

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ
НА СВОЙСТВА НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА ХОЛЛОФАЙБЕР®**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF LOW-TEMPERATURE PLASMA
ON THE PROPERTIES OF NON-WOVEN MATERIAL HOLLOWFIBER®**

М.С. ЛИСАНЕВИЧ, Р.Ю. ГАЛИМЗЯНОВА, В.В. ИВАНОВ

M.S. LISANEVICH, R.YU. GALIMZYANOVA, V.V. IVANOV

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ООО "Термопол")

(Kazan National Research Technological University,
Thermopol, LLC)

E-mail: lisanevichm@gmail.com

В настоящее время новым направлением использования объемных нетканых материалов Холлофайбер® являются изделия медицинского назначения. С целью расширения ассортимента таких нетканых материалов и для использования их, в том числе для изготовления медицинских изделий, представляется интересным их модификация. В статье представлены результаты исследования по модификации низкотемпературной плазмой нетканого материала марки Холлофайбер® СОФТ. Плазменная обработка является достаточно недорогим, широко применяемым, экологичным методом для поверхностной модификации нетканых текстильных материалов и пленок. Объектом исследования в данной работе являлся объемный нетканый материал марки Холлофайбер®СОФТ, артикул P5197 (производства ООО "Термопол", г. Москва), поверхностной плотности 150 г/м². Такого рода материал может использоваться для изготовления раневых повязок или эвакуационных комплектов для новорожденных и других изделий. Для модификации в качестве плазмообразующего газа использовались аргон, азот и воздух, время обработки составило от 1 до 7 мин. Были изучены такие потребительские свойства материалов, как электризуемость, прочностные характеристики и впитываемость материала в зависимости от времени обработки и природы используемого газа. В результате полученных данных показано, что обработка низкотемпературной плазмой положительно влияет на изменение прочностных характеристик, при незначительном увеличении электризуемости. Практически ценным результатом является то, что модификация в среде воздуха в течение 1...3 мин приводит к увеличению абсорбционной емкости нетканого материала, что позволит производителю создать линейку впитывающих нетканых материалов и открывает новые возможности для применения своей продукции.

Currently, a new direction in the use of bulk non-woven materials Hollofiber® are medical products. In order to expand the range of such nonwoven materials and for their use, including the manufacture of medical devices, it seems interesting to modify them. The article presents the results of a study on the modification by low-temperature plasma of the brand Hollofiber® SOFT non-woven material. Plasma treatment is a fairly inexpensive, widely used, environmentally friendly method for the surface modification of non-woven, textile materials and films. The object of

study in this work was a bulky non-woven Hollofiber®SOFT brand, article P5197 (manufactured by LLC "Termopol", Moscow), with a surface density of 150 g/m². This kind of material can be used to make wound dressings or evacuation kits for newborns and other products. For modification, argon, nitrogen, and air were used as the plasma gas; the processing time was from 1 to 7 minutes. Such consumer properties of materials as electrified, strength characteristics and absorbency of the material were studied depending on the processing time and the nature of the gas used. As a result of the data obtained, it was shown that the treatment with low-temperature plasma has a positive effect on the change in strength characteristics, with a slight increase in electrification. A practically valuable result is that the modification in air within 1-3 minutes leads to an increase in the absorption capacity of the nonwoven material, which will allow the manufacturer to create a line of absorbent nonwoven materials and open up new opportunities for the application of their products.

Ключевые слова: модификация, объемный нетканый материал, плазменная обработка, Холлофайбер®, электризуемость, прочностные характеристики, впитываемость, неравновесная низкотемпературная плазма, медицина, медицинские изделия.

Keywords: modification, bulk nonwoven material, plasma treatment, Hollofiber®, electrification, strength characteristics, absorbency, non-equilibrium low-temperature plasma, medicine, medical products.

Введение

Объемные нетканые материалы торговой марки Холлофайбер® используются во многих изделиях и областях промышленности:

- в качестве утеплителя для одежды и обуви;
- для спальных принадлежностей (одеяла, матрасы и др.);
- в качестве теплоизоляционного материала в строительстве и даже в гидропонике как субстрат для выращивания растений [1...10].

В настоящее время новым направлением использования нетканых материалов торговой марки Холлофайбер® являются изделия медицинского назначения. В частности, на его основе разрабатываются эвакуационные конверты для новорожденных и раневые повязки [11...13]. Для изделий медицинского назначения важным являются потребительские свойства и устойчивость к радиационной стерилизации НМ Холлофайбер®. Данные исследования для ряда материалов торговой марки Холлофайбер® проводились в течение последних нескольких лет [14...20].

