

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 621.317.61:678.5

DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_9_32

Л. Р. Галеева, С. В. Гильфанова

ЭЛЕКТРЕТНЫЕ НЕТКАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОТ ФАКТОРОВ ИНГАЛЯЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: мелтблаун, спанбонд, электреты, бактериостатический эффект, микроорганизмы, медицинская маска, грамположительные бактерии.

В данном исследовании изучалась возможность придания нетканым полипропиленовым материалам, применяемым в производстве медицинских масок, бактериостатических свойств за счёт создания электретного состояния. В качестве объектов исследования использовались нетканые полипропиленовые полотна, изготовленные методами Спанбонд (плотность 20 г/м²) и Мелтблаун (плотность 25 г/м²), которые наиболее широко применяются в медицинской промышленности. Оценка антимикробного действия электретизированных материалов проводилась после их обработки методом коронного разряда, а их чувствительность к модифицированным материалам определялась диско-диффузионным методом на питательной среде агар Мюллера-Хинтона. В исследовании так же были задействованы контрольные группы необработанных образцов для обеспечения достоверности результатов. Для испытаний были выбраны бактерии, наиболее характерные для микрофлоры верхних дыхательных путей. Результаты показали, что необработанные образцы не оказывали влияния на рост микроорганизмов, тогда как электретизированные полотна проявили избирательную бактериостатическую активность. Было установлено, что электретный эффект подавляет развитие грамположительных бактерий, таких как *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus viridians* и др. В то же время грамотрицательные микроорганизмы, такие как *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* и др. оказались устойчивыми к воздействию. Это объясняется различиями в структуре клеточной стенки: у грамотрицательных бактерий присутствует дополнительная внешняя мембрана, обеспечивающая защиту от внешних факторов. Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения электретных полипропиленовых материалов в производстве одноразовых медицинских масок. Такие изделия могут снизить риск распространения инфекций, передающихся воздушно-капельным путём, за счёт подавления роста патогенных грамположительных бактерий.

L. R. Galeeva, S. V. Gilfanova

ELECTRET NON-WOVEN MATERIALS AS A METHOD OF PROTECTION FROM INHALATION EXPOSURE FACTORS

Key words: meltblown, spunbond, electrets, bacteriostatic effect, microorganisms, medical mask, gram-positive bacteria.

This study investigated the possibility of imparting bacteriostatic properties to nonwoven polypropylene materials used in the production of medical masks by creating an electret state. The objects of the study were nonwoven polypropylene fabrics manufactured by the Spunbond (density 20 g / m²) and Meltblown (density 25 g / m²) methods, which are most widely used in the medical industry. The antimicrobial effect of the electreted materials was assessed after their treatment with the corona discharge method, and their sensitivity to modified materials was determined by the disk diffusion method on the Mueller-Hinton agar nutrient medium. The study also involved control groups of untreated samples to ensure the reliability of the results. Bacteria most typical of the upper respiratory tract microflora were selected for testing. The results showed that untreated samples did not affect the growth of microorganisms, while electreted fabrics showed selective bacteriostatic activity. It was found that the electret effect suppresses the development of gram-positive bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus viridians*, etc. At the same time, gram-negative microorganisms such as *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, etc. were resistant to the effect. This is explained by differences in the structure of the cell wall: gram-negative bacteria have an additional outer membrane that provides protection from external factors. The data obtained indicate the prospects of using electret polypropylene materials in the production of disposable medical masks. Such products can reduce the risk of spreading airborne infections by suppressing the growth of pathogenic gram-positive bacteria.

Введение

На сегодняшний день, одной из основных проблем здравоохранения является обеспечение здоровья медицинских работников. Известно, что все медицинские работники в силу их профессиональной деятельности постоянно находятся в группе риска и имеют высокие показатели как общей, так и профессиональной заболеваемости. Это обусловлено их регулярным

взаимодействием с разнообразными патогенными факторами инфекционного и неинфекционного происхождения. Основной путь передачи подобных инфекций – воздушно-капельный. Защита органов дыхания позволяет предотвратить заражение медицинских работников рядом вирусных и бактериальных инфекций (туберкулез, грипп, ОРЗ, корь, краснуха, ветряная оспа, ангина и др.), а также предупредить возникновение аллергических

заболеваний [1]. В инкубационный период больной человек может распространять возбудителей инфекции и тем, самым заражать воздух и пыль помещений, где он находится. Решением в профилактике профессиональных заболеваний, передающихся ингаляционным путем, является использование эффективных средств индивидуальной защиты. Одним из таких средств защиты и минимизации риска инфицирования является одноразовая медицинская маска.

