

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ К МОРСКОЙ ВОДЕ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТКАНЕЙ  
ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ \***

**INCREASING THE RESISTANCE TO SEAWATER  
OF NANOSTRUCTURED FABRICS  
FOR PROTECTIVE WORKWEAR**

Э.А. ХАММАТОВА  
E.A. KHAMMATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: elm.kzn@mail.ru

*В статье представлены данные научного исследования, направленные на решение проблем повышения стойкости текстильных материалов к морской воде, которые применяются при производстве защитной спецодежды. Цель работы заключалась в разработке способов получения наноструктурированных многофункциональных текстильных материалов (МТМ) для защитной спецодежды, которые позволяют сохранить прочность и стойкость после воздействия морской воды и опытных носок. Объектами исследования выбраны текстильные материалы для защитной спецодежды с содержанием натуральных хлопковых волокон и волокон полиэстера. Для исследования разрывной нагрузки применяли контрольные и наноструктурированные образцы с использованием разрывной машины МТ110-5. Наноструктурирование тканей для защитной спецодежды получило в результате обработки потоком "холодной" плазмы пониженного давления на полупромышленной плазменной установке периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3", которая используется в Центре коллективного пользования "Наноматериалы и нанотехнологии" КНИТУ. При этом МТМ максимально достигают показателей свойств при следующих параметрах воздействия потока "холодной" плазмы пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=20$  Па, времени воздействия  $\tau=2$ м/мин, мощности разряда  $W_p = 4,0$  кВт и расходе плазмообразующего газа  $G_{возд} = 0,04$  г/с.*

---

\* Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699.

*После наноструктурирования и нанесения (водоотталкивающей, маслостойкой, водоотталкивающей, нефтемаслостойкой и других) пропиток, получили МТМ: "Премьер Cotton 300", "Премьер Комфорт-250" и "Cotton Rich 180", из которых изготовили защитную спецодежду для опытных носок и стирок. В результате исследований МТМ после опытных носок и стирок в течение 24 месяцев установлено, что в процессе эксплуатации защитной спецодежды в течение 12 месяцев разрывная нагрузка понижается в контрольных образцах по основе и утку до 62,8%, соответственно после их наноструктурирования она снижается по основе до 29% и по утку на 44%. После 24 месяцев эксплуатации спецодежды разрывная нагрузка в зависимости от видов текстильных материалов уменьшается в 1,5...2,0 раза относительно контрольных образцов. Установлено, что нормативная стойкость к воздействию морской воды сохраняется в контрольных образцах от 3 до 6 месяцев, в наноструктурированных МТМ выдерживается до 12 месяцев.*

*The article presents the data of scientific research aimed at solving the problems of increasing the resistance of textile materials to seawater, which are used in the production of protective workwear. The aim of the work was to develop methods for obtaining nanostructured multifunctional textile materials (MTM) for protective workwear, which allow maintaining strength and durability after exposure to seawater and experimental socks. The objects of the study were selected textile materials for protective workwear containing natural cotton fibers and polyester fibers. To study the bursting load, control and nanostructured samples were used using the MT110-5 bursting machine. Nanostructuring of fabrics for protective workwear was obtained as a result of processing with a stream of "cold" plasma of reduced pressure on a semi-industrial plasma installation of periodic action "WATT 4000 PT PLASMA 3", which is used in the Center for Collective Use "Nanomaterials and Nanotechnology" KNITU. At the same time, MTM maximizes the performance of properties with the following parameters of the effect of the flow of "cold" plasma of reduced pressure: operating pressure in the vacuum chamber  $P_k = 20$  Pa, exposure time  $\tau = 2$  m/min, discharge power  $W_p = 4.0$  kW and plasma gas flow rate  $G_v = 0.04$  g/s. After nanostructuring and applying (water-repellent, oil-water-repellent, oil-oil-repellent and others) impregnations, MTM received: "Premier Cotton 300", "Premier Comfort-250" and "Cotton Rich 180" from which protective workwear was made for experienced socks and washes. As a result of MTM studies after experimental socks and washings for 24 months, it was found that during the operation of protective workwear for 12 months, the breaking load decreases, in control samples for the base and weft up to 62.8%, respectively, after their nanostructuring, it decreases, for the base up to 29% and for the weft by 44%. After 24 months of operation of workwear, the breaking load, depending on the types of textile materials, decreases by 1.5...2.0 times relative to control samples. It is established that the normative resistance to the effects of seawater is preserved, in control samples from 3 to 6 months, in nanostructured MTMS it is maintained for up to 12 months.*

**Ключевые слова:** стойкость, морская вода, многофункциональный, холодная плазма, разрывная нагрузка, наноструктурирование, текстильный материал, специальная одежда, пропитки.

