

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHHC (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

## International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2018 Issue: 11 Volume: 67

Published: 16.11.2018 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



### SECTION 25. Technologies of materials for the light and textile industry.

**Valentina Iosifovna Besshaposhnikova**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Russian State University named after A.N. Kosygina,  
Moscow, Russia  
[vibesvi@yandex.ru](mailto:vibesvi@yandex.ru)

**Natalia Alexandrovna Klimova**

graduate student,  
Russian State University named after A.N. Kosygina,  
Moscow, Russia  
[k.natali.94@mail.ru](mailto:k.natali.94@mail.ru)

**Nadezhda Evgenevna Kovaleva**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.  
Saratov State Technical University named Yuri Gagarin,  
Saratov, Russia  
[leha-kovalev@mail.ru](mailto:leha-kovalev@mail.ru)

## RESEARCH OF THE EFFECT OF LOW TEMPERATURES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF MEMBRANE FABRICS FOR CLOTHING

**Abstract:** The article presents the research results of the effect of multiple freezing-thawing on the structure and properties of membrane tissues. It was found that the change in the physical and mechanical properties of membrane tissues subjected to cryolysis occurs linearly and depends on the structure of the membrane. Porous membranes are more resistant to repeated creolize than bespravie. To give a reliable water resistance to special products, fabric must have additional water-repellent impregnation and membrane coating on the reverse side of the fabric.

**Key words:** membranes, fabrics, clothing, properties, low temperatures, vapor permeability, water resistance.

**Language:** Russian

**Citation:** Besshaposhnikova, V. I., Klimova, N. A., & Kovaleva, N. E. (2018). Research of the effect of low temperatures on the structure and properties of membrane fabrics for clothing. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11 (67), 54-61.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-11-67-10> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.11.67.10>

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ОДЕЖДЫ

**Аннотация:** В работе представлены результаты исследования влияния многократного замораживания-оттаивания на структуру и свойства мембранных тканей. Установлено, что изменение физико-механических свойств мембранных тканей, подвергнутых криолизу, происходит по линейному закону и зависит от структуры мембраны. Поровые мембраны более устойчивы к многократному криолизу, чем беспоровые. Для придания надежной водонепроницаемости специальным изделиям, ткань должна иметь дополнительную водоотталкивающую пропитку и мембранное покрытие изнаночной стороны ткани.

**Ключевые слова:** мембраны, ткани, одежда, свойства, низкие температуры, паропроницаемость, водоупорность.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

### Введение

В настоящее время изделия с водозащитными свойствами, прежде всего из мембранных материалов прочно вошли в экипировку человека в самых различных видах деятельности - специальной и профессиональной, повседневной одежды и для активного отдыха. На современном рынке представлено огромное количество материалов и изделий, изготовленных с использованием мембранных технологий. Однако информации о качестве и долговечности мембранных тканей в основном носит рекламный характер. Поэтому исследование и установление взаимосвязи структуры и свойств мембранных текстильных полотен и их устойчивости к низким температурам, является актуальной проблемой, поскольку позволит обоснованно и рационально конфекционировать материалы в пакет одежды с учетом назначения изделий.

К настоящему времени сформировалась теория, объясняющая способность текстильных материалов к проницаемости и поглощению. Доказано, что процессы поглощения сопровождаются изменением физико-механических свойств, размера и массы материалов. Сформулированы основные понятия паропроницаемости и её характеристики.

Способность текстильных материалов проявлять свойства проницаемости обусловлена капиллярно-пористой структурой, которая имеет сложную систему пор и капилляр, образованных в результате неплотного расположения макромолекул, микрофибрилл и фибрилл в структуре полимера волокна, а также между волокнами и нитями в структуре самого материала. Мембрана пропускает пары влаги для поровых мембран - посредством проницаемости через поры, для беспоровых мембран - за счет сорбционных процессов. Поэтому проницаемость и поглощение мембранными тканями представляет собой весьма сложный процесс [1-5].

Основными показателями качества мембранных тканей, которые напрямую связаны с назначением изделий, являются паропроницаемость, водонепроницаемость и воздухопроницаемость.

Мембраны различают поровые и беспоровые. Паропроницаемые свойства поровой мембраны определяются тем, что размер пор мембраны в 700 раз превышает размер молекулы водяного пара, поэтому испарения проникают сквозь мембрану и выводятся наружу. Перемещение пара происходит за счет разницы давлений с разных сторон мембраны и процессов диффузии [6-9].

Капиллярное давление, которое создается в порах, против давящего сверху столба воды, можно рассчитать, если принять поры в виде правильной круглой формы в сечении капилляр с абсолютно несмачивающимися водой стенками.

