ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 677.01
EDN: CNEEDU
DOI: 10.21285/achb.985

Исследование свойств нетканых материалов, модифицированных раствором хитозана

Р.Ю. Галимзянова✉, Е.В. Перушкина, М.С. Лисаневич, Е. Али

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Модификация нетканых материалов с целью придания им антибактериальных свойств является важным процессом для изготовления широкого спектра изделий медицинского назначения – медицинских масок, раневых повязок, операционного белья и т.д. Однако кроме антибактериальных свойств представляет интерес влияние модификации на потребительские свойства нетканого материала. Целью проведенного исследования являлось изучение потребительских и антибактериальных свойств нетканого материала, модифицированного хитозаном. Кроме того, что хитозан имеет антибактериальную активность, он также является биосовместимым гидрофильным полимером. В ходе работы были изучены четыре промышленные марки хитозана: хитозан Premium Quality (Италия), хитозан пищевой кислоторастворимый, сукцинат хитозана, хитозан низкомолекулярный пищевой водорастворимый (Россия). В результате проведенных исследований установлено, что из изученных марок хитозана антибактериальной активностью обладают хитозан пищевой кислоторастворимый и хитозан Premium Quality. Обработка гидрофильного нетканого материала, полученного по технологии спанбонд, раствором хитозана приводит к уменьшению воздухопроницаемости на 19% и увеличению жесткости на 77%. В случае применения концентраций раствора хитозана до 0,2% паропроницаемость растет, дальнейшее же увеличение концентрации приводит к снижению данного показателя. Гигроскопичность в изученном диапазоне дозировок не меняется. Результаты исследования свидетельствуют о нецелесообразности пропитки нетканых материалов медицинского назначения раствором хитозана с концентрацией более 0,2%, поскольку при более высоких концентрациях раствора потребительские характеристики (воздухопроницаемость и паропроницаемость) модифицированного нетканого материала ухудшаются.*

Ключевые слова: *нетканый материал, хитозан, паропроницаемость, жесткость, антибактериальные свойства, гигроскопичность, воздухопроницаемость*

Для цитирования: Галимзянова Р.Ю., Перушкина Е.В., Лисаневич М.С., Али Е. Исследование свойств нетканых материалов, модифицированных раствором хитозана // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 3. DOI: 10.21285/achb.985. EDN: CNEEDU.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Properties of nonwoven fabric modified with chitosan solution

Rezeda Yu. Galimzyanova✉, Elena V. Perushkina, Maria S. Lisanevich, Edres Ali

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

Abstract. *The modification of nonwoven fabrics designed to impart antibacterial properties is an important process in the manufacture of a wide range of medical products, including medical face masks, wound dressings, surgical drapes, etc. However, apart from antibacterial properties, the effect of modification on the consumer properties of nonwoven fabric is also of interest. The present study was aimed at examining the consumer and antibacterial properties of nonwoven fabric modified with chitosan. In addition to exhibiting antibacterial activity, chitosan is also a biocompatible hydrophilic polymer. In this study, four industrial grades of chitosan were examined: Premium Quality chitosan (Italy), food-grade acid-soluble chitosan, chitosan succinate, and low-molecular-weight food-grade water-soluble chitosan (Russia). It was found that of*

© Галимзянова Р.Ю., Перушкина Е.В., Лисаневич М.С., Али Е., 2025

the studied chitosan grades, food-grade acid-soluble chitosan and Premium Quality chitosan exhibit antibacterial activity. The treatment of hydrophilic nonwoven fabric obtained using the spunbond technology with a chitosan solution leads to a decrease in air permeability by 19% and an increase in stiffness by 77%. When chitosan solution concentrations of up to 0.2% are used, vapor permeability increases; however, a further concentration increase leads to a decrease in this parameter. Within the analyzed range, the hygroscopicity does not change. The study results indicate the inexpediency of impregnating medical nonwoven fabrics with chitosan solution at concentrations higher than 0.2%, since at higher concentrations, the consumer properties (air and vapor permeability) of modified nonwoven fabric deteriorate.

Keywords: *nonwoven fabric, chitosan, vapor permeability, stiffness, antibacterial properties, hygroscopicity, air permeability*

For citation: Galimzyanova R.Yu., Perushkina E.V., Lisanevich M.S., Ali E. Properties of nonwoven fabric modified with chitosan solution. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2025;15(3). (In Russian). DOI: 10.21285/achb.985. EDN: CNEEDU.

