

Научная статья

УДК 675.6

EDN IOOQPRX

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-2-68-10-14>

Ильфат Ильдарович Латфуллин<sup>1</sup>

Гульназ Раисовна Рахматуллина<sup>2</sup>

Ксения Игоревна Максимова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

<sup>1</sup> [lilatfullin@gmail.com](mailto:lilatfullin@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0104-2312>

<sup>2</sup> [gulnaz-f@yandex.ru](mailto:gulnaz-f@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2475-5174>

<sup>3</sup> [nurieva-ksyusha@mail.ru](mailto:nurieva-ksyusha@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8184-1884>

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОТОКОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ И ПОРИСТОСТЬ ПОЛУФАБРИКАТА МЕХОВОЙ ОВЧИНЫ

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования влияния низкоэнергетических ионов, генерируемых из слоя положительного заряда ВЧЕ-разряда, на показатели качества меховой овчины. Установлено, что обработка низкоэнергетическими ионами полуфабриката до проведения процесса додубливания способствует интенсификации диффузии дубителя внутрь дермы. Показано влияние плотности ионного тока и энергии ионов на термостойкость меховой овчины. По показателям пористости и содержанию жировых веществ исследована степень диффузии жировых эмульсий в зависимости от параметров модификации. Также установлено влияние параметров плазменной модификации на физико-механические показатели полуфабриката меховой овчины.

**Ключевые слова:** поток низкоэнергетических ионов, модификация, меховая овчина, термостойкость, пористость, прочностные показатели, ВЧЕ-разряд

**Для цитирования.** Латфуллин И. И., Рахматуллина Г. Р., Максимова К. И. Влияние модификации потоком низкоэнергетических ионов на термостойкость и пористость полуфабриката меховой овчины // Технологии и качество. 2025. № 2(68). С. 10–14. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-2-68-10-14>.

Original article

Ilfat I. Latfullin<sup>1</sup>

Gulnaz R. Rakhmatullina<sup>2</sup>

Ksenia I. Maximova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

## INFLUENCE OF MODIFICATION BY LOW-ENERGY IONS FLOW ON HEAT RESISTANCE AND POROSITY OF WOOLLY SHEEPSKIN SEMI-FINISHED PRODUCT

**Abstract.** The article deals research results the influence of low energy ions generated from the positive charge layer radio-frequency capacitive discharge on the quality indicators of woolly sheepskin. It was found low energy ions treatment of semi-finished product before the retanning process promotes intensification of tanning agent diffusion inside the hide tissue. The influence of ionic current density and ion energy on the heat resistance of woolly sheepskin is shown. The fat liquor emulsions diffusion degree depending on the modification parameters was investigated by porosity and fat content indicators. The influence of plasma modification parameters on physical and mechanical indicators of woolly sheepskin semi-finished product was also established.

**Keywords:** low-energy ions flow, modification, woolly sheepskin, heat resistance temperature, porosity, leather tissue strength indicators, high-frequency capacitive discharge

**For citation:** Latfullin I. I., Rakhmatullina G. R., Maximova K. I. Influence of modification by low-energy ions flow on heat resistance and porosity of woolly sheepskin semi-finished product. Technologies & Quality. 2025. No 2(68). P. 10–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-2-68-10-14>.

Технологический процесс изготовления кожевенно-меховых изделий представляет определенную последовательность процессов и операций. Конечной целью производителей является получение меховых изделий высокого качества и, соответственно, прибыль от их реализации. На итоговые показатели качества меховых полуфабрикатов и готовых изделий влияет значительное количество факторов: вид сырья, правильное его консервирование, температурно-временные режимы проведения процессов и т. д. Кроме этого, кожаная ткань испытывает значительные нагрузки при проведении механических операций: мездрение, центрифугирование, тянущо-мягчильные операции. Недостатком жидкостных процессов является применение дорогостоящих химических реагентов и их влияние на экологичность производства. Недостатками механических операций, в первую очередь, является возможность поврежденный обрабатываемого материала.

Для интенсификации жидкостных процессов применяют обострители, механическое воздействие и повышение концентраций растворов [1]. Однако указанные методы несущественно влияют на протекание жидкостных процессов. Все большее внимание уделяется современным экологичным методам обработки, позволяющим обеспечивать как модификацию характеристик обрабатываемого материала, так и интенсифицировать выбираемость химических реагентов [2]. К таким методам обработки относится модификация материала потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых в высокочастот-

ной плазме емкостного разряда (ВЧЕ) пониженного давления [3–8].