**Keywords:** durability, seawater, multifunctional, cold plasma, breaking load, nanostructuring, textile material, special clothing, impregnations.

В последние годы, в связи с развитием современной нефтегазодобывающей промышленности в России, основной ориентир направлен на освоение морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа. Поэтому представители предприятий нефтегазодобычи проявляют интерес к защитной спецодежде для работников морских платформ. Защитная спецодежда, с учетом специфики работы на морских нефтегазодобывающих объектах, кроме требований безопасности в нефтегазовом производстве (общепроизводственных загрязнений и механических воздействий) должна обладать стойкостью к морской воде [1], [2].

Типичные и чрезвычайные условия жизнедеятельности человека на море сопровождаются, как правило, контактом с морской водой и периодически сырой нефтью и ее продуктами. В первую очередь, этот контакт происходит с поверхностью спецодежды. Следовательно, специальный защитный костюм для условий морской нефтегазодобычи должен быть изготовлен из многофункционального текстильного материала (МТМ), который обеспечит защиту от нескольких опасных и вредных природно-производственных факторов и увеличит резерв времени эксплуатации. При этом потеря прочности после воздействия морской воды должна быть не более 10% [3].

Морская соль (NaCl) является неотъемлемой частью морской воды и накапливается в структуре текстильного материала, что приводит к изменению механических и эксплуатационных свойств [4]. Морская соль представляет собой кристаллы, которые способны внедряться в структуру текстиля и задерживаться в ней. В отличие от морской соли нефть представляет собой смесь углеводородов различного молекулярного веса. Они имеют разные температуры кипения с гетероатомами кислорода, серы, азота, некоторых металлов и органических кислот [5]. В связи с изложенным исследование механических свойств МТМ для специальной одежды является актуаль-

ным и представляет научный и практический интерес [6...8].

В данной работе приведены результаты исследования влияния потока "холодной" плазмы пониженного давления на механические свойства и стойкость специальной одежды к морской воде, которая изготавливалась из МТМ контрольных и наноструктурированных "холодной" плазмой (НХП) образцов с содержанием хлопковых волокон. Воздействие морской воды на МТМ проводили в условиях опытных носок спецодежды на нефтегазодобывающем производстве в течение 24 месяцев путем многократного их поверхностного смачивания морской водой, стирок и последующего высушивания.

Критерием оценки материалов к действию морской воды являлись определение стойкости к поверхностному смачиванию (метод испытания разбрызгиванием) и изменение разрывной нагрузки (Рн). Определение разрывной нагрузки контрольных и наноструктурированных опытных образцов МТМ проводили при одноосном растяжении материалов на разрывной машине МТ110-5 согласно ГОСТ 3813-72 [9].

Ткань считается стойкой к поверхностному смачиванию, если капли морской воды, нанесенные на МТМ, не остаются на поверхности, имеют незначительное случайное прилипание или смачивание.

В качестве объектов исследования выбран ассортимент текстильных материалов, применяемых для изготовления защитных швейных изделий специального назначения, характеристики которых представлены в табл. 1.

Наноструктурирование опытных образцов МТМ осуществляли с использованием уникальной полупромышленной плазменной установки периодического действия "ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3". В камере при пониженном давлении происходила обработка в потоке "холодной" плазмы, не превышающей температуру 50...60°C и частоту генератора 50 Гц. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух [6].

Т а б л и ц а 1

№ образца	Наименование тканей	Артикулы	Состав волокон, %		Вес, г/м <sup>2</sup>	Переплетение	Пропитка
			шерсть	полиэстер			
1	"Премьер Cotton 300"	10408	100	-	300	саржевое 3/1	Масловодоотталкивающая (МВО)
2	"Премьер Комфорт-250"	18422 X	80	20	255	саржевое 3/1	StopOil + нефтемасловодоотталкивающая (НМВО)
3	"Cotton Rich 180"	18444	60	40	180	Сржевое 2/1	Bio Repellent (ВО, антимоскитная)

Входные параметры плазменной установки устанавливали в пределах: мощности разряда ( $W_p$ ) от 0,6 до 1,8 кВт, расхода плазмообразующего газа ( $G$ ) от 0,02 до 0,06 г/с, давления в вакуумной камере ( $P_k$ ) от 26 до 53 Па и времени обработки ( $\tau$ ) от 1 до 3 м/мин.