Для расширения линейки объемных нетканых материалов представляется интересным их модификация.

Достаточно недорогим, широко применяемым методом, используемым для поверхностной модификации нетканых, текстильных материалов и пленок, является плазменная обработка. Данный метод является экологичным из-за отсутствия в процессе обработки водных растворов химикатов и не вызывает деструкцию материала.

Учитывая перспективность развития нетканых материалов (НМ), изучение влияния модификации неравновесной низкотемпературной плазмой (ННТП) на потребительские характеристики объемных нетканых материалов является актуальным.

Материалы и методы

Объект испытания – объемный нетканый материал марки Холлофайбер® СОФТ, артикул Р5197 (производства ООО "Термопол", г. Москва), поверхностной плотности 150 г/м².

Для модификации нетканых материалов применялась экспериментальная плазменная установка емкостного разряда пониженного давления, расположенная в

ФГБОУ ВО КНИТУ (г. Казань). В качестве плазмобразующего газа использовались аргон, азот и воздух со скоростью потока газа 1500 см³/мин. Режимы были выбраны на основании предыдущих исследований [21...23]: мощность $W_p=1,5$ кВт, время обработки $\tau = 1, 3, 5, 7$ мин, давление $P=21,5$ Па.

В работе были изучены такие потребительские свойства, как напряженность электростатического поля (ГОСТ 32995-2014), разрывные характеристики при растяжении (ГОСТ Р 53226-2008) и абсорбционная емкость (ГОСТ Р 54872-2011).

Обсуждение результатов

Разрывная нагрузка при растяжении представляет собой способность материалов противостоять растягивающим усилиям до разрушения их целостности. Этот показатель зависит от рода материала, расположения волокон, способа их скрепления в холсте, типа связующего и его распределения. Под воздействием растягивающих усилий осуществляется удлинение материала вследствие перемещения волокон относительно друг друга. На рис. 1 показана зависимость разрывной нагрузки НМ Холлофайбер®СОФТ от времени обработки ННТП.

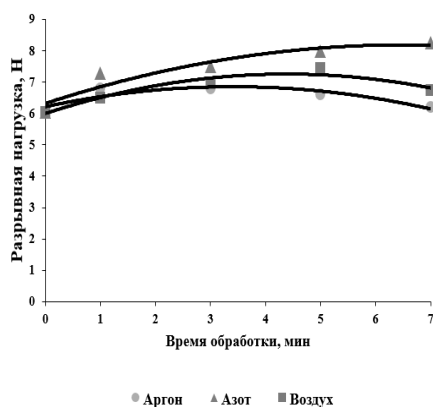


Рис. 1

На графике видно, что при обработке нетканого материала ННТП в среде азота и воздухом происходит увеличение прочности нетканого материала. У НМ, обработанного в среде азота, при 7 мин наблюдается максимальное значение разрывной нагрузки. Этот показатель равен 8,3 Н и превышает разрывную нагрузку контрольного не

модифицированного образца на 37%. Несущественное увеличение прочности наблюдается также при обработке НМ в среде воздуха в течение 5 мин, этот показатель равен 7,4 Н, что превышает разрывную нагрузку контрольного образца соответственно на 23,2%. В среде аргона разрывная нагрузка остается почти неизменной.

Относительное удлинение НМ в зависимости от времени модификации в разных газах приведено на рис. 2.

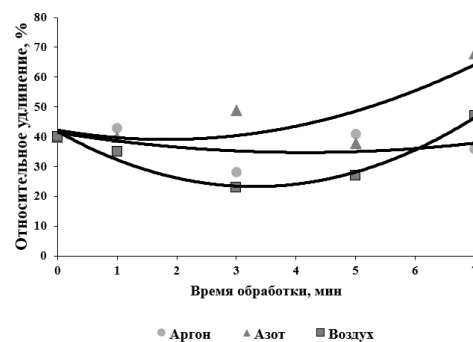


Рис. 2

Обработка в среде аргона не приводит к изменениям относительного удлинения. В случае использования в качестве плазмобразующего газа азота и воздуха в течение 7 мин приводит к повышению относительного удлинения нетканого материала.

Следующий важный показатель для всех синтетических материалов, характеризующий потребительские свойства, — это электризуемость. Она подразумевает способность материалов в определенных условиях генерировать и накапливать на своей поверхности статическое электричество. Электризуемость тесно связана с природой материалов, их строением и влажностью. При повышении влажности происходит снижение электризуемости. Электризуемость оценивается с помощью такого показателя, как напряженность электростатического поля. На рис. 3 представлен график зависимости данного показателя НМ от времени обработки ННТП в разных газах (воздух, аргон, азот).