Объектом исследования является полуфабрикат меховой овчины с дефектами структуры кожаной ткани, приводящими к снижению прочностных показателей. В ходе исследования оценивалась термостойкость мехового полуфабриката, его пористость, намокаемость и физико-механические показатели после процессов додубливания и отбеливания.

**Результаты экспериментов.** Эффект воздействия потока низкоэнергетических ионов на меховой полуфабрикат определялся в сравнении с контрольными образцами без модификации в среде низкоэнергетических ионов. ВЧЕ плазменную обработку мехового полуфабриката проводили при следующих значениях: давление  $p$  в области обработки составляло 26,6 Па, расход аргона  $G_{\text{Ar}} - 0,04$  г/с, время модификации  $\tau - 5$  мин. Характеристики потока низкоэнергетических ионов: ионный ток  $J_i$  от 0,3 до 1,0 А/м<sup>2</sup>, кинетическая энергия ионов  $W_i$  от 77,0 до 79,5 эВ. Влияние ВЧЕ плазменной модификации на термостойкость кожаной ткани мехового полуфабриката представлено на рисунке 1.

Согласно представленным данным, термостойкость образцов полуфабриката меховой овчины после модификации низкоэнергетическими ионами, генерируемыми в среде струйной плазмы высокочастотного разряда при  $J_i = 0,83$  А/м<sup>2</sup> и  $W_i = 77,0$  эВ (режим 1), превышает значения контрольного образца на 7 °С: 96 °С опытного образца и 89 °С контрольного образца.

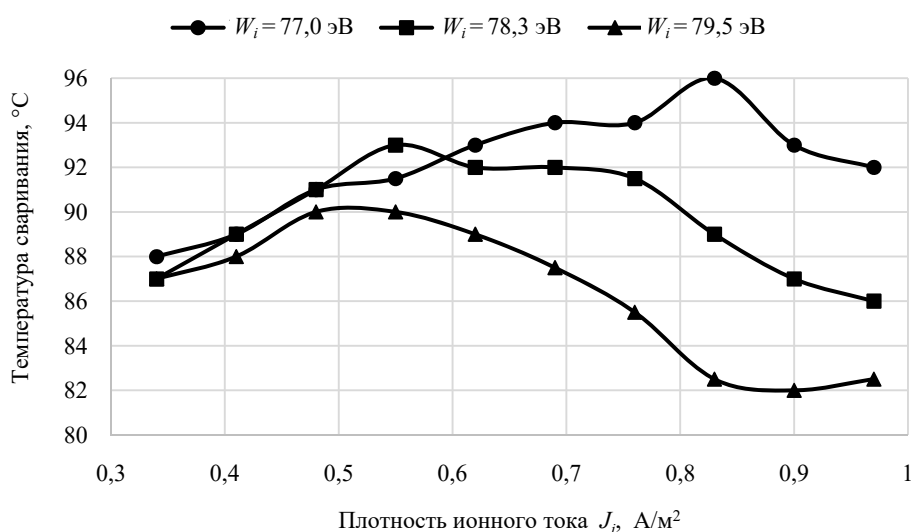


Рис. 1. Зависимость температуры сваривания от параметров плазменной модификации

Полученный результат объясняется интенсификацией диффузии и связывания дубителя кожей ткани. Термостойкость опытных образцов при режиме обработки  $J_i = 0,9 \text{ А/м}^2$  и  $W_i = 79,5 \text{ эВ}$  (режим 3) до процесса додубливания составляет  $82^\circ\text{C}$ , что ниже значения контрольного образца на  $4^\circ\text{C}$ . При этом наблюдается незначительное увеличение гидрофильных свойств кожи ткани. На рисунке 2 представлены данные по показателям пористости и намокаемости кожи ткани мехового полуфабриката.