Медицинские маски изготавливаются из нетканых материалов и могут, состоят из двух, трех, или четырех внешних слоев, а также самого фильтра. Основное требование к материалу из которого изготавливаются медицинские маски – это надежная фильтрация вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Надежными материалами для обеспечения данного требования служат нетканые материалы, изготовленные из полимерных волокнистых материалов. Самыми распространенными представителями таких материалов являются мелтблаун и спанбонд. Расширение областей применения нетканых полотен невозможно без совершенствования свойств самих полимерных материалов [2-4].

В научной технической литературе имеется сведения об эффективности применения электретенных материалов для создания воздушных фильтров и мембран. При этом электретенные фильтры используют для очистки не только воздушных сред, но газовых, и жидких. Кроме того, электретенный эффект нашел применение и в медицине при получении медицинских аппликаторов и антитромбогенных имплантантов (например, при обработке искусственных сосудов с целью профилактики уменьшения тромбоза крови [5-6]. Электретен — это материал, который обладает устойчивым электрическим зарядом или электрическим полем, находящимся в состоянии равновесия. Эти свойства сохраняются в течение длительного времени, даже после удаления внешнего источника электрического поля [7].

Можно предположить, что если на поверхность электрета попадет микроорганизм, то электрический заряд или электрическое поле материала сможет способствовать торможению метаболизма, либо приводить клетки микроорганизмов к гибели, т.е. проявлению микробостатических и микробоцидных свойств [8].

Для придания нетканым материалам защитных свойств нами была предложена модификация полимерных волокнистых материалов в поле коронного разряда.

Таким образом, целью настоящей работы стало исследование влияния электрического заряда электретенных нетканых полипропиленовых полотен, используемых для производства одноразовых медицинских масок, на поведение болезнетворных микроорганизмов.

Экспериментальная часть

В данной работе в качестве образцов волокнистых нетканых полотен использовали

спанбонд плотностью 20 г/м² (С20) и мелтблаун плотностью 25 г/м² (М25). Оба вида материала изготавливались из полипропиленовых волокон, отличающихся между собой методом производства. С точки зрения структуры спанбонд состоит из толстых и длинных волокон, образующих хаотичную структуру. Мелтблаун состоит из тонких, коротких и хаотично расположенных волокон, образующих плотную структуру с большим количеством микроскопических пор. Образцы мелтблауна и спанбонда, нарезанные в форме квадратов 80х80 мм предварительно подвергались термообработке в сушильном шкафу при 90 °С на протяжении 600 с. Далее их электретенговали в коронном разряде при напряжении 15 кВ в течение 30 с (С20Э и М25Э). Все работы проводились в стерильных перчатках и контактировали со стерильными приборами. После электретенгования образцы были помещены в стерильные пакеты. В дальнейшем образцы полотен были исследованы на стабильность к микроорганизмам в бактериологической лаборатории.

Исследование экспериментальных образцов на стабильность к микроорганизмам проводилось по клиническим рекомендациям «Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам» (Версия 2015-02). Определение чувствительности микроорганизмов к данным полотнам проводилось диско – диффузионным методом.

Сущность метода. На питательную среду - агар Мюллера – Хинтона (МХА) без добавок и МХА с добавками для стрептококков и гемофильной палочки наносили суспензию (строго соответствующую плотности 0,5 по стандарту мутности МакФарланда) микроорганизмов. В качестве добавок применялись 5% механически дефибрированная лошадиная кровь и 20 мг/л β-никотинамидадениндинуклеотид. Применение добавок для стрептококков и гемофильной палочки обусловлено тем, что они относятся к бактериям со сложными питательными потребностями и в работе предпочтительно использовать колонии, выросшие на кровяном агаре. Бактериальную суспензию инокулировали на агар в течение 15 минут. Далее на поверхность агара наносили, нарезанные на квадраты, размером 3х3см, кусочки полотен. Условия инкубации: термостатирование при 37°С, обычная атмосфера, 16 – 20 час. Для гемофильной палочки и стрептококков – термостатирование при 37°С, атмосфера с 4-6 % СО₂, 16 – 20 часов. Инкубация гемофильной палочки и стрептококков в условиях содержания СО₂ необходима для обеспечения активизации определенных ферментов, поддержания оптимального уровня рН в среде, что являются важными условиями для их роста и размножения. Вся работа проходила в боксе, в стерильных условиях, с использованием стерильных инструментов.

Обработка результатов: Зона полного подавления роста микроорганизмов вокруг полотна, определяемая невооруженным глазом, при

расположении чашки на расстоянии примерно 30 см от глаз, четкие края зоны подавления, свидетельствует о бактерицидном действии испытуемого полотна на данную культуру.