Испытания МТМ проводили на 5 опыт-

ных образцах до разрушения, затем определяли среднее значение полученных результатов. Результаты мониторинга  $R_n$  после воздействия морской воды на объекты исследования МТМ представлены в табл. 2, что свидетельствует о понижении  $R_n$  в процессе прохождения опытных носок и стирок спецодежды в течение 24 месяцев.

Т а б л и ц а 2

Виды МТМ	Виды образцов входного контроля по $R_n, H$ основа/уток	Направление испытания	Мониторинг образцов МТМ по разрывной нагрузке $R_n, H$				
			после опытных носок				
			количество месяцев				
			1	6	12	18	24
			после стирок				
			количество стирок				
			4	24	48	72	96
"Премьер Cotton 300"	контрольный 822 /630	основа	765,7	649,6	615,8	563,2	551,2
		уток	617,7	597,2	562,5	522,7	489,1
	НХП 1032 /778	основа	999,9	936,1	923,0	872,1	801,1
		уток	736,9	692,1	654,7	619,2	513,04
"Премьер Комфорт-250"	контрольный 798 /610	основа	723,8	636,1	586,8	562,4	477,6
		уток	523,4	475,2	436,4	397,3	301,5
	НХП 1041 /754	основа	991,7	925,4	891,1	844,5	715,5
		уток	696,0	672,1	626,5	600,3	582,2
"Cotton Rich 180"	контрольный 798 /610	основа	723,9	697,0	636,6	578,5	545,2
		уток	535,6	511,2	455,8	424,8	384,6
	НХП 904 /689	основа	855,5	825,6	792,3	736,5	695,4
		уток	642,2	593,7	563,5	529,6	494,4

Результаты исследований МТМ, представленные в табл. 2 позволяют оценить зависимость разрывной нагрузки от времени прохождения опытных носок и стирок после воздействия морской воды. Полученные результаты в табл. 2 показывают, что после 6 месяцев опытных носок и стирки  $R_n$  МТМ "Премьер Cotton 300" уменьшается в контрольных образцах по основе на 30,4% и по утку на 5,5%, соответственно после НХП пониженного давления  $R_n$  уменьшается по основе на 8,63% и по утку на 12,4%. В процессе опытных носок и стирок МТМС

в течение 12 месяцев  $R_n$  также продолжает понижаться, в контрольных образцах по основе на 32,5%, по утку на 12,0%, соответственно после их наноструктурирования  $R_n$  снижается, по основе на 10,96% и по утку на 18,83%. После 24 месяцев эксплуатации спецодежды  $R_n$  уменьшается в 1,5...2,0 раза относительно контрольных образцов.

Как видно из табл. 2, через 6 месяцев эксплуатации спецодежды из МТМ "Премьер Комфорт-250"  $R_n$  снижается в контрольных образцах по основе и утку соответственно на 28,7%, а после НХП пони-

женного давления  $P_n$  в МТМ уменьшается по основе на 13,15% и по утку на 12,18%. После 24 месяцев опытных носок и стирок спецодежды в контрольных образцах прочность понижается по основе на 62,8% и утку на 73,7%, а в наноструктурированных образцах соответственно на 29,5% и 44,5%.

По полученным результатам в табл. 2 можно сделать вывод, что  $P_n$  в контрольных образцах уменьшается по основе на 14%, по утку на 19,3%, далее от 12 до 18 месяцев эксплуатации теряют  $P_n$  по основе на 45%, по утку на 58,6%. В наноструктурированных образцах МТМ показатель  $P_n$  после 6 месяцев эксплуатации защитной спецодежды снижается по основе на 10,2% и утку на 10,4%, соответственно после 24 месяцев опытных носок и стирок на 29,14% и 39,3%.

Проведено исследование стойкости к морской воде ( $\Delta C_{\text{мор.воде}}$ , %) наноструктурированных МТМ для специальной одежды после воздействия потока "холодной" плазмы пониженного давления. Показатель стойкости к действию морской воды в контрольном и наноструктурированном в плазме образцах МТМ измерялся в соответствии с ГОСТ 4920-2014 [10]. Результаты исследований представлены на рис. 1...3. Для оценки стойкости к действию морской воды получили зависимости разрывной нагрузки МТМ "Премьер Cotton 300" (рис.1), "Премьер Комфорт-250" (рис.2) и "Cotton Rich 180" (рис.3) от воздействия морской воды в процессе прохождения опытных носок и стирок спецодежды в течение 24 месяцев.