Как видно из приведенных данных, показатели намокаемости и пористости опытных образцов в целом незначительно выше контрольного образца. В случае  $J_i = 0,9 \text{ А/м}^2$  и  $W_i = 79,5 \text{ эВ}$  показатель намокаемости опытного образца находится на уровне контрольно-

го. Объемная обработка потоком низкоэнергетических ионов изначально происходит в макропорах кожного покрова, что приводит к перераспределению микропор [9, 10]. Пористость кожи ткани, ее микропористость и структура в целом фиксируются в процессе дублирования. Окончательная ее фиксация происходит при сушке. Повышение  $J_i$  до  $0,8 \text{ А/м}^2$  и  $W_i$  до  $77,0 \text{ эВ}$  приводит к разволокнению структуры дермы, позволяющей интенсифицировать жидкостные процессы и повысить технологические свойства полуфабриката меховой овчины. Также повышаются эластичность и мягкость полуфабриката, прошедшего процесс отбеливания.

Степень диффузии жировых эмульсий оценивалась по показателю пористости и содержанию жировых веществ. Результаты представлены в таблице 1.

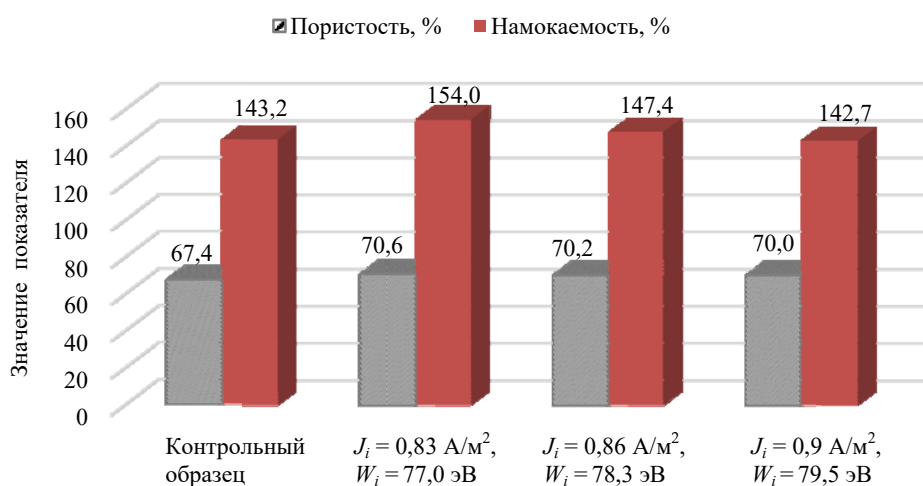


Рис. 2. Показатели намокаемости и пористости мехового полуфабриката

Т а б л и ц а 1

Показатели содержания жира и пористости образцов

| Показатель                    | Процесс      | Контрольный образец | $J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ ,<br>$W_i = 77,0 \text{ эВ}$ | $J_i = 0,9 \text{ А/м}^2$ ,<br>$W_i = 79,5 \text{ эВ}$ |
|-------------------------------|--------------|---------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Содержание жировых веществ, % | Додубливание | 9,3                 | 12,1                                                    | 9,0                                                    |
|                               | Отбеливание  | 10,8                | 13,2                                                    | 10,2                                                   |
| Пористость, %                 | Додубливание | 66,4                | 63,9                                                    | 68,1                                                   |
|                               | Отбеливание  | 63,5                | 59,5                                                    | 65,0                                                   |

По представленным результатам видно, что обработка низкоэнергетическими ионами, генерируемыми в среде ВЧЕ-разряда при пониженном давлении, приводит в определенных режимах к изменению пористости и, как следствие, содержания жира в коже ткани в отличие от образцов без обработки. Так, у опытных образцов, обработанных в режиме  $J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ ,  $W_i = 77,0 \text{ эВ}$ , пористость снижается по сравнению с контрольным образцом. Пористость

опытных образцов, обработанных в режиме  $J_i = 0,9 \text{ А/м}^2$ ,  $W_i = 79,5 \text{ эВ}$ , выше значений контрольного образца. Уменьшение пористости образцов, обработанных в режиме  $J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ ,  $W_i = 77,0 \text{ эВ}$ , связано с более интенсивной сорбцией кожей ткани жирных веществ, что видно по показателю содержания жировых веществ.