Четкие края зоны подавления роста микроорганизмов, рост изолированных единичных колоний внутри зоны – свидетельствуют о бактериостатическом действии испытуемого образца.

Отсутствие зоны подавления роста микроорганизмов вокруг испытуемого образца свидетельствует об отсутствии эффекта на данный микроорганизм (рис. 1).

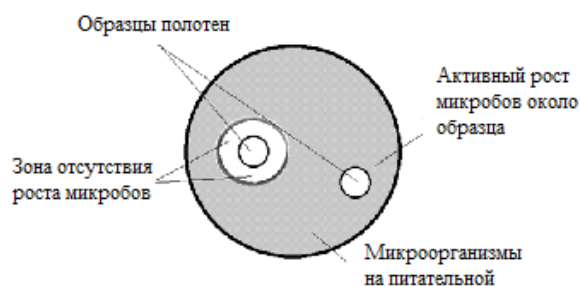


Рис. 1 – Оценка диско-диффузионным методом чувствительности микроорганизмов

Fig. 1 – Assessment of microbial sensitivity using the disc diffusion method

Обсуждение результатов

Ношение медицинских масок является важной мерой профилактики, которая помогает защищать как индивидуальное здоровье, так и здоровье окружающих. Оно способствует снижению распространения инфекционных заболеваний и помогает в управлении общественным здоровьем. Если маски будут не просто, как барьерный материал, обеспечивать защиту от попадания биологических жидкостей на кожу, слизистые ротовой полости и носа, но будут затормаживать процессы роста и размножения бактерий и микроорганизмов на поверхности масок, то это поможет избежать дальнейшего инфицирование.

Влияние электростатического эффекта на развитие различных микроорганизмов (одноклеточных организмов – бактерий) было изучено на примере определения чувствительности микроорганизмов к обработанным в коронном разряде образцам нетканых материалов. Результаты испытаний представлены в табл. Выбор культур, на которых проводились испытания, был основан на анализе микроорганизмов, которые составляют основную долю микрофлоры, заселяющей верхние дыхательные пути человека. Туда они попадают с пылью, аэрозольными частицами, хотя большая часть бактериоидов, коринеформных бактерий, гемофильных палочек, лактобактерий, стафилококков, стрептококков, нейссерий, пептококков, пептострептококков и др. задерживается и погибает в носо- и ротоглотке [9].

Из результатов, представленных в табл. 1, видно, что образцы нетканых полотен без обработки не

проявили чувствительности к развитию и росту микроорганизмов. Полученные результаты свидетельствуют об актуальности данной тематики работы, т.к. при изучении чувствительности ряда микроорганизмов к электростатическим материалам было замечено проявление бактериостатического эффекта.

Проявление бактериостатического действия означает, что гибели микроорганизмов не происходит, а наступает лишь полное или частичное угнетение роста и задерживание развития микроорганизмов [10].

Исследования показали, что электростатический эффект проявляет избирательную активность в отношении микроорганизмов, действуя только на конкретные структуры и не действуя на клетки других организмов. Бактериостатический эффект был отмечен на микроорганизмах *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus* и др. (табл). Эти бактерии объединяет то, что они заселяют кожные покровы, ротовую полость, зев и органы дыхания человека. Для бактерий рода *Staphylococcus* характерен воздушно-пылевой и воздушно-капельный путь заражения, для бактерий рода *Streptococcus* – воздушно-капельный, для бактерий рода *Haemophilus* – воздушно-капельный и для рода *Enterococcus* – контактно-бытовой.

Те микроорганизмы, которые преобладают и размножаются в желудочно-кишечном тракте, мочеполовой системе и в меньшем количестве в слизистой оболочке дыхательных путей человека проявили устойчивость к действию электрических зарядов или электрического поля. Но, учитывая ареал их жизни [9], вероятность распространения данных бактерий ингаляционным путем минимален.

Известно, что на развитие микроорганизмов заметное влияние оказывают напряжение магнитных полей, которые и определяют протекание многих биологических процессов [10-13]. Данный факт позволяет нам предположить, что создаваемое на поверхности полотен поляризационный заряд также может оказывать влияние на развитие микроорганизмов. При заряде полотен в поле коронного разряда происходит бомбардировка отрицательно заряженными частицами поверхности обрабатываемого материала. При этом ионы могут быть захвачены на глубине нескольких молекулярных слоев от поверхности за счет работы как объемных, так и поверхностных ловушек, что и приводит к образованию поляризационного заряда [14]. Проявление кулоновских и электростатических сил способствуют угнетению функции микроорганизмов и подавлению роста их развития.