На графике видно, что при обработке ННТП тремя газами (аргоном, азотом и воздухом) происходит увеличение напряженности электростатического поля для НМ

Холлофайбер® СОФТ. У НМ, обработанного в среде аргона в течение 7 мин, этот показатель равен 1,86 кВ/м, у азота 1,77 кВ/м. В среде воздуха в течение 3...5 мин показатель электризуемости остается практически неизменным, а затем происходит незначительное его увеличение до 1,21 кВ/м. Стоит отметить, что значения напряженности электростатического поля находятся в пределах нормы, установленной в ГОСТ 32995-2014. Материалы текстильные. Методика измерения напряженности электростатического поля.

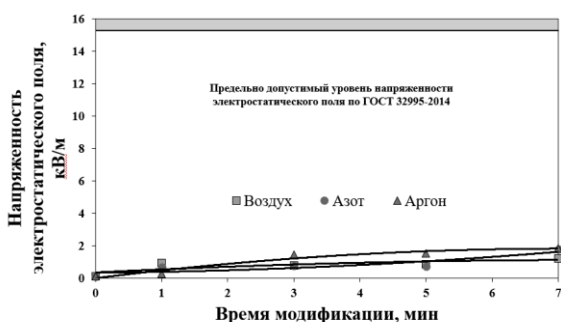


Рис. 3

Зависимость абсорбционной емкости нетканого материала от времени обработки ННТП показана на рис. 4.

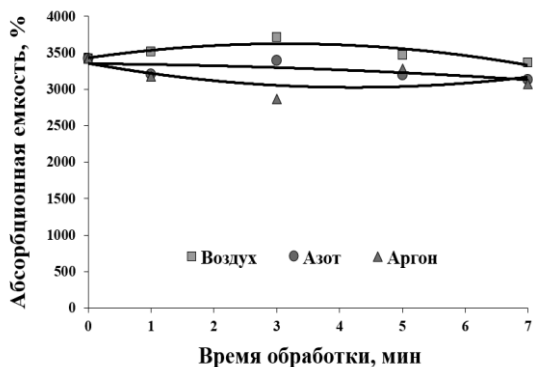


Рис. 4

На графике видно, что обработка низкотемпературной плазмой в среде воздуха в течение 3 мин приводит к повышению абсорбционной емкости на 8%. При модификации ННТП в среде аргона наблюдается обратная картина – абсорбционная емкость НМ Холлофайбера® уменьшается на 16,3% по сравнению с контрольным необработанным

образцом. В среде азота абсорбционная емкость остается почти неизменной.

ВЫВОДЫ

В результате полученных данных показано, что обработка в низкотемпературной плазме приводит к активации поверхности НМ, приводящей к изменению физико-химических свойств поверхности. В целом ННТП положительно влияет на изменение прочностных характеристик при незначительном увеличении электризуемости.

Практически ценным результатом является то, что обработка ННТП в среде воздуха, в течение 1...3 мин приводит к увеличению абсорбционной емкости нетканого материала Холлофайбер®СОФТ. Это в свою очередь позволит производителю создать линейку впитывающих нетканых материалов и откроет новые возможности для применения нетканых материалов Холлофайбер® и создания продукции для различных отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисиенкова Л.Н., Комарова Л.Ю. Перспективы применения нетканых теплоизоляционных материалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки – 2021, № 4. С.26...31.
2. Бесшапошникова В.И., Климова Н.А., Ковалева Н.Е. Исследование влияния структуры на свойства объемных нетканых утеплителей одежды // Материалы и технологии – 2018, № 2 (2). С. 28...33.
3. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Выбор определяющих показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов с использованием причинно-следственных схем Исикавы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 4. С. 108...115.
4. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Оценка качества теплоизоляционных нетканых материалов с функцией терморегуляции и саморегуляции, сформированных путем диспергирования волокон в потоке воздуха // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022, № 3. С. 70...75.
5. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Выбор параметров для осуществления эффективного технического контроля с помощью корреляционной матрицы определяющих показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 4. С. 82...87.
6. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Планирование оптимального соотношения волокнистого состава и поверхностной плотности теплоизоляционного не-

тканого материала с эффектом терморегуляции // Дизайн и технологии. – 2021, № 82 (124). С.71...80.