ВВЕДЕНИЕ

Нетканые материалы на основе полипропилена широко применяются для изготовления различных изделий медицинского назначения – раневых повязок, медицинских масок, хирургической одежды и белья. В связи с этим зачастую встает вопрос о придании такого рода материалам антибактериальных свойств [1–7].

В настоящее время внимание исследователей в качестве антибактериальной добавки привлекает хитозан. Антимикробное действие хитозана объясняется наличием положительно заряженной аминогруппы, которая взаимодействует с отрицательно заряженными мембранами микробных клеток, что приводит к утечке белковых и других внутриклеточных компонентов микроорганизмов. Кроме того, что хитозан имеет антибактериальную активность, он также является биосовместимым гидрофильным полимером [8].

Технология нанесения хитозана на нетканый материал на основе полипропилена в целом состоит из двух этапов. На первом этапе необходимо повысить гидрофильные свойства нетканого материала, который исходно по своей природе является гидрофобным. Для этих целей используют модификацию нетканого материала гидрофильными пропитками или, например, обработку неравновесной низкотемпературной плазмой и т.д. [9–11]. На втором этапе следует погрузить нетканый материал в водный раствор хитозана для нанесения биополимера. Таким образом получают модифицированные нетканые материалы, обладающие антибактериальными свойствами. Помимо этого, разрабатывают способы химической прививки хитозана к нетканым материалам различной природы.

В целом в научной литературе изучены различные технологии модификации нетканых материалов с использованием хитозана, также достаточно подробно изучены антибактериальные свойства модифицированных материалов [12–15]. Тем не менее нужно отметить, что нанесение хитозана сказывается на потребительских характеристиках нетканых материалов. В связи с этим целью данной работы является исследование свойств нетканого материала, модифицированного хитозаном, в том числе оценка потребительских характеристик материала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для модификации нетканого материала были выбраны четыре промышленные марки хитозана:

– хитозан Premium Quality, производитель A&A Tratelli Parodi s.p.a., Италия;

– хитозан пищевой кислоторастворимый, ТУ 9289-067-00472124-03, номер партии 10;

– сукцинат хитозана, ТУ 9284-027-11734126-08, номер партии 77;

– хитозан низкомолекулярный пищевой водорастворимый, ТУ 9289-067-00472124-03, номер партии 10.

Производителем трех последних видов хитозана является ООО «Биопрогресс», Россия.

В качестве нетканого материала был выбран материал, полученный по фильерной технологии типа спанбонд с поверхностной плотностью 14±2 г/см^2, обработанный гидрофильной пропиткой (производитель ООО «Завод Эластик», Россия). Такого рода нетканый материал может применятся для изготовления медицинских масок, раневых повязок, медицинских пеленок и салфеток.

Пропитку нетканого материала раствором хитозана проводили в течение 5 с. Затем образцы располагали на горизонтальной поверхности для высыхания при нормальных условиях.

Для оценки биологической активности растворов хитозана от различных производителей использовали метод определения минимальной ингибирующей концентрации (МИК) в отношении бактерий *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*. Антибактериальную активность хитозана исследовали *in vitro*, используя растворы хитозана на мясопептонном бульоне в различной концентрации [16–19]. В серию подготовленных пробирок для каждого опытного образца хитозана в стерильных условиях вносили 10% об. суспензии бактериальной культуры с концентрацией клеток 6,1×10^7 КОЕ/мл. Опытные системы культивировали на шейкер-инкубаторе при температуре 37 °С (180 об/мин) в течение 24 ч. В процессе роста тест-культур измеряли оптическую плотность суспензии при длине волны 600 нм. МИК хитозанов определяли по отсутствию роста культуры в пробирках с минимальной концентрацией вещества.

Антибактериальные свойства нетканых материалов, модифицированных растворами хитозана от различных производителей, в отношении культур *S. aureus* и *E. coli* оценивались диско-диффузионным методом согласно МУК 4.2.1890-04[1].

Были изучены следующие потребительские характеристики модифицированного нетканого материала: гигроскопичность, воздухопроницаемость, паропроницаемость, жесткость при изгибе.

[1]МУК 4.2.1890-04. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам: методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 91 с.

Паропроницаемость определяли по ГОСТ Р 12.4.287-2013[2]. Воздухопроницаемость определяли по ГОСТ ISO 9237-2013[3] на приборе А0003-РС, перепад давления составлял 100 Па. Гигроскопичность определяли по ГОСТ Р 57876-2017[4].