Известно [11], что регулирование прочностных характеристик кожи ткани проводится с помощью плазменной модификации. В данной

работе физико-механические параметры: прочность на растяжение  $\sigma_p$ , предел прочности при появлении трещин лицевого слоя  $\sigma_{л.с}$ , удлинение

при разрыве  $\Delta l_p$  и удлинение при появлении трещин лицевого слоя  $\Delta l_{л.с}$  определялись после процесса отбеливания (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Прочностные показатели меховой овчины

| Характеристика       | Образец до обработки | Параметры потока низкоэнергетических ионов I:<br>$J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ , $W_i = 77,0 \text{ эВ}$ | Параметры потока низкоэнергетических ионов II:<br>$J_i = 0,9 \text{ А/м}^2$ , $W_i = 79,5 \text{ эВ}$ |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_p$ , МПа     | 9,2                  | 11,6                                                                                                  | 9,6                                                                                                   |
| $\sigma_{л.с}$ , МПа | 8,9                  | 9,8                                                                                                   | 9,3                                                                                                   |
| $\Delta l_p$ , %     | 121,0                | 132,0                                                                                                 | 105,0                                                                                                 |
| $\Delta l_{л.с}$ , % | 101,0                | 116,0                                                                                                 | 96,0                                                                                                  |

По результатам исследования физико-механических характеристик меховой овчины установлено, что  $\sigma_p$  опытных образцов превышает значения контрольных на 4,3...26,1 %. Обработка меховой овчины в режиме  $J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ ,  $W_i = 77,0 \text{ эВ}$  позволяет повысить  $\sigma_p$  на 26,1 % и  $\Delta l_p$  на 9,1 % в отличие от образцов без обработки. Указанный режим является оптимальным для обработки меховой овчины потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых в среде ВЧЕ-разряда при пониженном давлении. В режиме обработки  $J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ ,  $W_i = 77,0 \text{ эВ}$  достигаются оптимальные значения показателей  $\sigma_p$

и  $\Delta l_p$ . Повышение параметров обработки низкоэнергетическими ионами  $J_i$  и  $W_i$  ведет к снижению прочностного показателя  $\sigma_p$  до уровня контрольного образца. Показатель  $\Delta l_p$  опытного образца снижается на 13,2 % по сравнению со значением контрольного образца.

За счет интенсификации диффузии дубителя и жиров внутрь дермы после плазменной модификации меховой овчины образцы, обработанные в режиме  $J_i = 0,83 \text{ А/м}^2$ ,  $W_i = 77,0 \text{ эВ}$ , меньше подверглись деструктирующему действию на кожную ткань перекиси водорода в процессе отбеливания.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Островская А. В., Лутфуллина Г. Г., Абдуллин И. Ш. Химия и технология кожи и меха: теоретические основы : учеб. пособие. М. : Юрайт, 2018. 162 с. (Серия: Университеты России).
2. О возможности регулирования сорбционных свойств меха путем модификации ВЧ-плазмой / Е. А. Панкова, И. Ш. Абдуллин, М. А. Адакова, Л. Ю. Махоткина, О. В. Фукина // Кожевенно-обувная промышленность. 2009. № 6. С. 35–36.
3. Вознесенский Э. Ф., Шарифуллин Ф. С., Абдуллин И. Ш. Теоретические основы структурной модификации материалов кожевенно-меховой промышленности в плазме высокочастотного разряда пониженного давления : монография. Казань : КГТУ, 2011. 364 с.
4. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Б. А. Артамонов, Ю. С. Волков, В. И. Дрожалова [и др.] ; под ред. В. П. Смоленцева. М. : Высшая школа, 1983. 456 с.
5. Калукова М. Н., Гарифуллина А. Р. Влияние ВЧ-плазмы пониженного давления на физико-механические свойства полуфабриката кролика в процессе структурирования неизоцианатными уретанами // Вестник науки и творчества. 2016. № 8. С. 54–57.
6. Панкова Е. А., Рахматуллина Г. Р. Исследование влияния ВЧЕ-плазмы пониженного давления на механические свойства мехового полуфабриката из шкурок кролика // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : сб. материалов XVII Междунар. науч.-практ. конф. Улан-Удэ, 2022. С. 121–125.
7. Modification of the materials based on protein fibers in a low-pressure high-frequency plasma flow / G. R. Rakhmatullina, E. A. Pankova, O. V. Fukina, M. Khayytov, L. V. Chapaeva // Journal of Physics : Conference Series. 2022. Vol. 2270, is. 1. P. 012056–012056. doi:10.1088/1742-6596/2270/1/012056.
8. Сысоев В. А., Гарифуллина А. Р. Влияние плазменной активации наноструктуры коллагена на процесс бесхромового дубления меховой овчины // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 11. С. 590–594.
9. Physical processes in capillary-porous material and coating in HF plasma at decreased pressure / G. R. Rakhmatullina, D. K. Nizamova, E. A. Pankova, E. Yu. Ryazantseva, R. F. Akhverdiev, V. P. Tikhonova, M. Shaekhov // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1328, is. 1. P. 012065. doi: 10.1088/1742-6596/1328/1/012065.