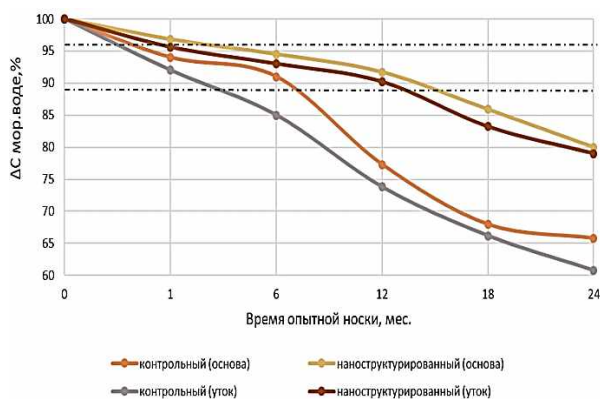


Рис. 1

Как видно из рис. 1, нормативная стойкость к воздействию морской воды сохраняется в контрольных образцах "Премьер Cotton 300" от 3 до 6 месяцев, по сравнению с наноструктурированными МТМ, где  $\Delta C_{\text{мор.воде}}$  выдерживается до 12 месяцев.

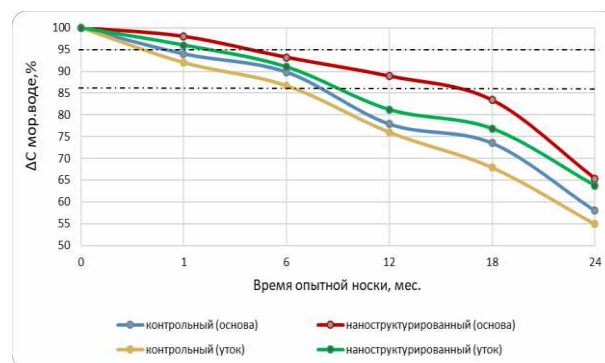


Рис. 2

Результаты исследования, представленные на рис. 2 показали, что предварительное НХП пониженного давления МТМ "Премьер Комфорт-250" позволило сохранить нормативную  $\Delta C_{\text{мор.воде}}$  в течение 6 месяцев опытных носок и стирок.

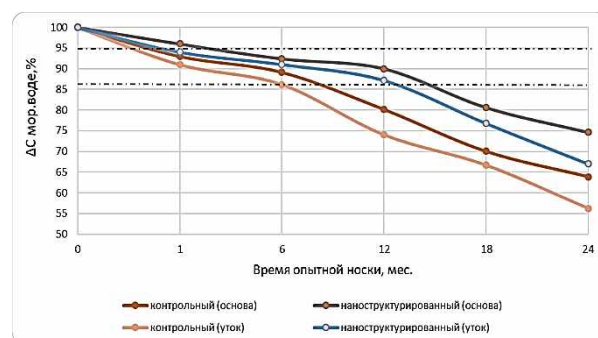


Рис. 3

По полученным результатам на рис. 3 можно сделать вывод, что стойкость МТМ "Cotton Rich 180" к воздействию морской воды сохраняется 6 месяцев в соответствии с нормативными требованиями ( $\Delta C_{\text{мор.воде}} \geq 85\%$ ).

## ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам экспериментального анализа multifunctional текстильных материалов можно сделать вывод, что наноструктурирование в

потоке "холодной" плазмы пониженного давления позволяет получить прочные и стойкие к воздействию морской воды образцы МТМ для защитной спецодежды.

Установлено, что в процессе эксплуатации защитной спецодежды в течение 12 месяцев разрывная нагрузка понижается в контрольных образцах по основе и утку до 62,8%, соответственно после их наноструктурирования разрывная нагрузка снижается по основе на 29% и по утку на 44%. После 24 месяцев эксплуатации спецодежды разрывная нагрузка в зависимости от видов текстильных материалов уменьшается в 1,5...2,0 раза относительно контрольных образцов.