Для определения жесткости при изгибе использовали прибор ПТ-2, испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10550-93[5].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследования антибактериальной активности изученных марок хитозана показали, что бактерии *S. aureus* более чувствительны к действующему веществу в составе торговых препаратов хитозан Premium Quality и хитозан пищевой кислоторастворимый (табл. 1). Для золотистого стафилококка наибольшей ингибирующей рост активностью обладает хитозан пищевой кислоторастворимый, для которого МИК составила 150 мкг/мл. Присутствие внешнего липополисахаридного слоя на поверхности клеточной стенки бактерий *E. coli* препятствует транспорту олигомерных молекул хитозана внутрь клетки, о чем свидетельствуют повышенные значения МИК для всех исследуемых веществ. Полученные экспериментальные результаты согласуются с данными исследований водорастворимых хитозанов с различной молекулярной массой, проведенных для различных видов бактерий, в том числе *S. aureus* и *E. coli* [16, 20].

Таблица 1. Минимальная ингибирующая концентрация, мкг/мл, хитозанов различных производителей в отношении бактерий *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*

Table 1. Minimum inhibitory concentration, μg/ml, of chitosans from different manufacturers against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria

Вид хитозана	*Staphylococcus aureus*	*Escherichia coli*
Сукцинат хитозана	1200	1200
Хитозан пищевой водорастворимый	900	1200
Хитозан Premium Quality	225	300
Хитозан пищевой кислоторастворимый	150	300

Технологически важным стало исследование роста бактерий в растворах с различной концентрацией действующего вещества двух торговых препаратов: хитозан пищевой кислоторастворимый (табл. 2) и хитозан Premium Quality (табл. 3). При культивировании *S. aureus* в течение 4 ч в контрольной питательной среде (0%) отмечена максимальная концентрация биомассы 0,675 опт.ед., ингибирование роста культуры отмечено при 0,0150%-й концентрации раствора пищевого хитозана и при 0,0225%-й концентрации Premium Quality. Вследствие этого указанные коммерческие препараты были выбраны для модификации нетканых материалов, а целью последующих исследований стала проверка сохранения антибактериальной активности вещества после стадий нанесения и высушивания изделий.

Таблица 2. Биомасса, опт. ед., бактерий *Staphylococcus aureus* в процессе культивирования в мясопептонном бульоне с различной концентрацией хитозана пищевого кислоторастворимого

Table 2. Biomass, opt. units, of *Staphylococcus aureus* bacteria during cultivation in meat-peptone broth with different concentrations of food grade chitosan acid-soluble

Концентрация раствора хитозана, %	Продолжительность культивирования, ч		
	0	2	4
0	0,120±0,001	0,358±0,001	0,675±0,001
0,0015	0,120±0,001	0,152±0,001	0,281±0,001
0,0075	0,120±0,001	0,132±0,001	0,208±0,001
0,0150	0,120±0,001	0,120±0,001	0,120±0,001

Таблица 3. Биомасса, опт. ед., бактерий *Staphylococcus aureus* в процессе культивирования в мясопептонном бульоне с различной концентрацией хитозана Premium Quality

Table 3. Biomass, opt. units, of *Staphylococcus aureus* bacteria during cultivation in meat-peptone broth with different concentrations of chitosan Premium Quality

Концентрация раствора хитозана, %	Продолжительность культивирования, ч		
	0	2	4
0	0,122±0,001	0,358±0,001	0,675±0,001
0,0015	0,122±0,001	0,147±0,001	0,247±0,001
0,0075	0,122±0,001	0,142±0,001	0,229±0,001
0,0150	0,122±0,001	0,125±0,001	0,220±0,001
0,0225	0,122±0,001	0,122±0,001	0,122±0,001

Исходя из выполненных предварительных расчетов остаточного содержания олигомерных молекул хитозана в составе нетканого материала при технологическом режиме его производства, для пропитывания были выбраны 0,3%-й и 0,6%-й растворы торговых препаратов хитозана. Результаты диско-диффузионного исследования не выявили взаимосвязи концентрации раствора хитозана и антибактериальных свойств модифицированных нетканых материалов. В то же время при увеличении продолжительности обработки образцов в растворе хитозанов в 2 раза отмечено 5%-е повышение антибактериальной активности материала. Таким образом, 0,3%-й раствор хитозана является достаточной концентрацией для достижения антибактериального эффекта при обработке нетканого материала.