Имеется еще одна причина отсутствия восприимчивости ряда бактерий (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa*) к воздействию электрического поля электростатического материала, связанная с их строением. Перечисленные микроорганизмы являются грамотрицательными и у них есть внешняя защитная мембрана.

Таблица 1 – Результаты испытаний на определение чувствительности микроорганизмов к волокнистым нетканым материалам**Table 1 – Results of tests to determine the sensitivity of microorganisms to fibrous nonwoven materials**

№ п/п	Наименование образца	Наименование культуры	Результат испытаний
1	C 20	<i>Staphylococcus aureus</i> (Золотистый стафилакокк)	Без изменений
	C20Э		Бактериостатическое
2	C 20	<i>Staphylococcus epidermidis</i> (Эпидермальный стафилакокк)	Без изменений
	C20Э		Бактериостатическое
3	C 20	<i>Haemophilus influenzae</i> (Гемофильная палочка)	Без изменений
	C20Э		Бактериостатическое
4	C20	<i>Haemophilus parainfluenzae</i> (Гемофилюс)	Без изменений
	C20Э		Бактериостатическое
5	C20	<i>Streptococcus pyogenes</i> (Стрептококк пиогенный)	Без изменений
	C20Э		Бактериостатическое
6	M25	<i>Streptococcus viridians</i> (Стрептококк пиогенный)	Без изменений
	M25Э		Бактериостатическое
7	M25	<i>Enterococcus faecalis</i> (Энтерококк фекальный)	Без изменений
	M25Э		Бактериостатическое
8	M25	<i>Enterococcus faecium</i> (Энтерококк фэциум)	Без изменений
	M25Э		Бактериостатическое
9	C 20	<i>Escherichia coli</i> (Кишечная палочка)	Без изменений
	C20Э		Без изменений
10	C 20	<i>Klebsiella pneumoniae</i> (Клебсиелла пневмонии, палочка Фридлендер)	Без изменений
	C 20Э		Без изменений
11	C 20	<i>Klebsiella oxytoca</i> (Клебсиелла окситока)	Без изменений
	C20Э		Без изменений
12	C 20	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Синегнойная палочка)	Без изменений
	C20Э		Без изменений
	M25		Без изменений
	M25Э		Без изменений

Грамположительные и грамотрицательные бактерии – это бактерии, клетки которых не окрашиваются или окрашиваются по методу Грама. Способность или неспособность бактерий к окрашиванию по Граму обусловлена строением их клеточной стенки [15].

Грамотрицательные бактерии имеют двойную защитную экранировку, изолирующую клеточную стенку бактерий от воздействия электрического поля электретоного нетканого полотна.

Заключение

Таким образом, исследованный в работе фильтрующий волокнистый нетканый материал с электретным эффектом обладает бактериостатическим действием по отношению к ряду культур микроорганизмов, что позволяет существенно расширить его функции и использовать в производстве одноразовых медицинских масок, как эффективного материала для фильтрации воздушных сред.

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики

Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Литература

1. А.А. Голубкова, Е.И. Сисин, *Маски и респираторы в медицине: выбор и использование*. УГМУ, Екатеринбург, 2011. 32 с.
2. А.В. Тарасов, С.А. Лепешин, Ю.А. Федотов, О.В. Прунтова, А.И. Тверской, Ю.Т. Панов, *Мембраны и мембранные технологии*, 3, 1, 69-74 (2013). DOI: 10.1134/S2218117213010094.
3. А.Г. Кравцов, С.А. Марченко, С.В. Зотов, В.М. Станкевич, А.Д. Наумов, *Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы*. БелГУТ, Гомель, 2012. 319 с.
4. Ю.Н. Хакимуллин, С.И. Вольфсон, Р.Ю. Галимзянова, И.В. Кузнецова, А.В. Ручкин, И.Ш. Абдуллин, *Вестник Казанского технологического университета*, 23, 97-103 (2011). DOI: 19_07_20213721-67-7-75.
5. Ю.А. Гороховатский, *Соросовский Образовательный журнал*, 8, 92-98 (1997).
6. М.Ф. Галиханов, Р.Я. Дебердеев, *Вестник Казанского технологического университета*, 4, 45-57 (2010).
7. А.Н. Губкин, *Электрет*. Наука, Москва, 1978. 83 с.
8. М.Ф. Галиханов, И.С. Абасева, Л.Р. Галеева, С.В. Гильфанова, А.К. Загрутинова, И.В. Сидорова, И.И. Яруллина, *Вестник технологического университета*, 3, 56, (2019).
9. А.А. Воробьев, А.С. Быкова, *Атлас по медицинской микробиологии, вирусологии и иммунологии*.