Проведено исследование стойкости к морской воде наноструктурированных образцов тканей для специальной одежды. Установлено, что нормативная стойкость к воздействию морской воды сохраняется в контрольных образцах от 3 до 6 месяцев, в наноструктурированных МТМ выдерживается до 12 месяцев. При этом МТМ максимально достигают механические и эксплуатационные свойства при следующих параметрах воздействия потока "холодной" плазмы пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=20$  Па, времени воздействия  $\tau=2$  м/мин, мощности разряда  $W_p=4,0$  кВт и расходе плазмообразующего газа  $G_{\text{возд}}=0,04$  г/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедева Е.О., Матузова С.Ю. Нормативное обеспечение для проектирования специальной одежды для защиты персонала на морских нефтегазодобывающих объектах арктического шельфа // *Фундаментальные исследования*. – 2014, № 6-5. С.928...931.
2. Eleftheria E., Apostolos P., Markos V. Statistical analysis of ship accidents and review of safety level // *Safety Science*. – 2016. P. 282...292.
3. Лисиенкова Л. Н. Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2010.
4. Пат. 2253858, RU, МПК G 01 № 15/08, 33/36. Способ определения водопоглощаемости объемных текстильных материалов из полиэфирных волокон / Сергеев С.Н., Бринк И.Ю., Урванцева М.Л. №2003133726/28; Заявл. 2003133726; Опубл. 10.06.2005, Бюл. № 16.

5. Desarnaud J., Derluyn H., Molari L., Miranda S. Et al. Drying of salt contaminated porous media: Effect of primary and secondary nucleation. *American Institute of Physics, Journal of Applied Physics*. – 2015. Vol. 118, 11. P. 114901. doi: 10.1063 /1.4930292.

6. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф. Влияние потока плазмы на повышении физико-механических свойств технических материалов // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 6. С. 56...62.

7. Хамматова Э.А. Сохранение качества наноструктурированных текстильных материалов после эксплуатационной носки специальной одежды // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2021, № 5. С. 83...88.

8. Жерносек С.В., Ольшанский В.И. Модификация структуры композиционных текстильных материалов в условиях воздействия СВЧ-излучения // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 6. С. 41...43.

9. ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) *Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении (с Изменениями № 1, 2, 3)*. – Введено 01.01.1973, переутв. 01.01.1982 г., 01.09.1990 г., 01.06.1992 г. (ИУС 4-82, 12-90, 9-92). – М.: Изд-во стандартов. – 1973.

10. ГОСТ 4920-2017 (СТ СЭВ 5784-86) *Материалы текстильные. Определение стойкости к поверхностному смачиванию (метод испытания разбрызгиванием)*. – М.: Изд-во стандартов, 2016.

#### REFERENCES

1. Lebedeva E.O., Matuzova S.Yu. Regulatory support for the design of special clothing for the protection of personnel at offshore oil and gas production facilities of the Arctic shelf // *Fundamental Research*. – 2014, №6-5. P. 928...931.
2. Eleftheria E., Apostolos P., Markos V. Statistical analysis of ship accidents and review of safety level // *Safety Science*. – 2016. P. 282...292.
3. Lisienkova L.N. Development of theory and methods of research of deformation properties of materials under the influence of technological and operational factors: abstract: Dis. ... Doctor of Technical Sciences. – М., 2010.
4. Pat. 2253858, RU, IPC G 01 No. 15/08, 33/36. Method for determining the water absorption of bulk textile materials made of polyester fibers / Sergienko S.N., Brink I.Yu., Urvantseva M.L. №. 2003133726/28; Application 2003133726; Publ. 10.06.2005, Bul. 16.
5. Desarnaud J., Derluyn H., Molari L., Miranda S. et al. Drying of salt contaminated porous media: Effect of primary and secondary nucleation. *American Institute of Physics // Journal of Applied Physics*. – 2015. Vol. 118, №11. P. 114901. doi: 10.1063 /1.4930292.
6. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F. Effect of plasma flow on improving the physical and mechanical properties of technical materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2020, №6. P. 56 ... 62.

7. Khammatova E. A Preservation of the quality of nanostructured textile materials after operational wear of special clothing // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, №5. P. 83 ... 88.

8 Zhernosek S.V., Olshanskiy V.I. Modification of the structure of composite textile materials under the influence of microwave radiation // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2020, №6. P. 41 ... 43.

9. GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82) Textile materials. Fabrics and piece goods. Methods for determination of tensile breaking characteristics (with

amendments N 1, 2, 3). - Entered on 01.01.1973, reapproved 01.01.1982, 01.09.1990, 01.06.1992 (IUS 4-82, 12-90, 9-92). – M.: Publishing house of standards. – 1973.

10. GOST 4920-2017 (ST SEV 5784-86) "Textile materials. Determination of resistance to surface wetting (spray test method). – M.: Publishing House of standards. – 2016.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 12.08.22.

---