7. Мезенцева Е.В., Шиханова Д.В., Уступный Ю.В., Мишаков В.Ю. Основные критерии выбора качественного утеплителя // В сб. научн. тр. Междунар. научн.-техн. симпозиума: Экономические механизмы стратегического управления развитием промышленности III Международного Косыгинского Форума "Современные задачи инженерных наук". – М., 2021. С. 6...12.

8. Мезенцева Е.В. От традиции к современности. разработка инновационных принципов теплоизоляции одежды // В сб.: Мода и дизайн: исторический опыт - новые технологии. Мат. XXIV Междунар. научн. конф. – Санкт-Петербург, 2021. С. 283...286.

9. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Актуальность вопроса дополнительной верификации показателей качества при внедрении новых стандартов // В сб. научн. тр. по материалам Круглого стола с международным участием: Теория и практика экспертизы технического регулирования и подтверждения соответствия продукции. – М., 2021. С. 138-143.

10. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. План непрерывного статистического контроля при промышленном выпуске саморегулируемых нетканых теплоизоляционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. С.83...88.

11. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю. Исследование потребительских характеристик материалов Холлофайбер® для раневых покрытий // Бултеровские сообщения – 2021. Т. 67. № 8. С. 42...46.

12. Апполонова Д.К., Лисаневич М.С. Раневые покрытия на основе полиэфирных нетканых материалов // В сб. Всероссийск. научн.-техн. конф.: Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий текстильной и легкой промышленности / Под ред. Л. Н. Абуталиповой – 2019. С. 51...53.

13. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Ivanov V.V. Analysis of the effect of ionizing radiation on the properties of bulk nonwoven material // В сб.: Journal of Physics: Conference Series. 1. Сер. "Advanced Trends in Civil Engineering –2021, ATCE 2021" 2021. С. 012024.

14. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н., Федорова Т.А., Мезенцева Е.В., Иванов В.В. Исследование влияния радиационной стерилизации на нетканый материал Холлофайбер® // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 5. С. 94...101.

15. Абуталипова Л.Н., Зиятдинова Д.Р., Лисаневич М.С., Мусин И.Н., Мезенцева Е.В. Исследование влияния огнезащитной пропитки на свойства нетканых строительных материалов Холлофайбер® // Бултеровские сообщения – 2021. Т. 67. № 7. С.81...87.

16. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю. Влияние радиационной стерилизации на воздухопроницаемость и структуру нетканого материала Холлофайбер® // Бултеровские сообщения – 2021. Т. 68. №11. С. 138...143.

17. Лисаневич М.С., Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Исследование влияния микроволокон на показатели воздухопроницаемости и суммарного теплового сопротивления объемных нетканых материалов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2021, № 1. С. 242...244.

18. Рахматуллина Р.Д., Лисаневич М.С., Мезенцева Е.В. Анализ влияния радиационной стерилизации на показатель поверхностной жесткости при изгибе нетканого материала Холлофайбер® // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2021, № 1. С. 301...305.

19. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Мезенцева Е.В. Анализ влияния радиационной стерилизации на потребительские свойства объемного нетканого материала // Бултеровские сообщения – 2021. Т. 68. № 12. С. 77...82.

20. Лисаневич М. С., Мезенцева Е. В. Анализ влияния содержания микроволокна на потребительские свойства объемных нетканых материалов. // Бултеровские сообщения –2022. Т.70. №4. С.65...70.

21. Хакимуллин Ю.Н., Гильмутдинова Г.М., Бахритдинова А.Р., Лисаневич М.С., Рахматуллина Э.Р., Галимзянова Р.Ю. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на свойства ламинированного нетканого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №14. С. 68.

22. Галимзянова Р.Ю., Лисаневич М.С., Хакимуллин Ю.Н., Подемирова Н.С., Легаева К.В. Влияние неравновесной низкотемпературной плазмы на свойства нетканого многослойного материала на основе полипропилена // Вестник Технологического университета – 2015. Т. 18. № 16. С. 141...143.

REFERENCES

1. Lisienkova L.N., Komarova L.Yu. Prospects for the use of non-woven heat-insulating materials // Proceedings of the Tula State University. Engineering Sciences – 2021, № 4. S. 26-31.

2. Besshaposnikova V.I., Klimova N.A., Kovaleva N.E. Study of the influence of the structure on the properties of bulk non-woven clothing insulation // Materials and technologies – 2018. № 2 (2). P. 28...33.

3. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. The choice of determining indicators of the quality of heat-insulating non-woven materials using Ishikawa's cause-and-effect schemes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 4. P. 108...115.

4. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Evaluation of the quality of heat-insulating non-woven materials with the function of thermoregulation and self-regulation, formed by dispersing fibers in an air stream // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, № 3. P. 70...75.

5. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Selection of parameters for the implementation of effective technical

control using the correlation matrix of determining indicators of the quality of heat-insulating non-woven materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2021, № 4. P. 82...87.

6. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Planning the optimal ratio of fibrous composition and surface density of heat-insulating non-woven material with the effect of thermoregulation // *Design and technologies.* – 2021, №82 (124). P. 71...80.

7. Mezentseva E.V., Shikhanova D.V., Ustupny Yu.V., Mishakov V.Yu. The main criteria for choosing a quality insulation // In the collection: Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium "Economic mechanisms of strategic management of industrial development" of the III International Kosygin Forum "Modern tasks of engineering sciences". Moscow, 2021. P. 6...12.

8. Mezentseva E.V. From tradition to modernity. development of innovative principles of thermal insulation of clothing // In the collection: Fashion and design: historical experience - new technologies. Materials of the XXIV International Scientific Conference. – St. Petersburg, 2021. P. 283...286.

9. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. The relevance of the issue of additional verification of quality indicators when introducing new standards // In the collection: Theory and practice of expertise technical regulation and confirmation of product conformity. Collection of scientific papers based on materials of the Round Table with international participation. – M., 2021. P.138...143.

10. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Plan for continuous statistical control in the industrial production of self-regulating non-woven heat-insulating materials. Technology of the tech-stylish industry. – 2021, № 1 (391). P. 83...88.

11. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu. Research of consumer characteristics of HoloFiber® materials for wound coverings // *Butlerov communications* - 2021. V. 67. № 8. P. 42-46.

12. Appolonova D.K., Lisanevich M.S. Wound coatings based on polyester non-woven materials // In the collection: Fundamental and applied problems of creating materials and aspects of textile and light industry technologies. Collection of articles All-Russian Scientific and Technical Conference. under. ed. L. N. Abutalipova - 2019. S. 51-53.

13. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Ivanov V.V. Analysis of the effect of ionizing radiation on the properties of bulk nonwoven material // In the collection: Journal of Physics: Conference Series. 1. Ser. "Advanced Trends in Civil Engineering -2021, ATCE 2021" 2021. P. 012024.

14. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Khakimullin Yu.N., Fedorova T.A., Mezentseva E.V., Ivanov V.V. Study of the influence of radiation sterilization on non-woven material HoloFiber® // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2021, № 5. P. 94...101.

15. Abutalipova L.N., Ziyatdinova D.R., Lisanevich M.S., Musin I.N., Mezentseva E.V. Investigation of the effect of fire retardant impregnation on the properties of non-woven building materials Holo-fiber © // *Butlerov Communications.* – 2021. V. 67. № 7. P. 81...87.

16. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu. Influence of radiation sterilization on the air permeability and structure of the HoloFiber® nonwoven material // *Butlerov Communication.* – 2021. V. 68. № 11. P.138...143.

17. Lisanevich M.S., Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Study of the influence of microfibers on the indicators of air permeability and total thermal resistance of bulk nonwoven materials // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials (SMARTEx).* – 2021, № 1. P. 242...244.

18. Rakhmatullina R.D., Lisanevich M.S., Mezentseva E.V. Analysis of the influence of radiation sterilization on the index of surface stiffness during bending of the HoloFiber® nonwoven material // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials (SMARTEx).* – 2021, № 1. P.301...305.

19. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Mezentseva E.V. Analysis of the influence of radiation sterilization on consumer properties of bulk non-woven material // *Butlerov Communications.* – 2021. V. 68. № 12. P. 77...82.

20. Lisanevich M. S., Mezentseva E. V. Analysis of the effect of microfiber content on consumer properties of bulk nonwoven materials. // *Butlerov messages* – 2022. T.70. № 4. P.65...70.

21. Khakimullin Yu.N., Gilmutdinova G.M., Bakhritdinova A.R., Lisanevich M.S., Rakhmatullina E.R., Galimzyanova R.Yu. Investigation of the influence of non-equilibrium low-temperature plasma on the properties of a laminated non-woven material // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2016, № 14. P. 68.

22. Galimzyanova R.Yu., Lisanevich M.S., Khakimullin Yu.N., Podemirova N.S., Legaeva K.V. Influence of non-equilibrium low-temperature plasma on the properties of a non-woven multilayer material based on polypropylene // *Bulletin of the Technological University.* – 2015. V. 18. № 16. P. 141...143.

Рекомендована кафедрой медицинской инженерии КНИТУ. Поступила 04.10.22.