[2]ГОСТ Р 12.4.287-2013. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от химических веществ. Метод определения паропроницаемости мембранных материалов и швов. М.: Стандартинформ, 2014. 11 с.
[3]ГОСТ ISO 9237-2013. Материалы текстильные. Метод определения воздухопроницаемости. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
[4]ГОСТ Р 57876-2017. Материалы текстильные. Метод определения гигроскопичности. М.: Стандартинформ, 2017. 7 с.
[5]ГОСТ 10550-93. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. 12 с.

Наибольший антимикробный эффект проявляет хитозан пищевой кислоторастворимый. Для двух коммерческих препаратов хитозана наблюдается зона задержки роста бактерий 10 мм, что говорит о возможности применения хитозана для создания антибактериальных материалов медицинского назначения, выполненных на нетканой основе (табл. 4).

Таблица 4. Диаметр зоны задержки роста, мм, бактерий *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* для образцов нетканых материалов, пропитанных 0,3%-м раствором различных коммерческих препаратов хитозана

Table 4. *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* growth inhibition zones for nonwoven samples impregnated with 0.3% solution of various commercial chitosan preparations

Вид хитозана	*Staphylococcus aureus*	Escherichia coli
Сукцинат хитозана	Отсутствует	Отсутствует
Хитозан пищевой водорастворимый	Отсутствует	Отсутствует
Хитозан Premium Quality	11,1±0,9	Отсутствует
Хитозан пищевой кислоторастворимый	10,3±1,0	10,1±0,8

Для оценки потребительских свойств нетканых материалов после модификации были изучены следующие показатели: гигроскопичность, воздухопроницаемость, паропроницаемость, жесткость при изгибе.

Одной из существенных характеристик нетканых материалов является воздухопроницаемость. Этот показатель важен для медицинской одежды и белья, а также медицинских масок и характеризует, насколько нетканый материал обеспечивает нормальный воздухообмен организма человека с окружающей средой. Другим важным показателем является паропроницаемость, которая характеризует сопротивление материалов испарению влаги от тела человека. Контроль данного показателя позволяет предотвратить парниковый эффект при использовании хирургических халатов и масок, а также раневых повязок.

На рис. 1 представлено изменение воздухопроницаемости и паропроницаемости нетканого материала в зависимости от концентрации раствора хитозана.

После пропитки и с увеличением концентрации раствора хитозана воздухопроницаемость нетканого материала линейно уменьшается. При пропитке 0,4%-м раствором хитозана воздухопроницаемость снижается на 20%. Это связано с тем, что биополимер оседает в порах нетканого материала, тем самым затрудняя прохождение воздушного потока.

Паропроницаемость нетканого материала после обработки раствором хитозана и с увеличением его концентрации, напротив, увеличивается, причем увеличивается достаточно сильно – на 25% для нетканого материала, обработанного 0,2%-м раствором хитозана. Однако при концентрации раствора более 0,3% значения паропроницаемости начинают снижаться. По-видимому, пропитка нетканого материала раствором хитозана до определенной концентрации (до 0,2%) не приводит к закупорке пор, а, наоборот, способствует транспортированию пара через материал. Можно предположить,

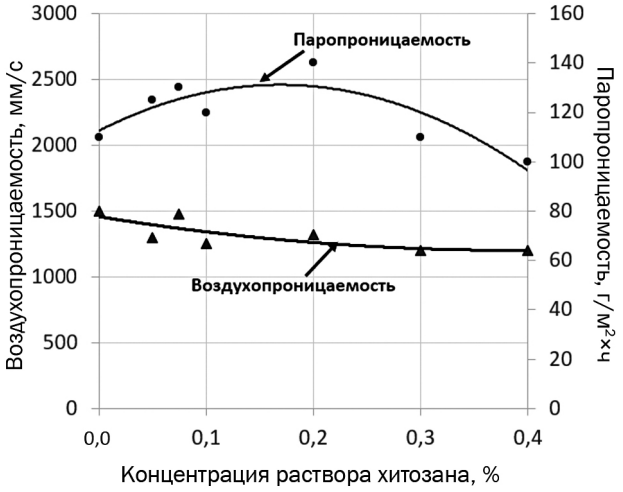

Рис. 1. Зависимость воздухопроницаемости и паропроницаемости модифицированного нетканого материала от концентраций раствора хитозана

Fig. 1. Air permeability and vapor permeability of modified nonwoven material versus concentrations of chitosan solution

что раствор хитозана в небольших концентрациях не закупоривает поры нетканого материала, а обволакивает волокна. С одной стороны, это приводит к уменьшению размера пор, поэтому снижается воздухопроницаемость, с другой стороны, поверхность волокон становится более гидрофильной, благодаря этому, по-видимому, повышается перенос пара через материал.

