Травкина** – аспир. каф. ХТПЭ НИТУ; **М. С. Лисаневич** – доцент каф. ТОМЛП КНИТУ, lisanevichm@gmail.com; **Р. Ю. Галимзянова** – доцент каф. ТОМЛП КНИТУ, galimzyanovar@gmail.com.

© **Y. N Khakimullin** - Dr. Sci. Sciences, prof. Department. TEMLI, KNRTU; **K. V. Legaeva** – Magister Department. TEMLI, KNRTU; **E. S. Kuznetsova** - Magister Department TEMLI, KNRTU; **L. S. Travkina** - Magister Department.CTEP, KNRTU; **M. S. Lisanevich** – Ph.D., AP., Department TEMLI, KNRTU, llisanevichm@gmail.com; **R. Y. Galimzyanova** - Ph.D., AP., TEMLI, KNRTU galimzyanovar@gmail.com.