- Медицинское информационное агентство, Москва, 2003. 236 с.
10. В.В. Лысак, *Микробиология*. БГУ, Минск, 2007. 426 с.
11. В.В. Кукшинов, Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева, *Вестник ПНИПУ*, 1. 53-62 (2014);
12. А.В. Тарасов, Ю.А. Федотов, С.А. Лепешин, Ю.Т. Панов, Е.С. Яворская, *Перспективные материалы*, 11, 487-492 (2011).
13. А.И. Нетрусов, И.Б. Котова, *Микробиология*. Издательский центр «Академия», Москва, 2009. 352 с.
14. S.V. Gilfanova, M.F. Galikhanov, L.R. Galeeva, *AIP Conference Proceedings*, 2174, 4, 020214 – 1-020214 (2019). DOI: 10.1063/1.5134365.
15. Л.Р. Галеева, М.Ф. Галиханов, С.В. Гильфанова, *Актуальные проблемы науки о полимерах: материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов*. Казан. нац. исслед. технол. ун-т, Казань, 2024. С. 329-331.

References

1. A.A. Golubkova, E.I. Sisin, *Masks and Respirators in Medicine: Selection and Use*. UGMU, Yekaterinburg, 2011. 32 p.
2. A.V. Tarasov, S.A. Lepeshina, Yu.A. Fedotov, O.V. Pruntova, A.I. Tverskoy, Yu.T. Panov, *Membranes and Membrane Technologies*, 3, 1, 69-74 (2013). DOI: 10.1134/S2218117213010094.
3. A.G. Kravtsov, S.A. Marchenko, S.V. Zotov, V.M. Stankevich, A.D. Naumov, *Polymeric fibrous porous filter materials*. BelGUT, Gomel, 2012. 319 p.
4. Yu.N. Khakimullin, S.I. Wolfson, R.Yu. Galimzyanova, I.V. Kuznetsova, A.V. Ruchkin, I.Sh. Abdullin, *Herald of Kazan Technological University*, 23, 97-103 (2011). DOI: 19_07_20213721-67-7-75.
5. Yu.A. Gorokhovatsky, *Soros Educational Journal*, 8, 92-98 (1997).
6. M.F. Galikhanov, R.Ya. Deberdeev, *Herald of Kazan Technological University*, 4, 45-57 (2010).
7. A.N. Gubkin, *Electret*. Science, Moscow, 1978. 83 p.
8. M.F. Galikhanov, I.S. Abasheva, L.R. Galeeva, S.V. Gilfanova, A.K. Zagrutinova, I.V. Sidorova, I.I. Yarullina, *Herald of Technological University*, 3, 56, (2019).
9. A.A. Vorobyov, A.S. Bykova, *Atlas of Medical Microbiology, Virology, and Immunology*. Medical Information Agency, Moscow, 2003. 236 p.
10. V.V. Lysak, *Microbiology*. BSU, Minsk, 2007. 426 p.;
11. V.V. Kukshinov, E.A. Farberova, E.A. Tingaeva, *Bulletin of PNPU*, 1. 53-62 (2014).
12. A.V. Tarasov, Yu.A. Fedotov, S.A. Lepeshina, Yu.T. Panov, E.S. Yavorskaya, *Promising Materials*, 11, 487-492 (2011).
13. A.I. Netrusov, I.B. Kotova, *Microbiology*. Academy Publishing Center, Moscow, 2009. 352 p.
14. S.V. Gilfanova, M.F. Galikhanov, L.R. Galeeva, *AIP Conference Proceedings*, 2174, 4, 020214 – 1-020214 (2019). DOI: 10.1063/1.5134365.
15. L.R. Galeeva, M.F. Galikhanov, S.V. Gilfanova, *Current Issues in Polymer Science: Proceedings of the IV All-Russian Scientific Conference (with international participation) of university teachers and students*. Kazan National Research Technological University, Kazan, 2024. pp. 329-331.

© Л. Р. Галеева – кандидат техн. наук, доцент, кафедра Технологии переработки полимеров и композиционных материалов (ТППКМ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, L.musina@yandex.ru; С. В. Гильфанова – аспирант, кафедра ТППКМ, КНИТУ, svetlana-volkova-1994@mail.ru.

© L. R. Galeeva – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Department of Polymer and Composite Materials Processing Technology (PCMPT), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, L.musina@yandex.ru; S. V. Gilfanova – PhD-student, the PCMPT department, KNRTU, svetlana-volkova-1994@mail.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 04.07.25.

Дата принятия рукописи в печать – 24.08.25.