При модификации нетканого материала более концентрированным раствором хитозан образует пленку, поры закрываются и паропроницаемость снижается.

Для раневых повязок важным показателем является гигроскопичность – способность материала изменять свою влажность в зависимости от влажности и температуры окружающей среды. Скорость поглощения и отдачи влаги зависит не только от гигроскопичности волокон, но и от структуры материала. Чем меньше поверхностная плотность и толщина нетканого материала, тем быстрее он впитывает и отдает влагу и тем лучше обеспечивается постоянство влажности и тепла на коже человека. На рис. 2 представлены изменения значений гигроскопичности испытываемого образца в зависимости от различной концентрации раствора хитозана. Нужно отметить, что в изученном диапазоне концентраций пропитывающего раствора значимых изменения гигроскопичности нетканого материала не обнаружено.

Была изучена также жесткость нетканого материала при изгибе – способность материала сопротивляться изменению формы при действии внешней изгибающей силы. Жесткость текстильных материалов определяет назначение материала, модельные и конструктивные особенности одежды, технологию ее изготовления. Одежда из жестких материалов создает дискомфорт, затрудняет движения. Это касается и медицинских изделий, соприкасающихся с кожей человека. Таким образом, чем меньше жесткость при изгибе нетканого материала, тем лучше для потребителя. На рис. 2 представлено изменение жесткости при изгибе нетканого материала в зависимости от концентрации

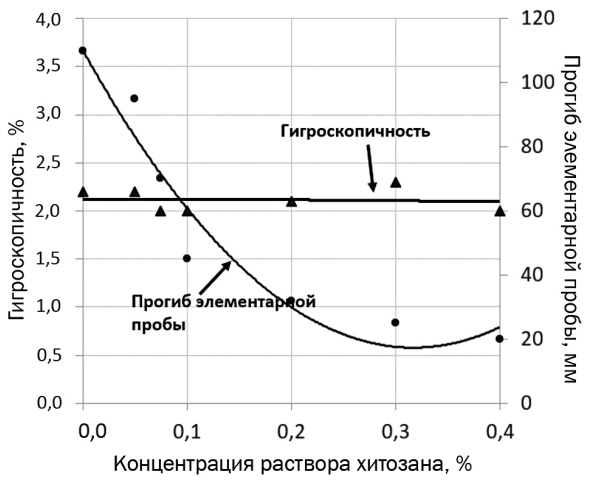

Рис. 2. Зависимость изменения гигроскопичности и жесткости (прогиб элементарной пробы) модифицированного нетканого материала от различных концентраций раствора хитозана

Fig. 2. Change in hygroscopicity and rigidity (deflection of an elementary sample) of the modified nonwoven material versus concentrations of the chitosan solution

пропитывающего раствора. Представленные результаты говорят о существенном уменьшении прогиба элементарной пробы, соответственно, жесткость увеличивается на 77%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что из изученных четырех марок хитозана антибактериальной активностью обладают хитозан пищевой кислоторастворимый и хитозан Premium Quality. Обработка гидрофильного нетканого материала, полученного по технологии спанбонд, раствором хитозана приводит к уменьшению воздухопроницаемости на 19%, увеличению жесткости на 77%. Паропроницаемость при концентрации раствора хитозана до 0,2% растет, дальнейшее же увеличение концентрации приводит к снижению этого показателя. Гигроскопичность в изученном диапазоне дозировок не меняется. Данные, представленные в статье, свидетельствуют о нецелесообразности пропитки нетканых материалов медицинского назначения раствором хитозана с концентрацией более 0,2%, поскольку при более высоких концентрациях раствора потребительские характеристики (воздухопроницаемость и паропроницаемость) модифицированного нетканого материала ухудшаются.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лисаневич М.С., Перушкина Е.В. Исследование возможности модификации нетканых материалов хлоргексидином с целью придания антибактериальных свойств // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 4. С. 633–639. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-4-633-639. EDN: YJYTOD.