10. Рахматуллина Г. Р., Абдуллин И. Ш., Кудинов В. В. Гидрофобизация поверхности натуральных белковых материалов при воздействии неравновесной низкотемпературной плазмы // Физика и химия обработки материалов. 2009. № 6. С. 16–18.
11. Кузьмина О. Н., Хайдарова Л. М., Гребенщикова М. М. Исследование изменения прочностных свойств кожевенного материала, модифицированного плазменными методами // Вестник технологического университета. 2014. Т. 17, № 11. С. 100–102.

## REFERENCES

1. Ostrovskaya A. V., Lutfullina G. G., Abdullin I. Sh. Chemistry and technology of leather and fur: theoretical foundations. Moscow, Yurait Publ., 2018. 162 p. (Series: Universities of Russia). (In Russ.)
2. Pankova E. A., Abdullin I. S., Adakova M. A., Mahotkina L. Yu., Fukina O. V. About possibility of the regulation sorbtion characteristic of the fur by modification HF plasma. *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost'* [Leather and shoe industry]. 2009;6:35–36. (In Russ.)
3. Voznesensky E. F., Sharifullin F. S., Abdullin I. Sh. Theoretical bases of structural modification of leather and fur industry materials in radio-frequency discharge plasma of reduced pressure. Kazan, Kazan St. Techn. Univ., 2011. 364 p. (In Russ.)
4. Artamonov B. A., Volkov Yu. S., Drozhalova V. I. et al., V. P. Smolencev (ed.). Electrophysical and electrochemical methods of materials processing. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1983. 456 p. (In Russ.)
5. Kalukova M. N., Garifullina A. R. Influence of RF plasma of reduced pressure on physical and mechanical performance of rabbit semi-finished product in the process of structuring by non-isocyanate urethanes *Vestnik nauki i tvorchestva* [Bulletin of Science and Creativity]. 2016;8(8):54–57. (In Russ.)
6. Pankova E. A., Rakhmatullina G. R. Investigation of the effect of low-pressure HF plasma on the mechanical properties of the semi-finished fur product from rabbit skins. *Kozha i mekh v XXI veke: tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovanie* [Leather and Fur in the XXI century: technology, quality, ecology, education]. Ulan-Ude, 2022. P. 121–125. (In Russ.)
7. Rakhmatullina G. R., Pankova E. A., Fukina O. V., Khayytov M., Chapaeva L. V. Modification of the materials based on protein fibers in a low-pressure high-frequency plasma flow. *Journal of Physics : Conference Series*. 2022;2270,1:012056–012056. doi:10.1088/1742-6596/2270/1/012056.
8. Sysoev V. A., Garifullina A. R. Influence of plasma activation of collagen nanostructure on the process of chrome-free tanning of fur sheepskin. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2010;11:590–594. (In Russ.)
9. Rakhmatullina G. R., Nizamova D. K., Pankova E. A., Ryazantseva E. Yu., Akhverdiev R. F., Tikhonova V. P., Shaekhov M.. Physical processes in capillary-porous material and coating in HF plasma at decreased pressure. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1328,1:012065. doi: 10.1088/1742-6596/1328/1/012065.
10. Rakhmatullina G. R., Abdullin I. Sh., Kudinov V. V. Hydrophobisation of natural protein materials surface under the action of non-equilibrium low-temperature plasma. *Fizika i himiya obrabotki materialov* [Physics and Chemistry of Materials Processing]. 2009;6:16–18.
11. Kuzmina O. N., Khaidarova L. M., Grebenshchikova M. M. Research of strength performances changes of tannery material modified by plasma methods. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2014;17,11:100–102.

Статья поступила в редакцию 21.04.2025  
Принята к публикации 20.05.2025