2. Xin Z., Du S., Zhao C., Chen H., Sun M., Shunjie Y., et al. Antibacterial performance of polypropylene nonwoven fabric wound dressing surfaces containing passive and active components // Applied Surface Science. 2016. Vol. 365. P. 99–107. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.12.217.

3. Markovic D., Milovanovic S., Radetic M., Jokic B., Zizovic I. Impregnation of corona modified polypropylene nonwoven material with thymol in supercritical carbon dioxide for antimicrobial application // The Journal of Supercritical Fluids. 2015. Vol. 101. P. 215–221. DOI: 10.1016/j.supflu.2015.03.022.

4. Degoutin S., Jimenez M., Casetta M., Bellayer S., Chai F., Blanchemain N., et al. Anticoagulant and antimicrobial finishing of non-woven polypropylene textiles // Biomedical Materials. 2012. Vol. 7, no. 3. P. 035001. DOI: 10.1088/1748-6041/7/3/035001.

5. La D.D., Pham K.T.T, Lai H.T., Tran D.L., Bui C.V., Nguyen P.H.T., et al. Fabrication of antibacterial Ag/graphene-integrated non-woven polypropylene textile for air pollutant filtering // Waste and Biomass Valorization. 2023. Vol. 14. P. 3275–3284. DOI: 10.1007/s12649-023-02101-y.

6. Galimzyanova R.Y., Lisanevich M.S., Khakimullin Y.N. Influence of electron radiation on the physical and mechanical properties of a nonwoven fabric made using Spunlace technology // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2124. P. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/2124/1/012015.

7. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Ivanov V.V. Analysis of the effect of ionizing radiation on the properties of bulk nonwoven material // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2124. P. 012024. DOI: 10.1088/1742-6596/2124/1/012024.

8. Abdou E.S., Elkholy S.S., Elsabee M.Z., Mohamed E. Improved antimicrobial activity of polypropylene and cotton nonwoven fabrics by surface treatment and modification with chitosan // Journal of Applied Polymer Science. 2008. Vol. 108, no. 4. P. 2290–2296. DOI: 10.1002/app.25937.

9. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Иванов В.В. Исследование влияния низкотемпературной плазмы на свойства нетканого материала Холлофайбер® // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. N 5. С. 140–145. DOI: 10.47367/0021-3497_2022_5_140. EDN: HUDDX.

10. Хакимуллин Ю.Н., Гильмутдинова Г.М., Бахридинова А.Р., Лисаневич М.С., Рахматуллина Э., Галимзянова Р.Ю. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на свойства ламинированного нетканого материала // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. Т. 34. N 4. С. 68–71. EDN: YNLHQD.

11. Galimzyanova R.Y., Lisanevich M.S., Khakimullin Y.N. Influence of nonequilibrium low-temperature plasma on the properties of nonwoven fabric based on polypropylene // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. P. 179–184. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.899.179.

12. Wang C.-C., Chen C.-C. Anti-bacterial and swelling properties of acrylic acid grafted and collagen/chitosan immobilized polypropylene non-woven fabrics // Journal of Applied Polymer Science. 2005. Vol. 98, no. 1. P. 391–400. DOI: 10.1002/app.22224.

13. Wang C.-C., Wu W.-Y., Chen C.-C. Antibacterial and swelling properties of *N*-isopropyl acrylamide grafted and collagen/chitosan-immobilized polypropylene nonwoven fabrics // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. 2011. Vol. 96B, no. 1. P. 16–24. DOI: 10.1002/jbm.b.31709.

14. Wang C.-C., Su C.-H., Chen C.-C. Water absorbing and antibacterial properties of *N*-isopropyl acrylamide grafted and collagen/chitosan immobilized polypropylene nonwoven fabric and its application on wound healing enhancement // *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2008. Vol. 84A, no. 4. P. 1006–1017. DOI: 10.1002/jbm.a.31482.

15. Shahidi S., Yazdani M., Hezavehi E. Surface modification of polypropylene nonwoven fabrics by low temperature plasma followed by chitosan grafting // BioChemistry: an Indian Journal. 2014. Vol. 8, no. 4. P. 99–105.

16. Куликов С.Н., Тюрин Ю.А., Хайруллин Р.З. Антибактериальная активность хитозана в отношении энтеробактерий и стафилококков, выделенных у пациентов с дисбактериозом кишечника // Казанский медицинский журнал. 2010. Т. 91. N 5. С. 656–660. EDN: NQUNYX.

17. Герасименко Д.В., Авдиенко И.Д., Банникова Г.Е., Зуева О.Ю., Варламов В.П. Антибактериальная активность водорастворимых низкомолекулярных хитозанов в отношении различных микроорганизмов // Прикладная биохимия и микробиология. 2004. Т. 40. N 3. С. 301–306. EDN: OYOYGH.

18. Liu X.F., Guan Y.L., Yang D.Z., Li Z., Yao K.D. Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan // Journal of Applied Polymer Science. 2001. Vol. 79, no. 7. P. 1324–1335. DOI: 10.1002/1097-4628(20010214)79:7<1324::AID-APP210>3.0.CO;2-L.

19. Raafat D., von Bargen K., Haas A., Sahl H.-G. Insights into the mode of action of chitosan as an antibacterial compound insights into the mode of action of chitosan as an antibacterial compound // Applied and Environmental Microbiology. 2008. Vol. 74, no. 12. DOI: 10.1128/AEM.00453-08.

20. Kulikov S., Tikhonov V., Blagodatskikh I., Bezrodnykh E., Lopatin S., Khairullin R., et al. Molecular weight and pH aspects of the efficacy of oligochitosan against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) // Carbohydrate Polymers. 2012. Vol. 87, no. 1. P. 545–550. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.08.017.

REFERENCES

1. Lisanevich M.S., Perushkina E.V. Modification of nonwoven fabrics with chlorhexidine to impart antibacterial properties. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2022;12(4):633-639. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-4-633-639. EDN: YJYTOD.

2. Xin Z., Du S., Zhao C., Chen H., Sun M., Shunjie Y., et al. Antibacterial performance of polypropylene nonwoven fabric wound dressing surfaces containing passive and active components. *Applied Surface Science*. 2016;365:99-107. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.12.217.

3. Markovic D., Milovanovic S., Radetic M., Jokic B., Zizovic I. Impregnation of corona modified polypropylene non-woven material with thymol in supercritical carbon dioxide for antimicrobial application. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2015;101:215-221. DOI: 10.1016/j.supflu.2015.03.022.

4. Degoutin S., Jimenez M., Casetta M., Bellayer S., Chai F., Blanchemain N., et al. Anticoagulant and antimicrobial finishing of non-woven polypropylene textiles. *Biomedical Materials.* 2012;7(3):035001. DOI: 10.1088/1748-6041/7/3/035001.

5. La D.D., Pham K.T.T, Lai H.T., Tran D.L., Bui C.V., Nguyen P.H.T., et al. Fabrication of antibacterial Ag/graphene-integrated non-woven polypropylene textile for air pollutant filtering. *Waste and Biomass Valorization*. 2023;14:3275-3284. DOI: 10.1007/s12649-023-02101-y.

6. Galimzyanova R.Y., Lisanevich M.S., Khakimullin Y.N. Influence of electron radiation on the physical and mechanical properties of a nonwoven fabric made using Spunlace technology. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2124:012015. DOI: 10.1088/1742-6596/2124/1/012015.

7. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Ivanov V.V. Analysis of the effect of ionizing radiation on the properties of bulk nonwoven material. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2124:012024. DOI: 10.1088/1742-6596/2124/1/012024.

8. Abdou E.S., Elkholy S.S., Elsabee M.Z., Mohamed E. Improved antimicrobial activity of polypropylene and cotton nonwoven fabrics by surface treatment and modification with chitosan. *Journal of Applied Polymer Science*. 2008;108(4):2290-2296. DOI: 10.1002/app.25937.

9. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Ivanov V.V. Investigation of the effect of low-temperature plasma on the properties of non-woven material Holowfiber®. *Textile Industry Technology*. 2022;5:140-145. (In Russian). DOI: 10.47367/0021-3497_2022_5_140. EDN: HUDDX.

10. Khakimullin Y.N., Gilmutdinova G.M., Bakhridinova A.R., Lisanevich M.S., Rakhmatullina E.R., Galimzyanova R.Yu. Investigation of the effect of the non-equilibrium low-temperatured plasma on the properties of the laminated non-woven fabric. *Textile Industry Technology*. 2016;34(4):68-71. (In Russian). EDN: YNLHQD.

11. Galimzyanova R.Y., Lisanevich M.S., Khakimullin Y.N. Influence of nonequilibrium low-temperature plasma on the properties of nonwoven fabric based on polypropylene. *Key Engineering Materials*. 2021;899:179-184. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.899.179.

12. Wang C.-C., Chen C.-C. Anti-bacterial and swelling properties of acrylic acid grafted and collagen/chitosan immobilized polypropylene non-woven fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*. 2005;98(1):391-400. DOI: 10.1002/app.22224.

13. Wang C.-C., Wu W.-Y., Chen C.-C. Antibacterial and swelling properties of *N*-isopropyl acrylamide grafted and collagen/chitosan-immobilized polypropylene nonwoven fabrics. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2011;96B(1):16-24. DOI: 10.1002jbm.b.31709.

14. Wang C.-C., Su C.-H., Chen C.-C. Water absorbing and antibacterial properties of *N*-isopropyl acrylamide grafted and collagen/chitosan immobilized polypropylene nonwoven fabric and its application on wound healing enhancement. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2008;84A(4):1006-1017. DOI: 10.1002/jbm.a.31482.

15. Shahidi S., Yazdani M., Hezavehi E. Surface modification of polypropylene nonwoven fabrics by low temperature plasma followed by chitosan grafting. *BioChemistry: an Indian Journal*. 2014;8(4):99-105.

16. Kulikov S.N., Tyurin Yu., Khairullin R.Z. Antibacterial activity of chitosan against enterobacteria and staphylococci isolated from patients with intestinal dysbacteriosis. *Kazan medical journal*. 2010;91(5):656-660. (In Russian). EDN: NQUNYX.

17. Gerasimenko D.V., Avdienko I.D., Bannikova G.E., Zueva O.Yu., Varlamov V.P. Antibacterial effects of water-soluble low-molecular-weight chitosans on different microorganisms. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2004;40(3):301-306. (In Russian). EDN: OYOYGH.

18. Liu X.F., Guan Y.L., Yang D.Z., Li Z., Yao K.D. Antibacterial action of chitosan and carboxymethylated chitosan. *Journal of Applied Polymer Science*. 2001;79(7):1324-1335. DOI: 10.1002/1097-4628(20010214)79:7<1324::AID-APP210>3.0.CO;2-L.

19. Raafat D., von Bargen K., Haas A., Sahl H.-G. Insights into the mode of action of chitosan as an antibacterial compound insights into the mode of action of chitosan as an antibacterial compound. *Applied and Environmental Microbiology*. 2008;74(12). DOI: 10.1128/AEM.00453-08.

20. Kulikov S., Tikhonov V., Blagodatskikh I., Bezrodnykh E., Lopatin S., Khairullin R., et al. Molecular weight and pH aspects of the efficacy of oligochitosan against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Carbohydrate Polymers*. 2012;87(1):545-550. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.08.017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галимзянова Резеда Юсуповна,
к.т.н., доцент,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
Российская Федерация,
✉ galimzyanovar@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7059-1481

Перушкина Елена Вячеславовна,
к.т.н., доцент,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
Российская Федерация,
perushkina_elena@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2631-4724

Лисаневич Мария Сергеевна,
к.т.н., доцент,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
Российская Федерация,
lisamevichms@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9715-9231

Али Едрес,
инженер,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68,
Российская Федерация,
edres2015ali@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-6319-2168

Вклад авторов

Р.Ю. Галимзянова – разработка методологии, курирование данных, предоставление ресурсов.
Е.В. Перушкина – проведение исследования, написание черновика рукописи.
М.С. Лисаневич – проведение исследования, написание черновика рукописи.
Е. Али – проведение исследования.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rezeda Yu. Galimzyanova,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Kazan National Research University of Technology,
68, Karl Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
✉ galimzyanovar@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7059-1481

Elena V. Perushkina,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Kazan National Research Technological University,
68, Karl Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
perushkina_elena@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2631-4724

Maria S. Lisanevich,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Kazan National Research Technological University,
68, Karl Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
lisamevichms@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9715-9231

Edres Ali,
Engineer,
Kazan National Research University of Technology,
68, Karl Marx St., Kazan, 420015,
Russian Federation,
edres2015ali@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-6319-2168

Contribution of the authors

Rezeda Yu. Galimzyanova – methodology, data curation, resources.
Elena V. Perushkina – investigation, writing – original draft.
Maria S. Lisanevich – investigation, writing – original draft.
Ali Edres – investigation.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Поступила в редакцию 10.07.2024.
Одобрена после рецензирования 27.10.2024.
Принята к публикации 06.08.2025.

Information about the article

The article was submitted 10.07.2024.
Approved after reviewing 27.10.2024.
Accepted for publication 06.08.2025.