Вода образует в таком капилляре сферический выпуклый мениск. В таком приближении оценить капиллярное давление позволяет уравнение Лапласа [9-11]:

$$\Delta p = 2\sigma/r \quad (1)$$

В уравнении (1)  $2\sigma$  – поверхностное натяжение воды, а  $r$  – радиус кривизны мениска. В нашем приближении (мениск сферический) радиус кривизны мениска равен радиусу самой поры. Поверхностное натяжение воды при температуре 20 °С равно 72,7 мДж/м<sup>2</sup>. Соответственно, капиллярное давление для пор радиусом 0,1225 микрон с учетом того, что размер пор мембраны в 700 раз превышает размер молекулы водяного пара (из данных производителей мембран), средний диаметр которой равен 3,5 ангстрема (0,35 нанометра), будет равно:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot 72,7 \cdot 10^{-3}}{1,225 \cdot 10^{-7}} = 11,8 \cdot 10^5 \text{ Па} = 11,65 \text{ атм} \quad (2)$$

Таким образом, только за счет капиллярного давления, мембрана выдерживает давление почти 12000 мм.вод.ст., и за счет гидрофобности полимерных участков этот показатель может быть примерно на 0,5 атм. увеличен. При более низких температурах высота столба увеличится, так как поверхностное натяжение воды растет при уменьшении температуры.

Следует также учитывать, что если в результате высокого давления влаги мембрана напитана водой, то капиллярные явления не наблюдаются, за счет того, что искривленной поверхности раздела фаз (жидкость–воздух) в порах, обеспечивающих избыточное давление, попросту не существует. В результате, вода сквозь мокрую мембрану начинает проникать в пододежное пространство. Эффект избыточного давления может быть вызван не только водой осадков, но любым мокрым объектом (например мокрая трава, сиденье и т.п.), который длительно соприкасается с поверхностью мембранной ткани.

На паропроницаемость мембранных тканей также влияет способ ухода за изделием, так как любые поверхностно-активные вещества (ПАВ) имеют гидрофильные (взаимодействующие с водой) и гидрофобные (отталкивающиеся от воды) части. При этом гидрофобными частями ПАВ агрегируют на гидрофобной поверхности ткани, а гидрофильные частицы располагаются на поверхностном слое, увеличивая смачиваемость мембранных материалов водой. Кроме того, ПАВ снижает поверхностное натяжение воды. В результате капиллярные

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

явления также не наблюдаются, и вода свободно проходит через отверстия мембраны [9, 10].

Именно поэтому мембранные ткани не рекомендуют стирать с применением каких-либо моющих средств, за исключением жидкого мыла, которое легко смывается водой при полоскании.

### Объекты исследования

Объекты исследования являлись мембранные ткани трех Российских производителей: ОАО «Балтекс», ОАО «Моготекс», ООО ГК «Чайковский текстиль», характеристики представлены в (табл. 1).

Исследование свойств проводили по стандартным методам в соответствии с ГОСТ 10550-93, ГОСТ 6611.2-73, ГОСТ 18976-73, ГОСТ 28486-90 и ГОСТ30292-96, ГОСТ Р ИСО 11092-2012 и ISO 15496-2004, ГОСТ 12088-87, ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81).

Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением методов математической статистики в программе Excel по ГОСТ Р 8.736-2011.

Таблица 1

### Характеристики структуры мембранных тканей

№ образца	Наименование образцов	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Волокнистый состав ткани, %	Переплетение ткани	Полимер мембранной пленки, вид отделки	Толщина мембраны, мм
1	Мембранная ткань арт. С911М	150±5	100ПА	Комбинированное Рип-Стоп	ПТФЕ «Parel»	0,019
2	Мембранная ткань арт.09С20-КВ	148±5	100ПЭ	Полотняное	ПлЛАМ	0,028
3	Мембранная ткань арт.ПЭ/М-003	192±5	100ПЭ	Комбинированное Рип-Стоп	ПлЛАМ, отделка МВО	0,019
4	Мембранная ткань арт.09С13-КВ	170±5	100ПЭ	Полотняное	ПлПУМ	0,026
5	Мембранная ткань арт.80021	190±5	100ПЭ	Саржевое	отделка МВОКл3	0,028

Примечание: обозначение отделки: ПлЛАМ – пленочное покрытие ламинированное политетрафторэтиленовой мембраной; ПлПУМ пленочное покрытие ламинированное полиуретановой мембраной; ВО - заключительная водоотталкивающая отделка; МВОКл3 –отделка маслородоотталкивающая (МВО), полиуретановая мембрана «Климат 3»; ПТФЕ «Parel» - политетрафторэтиленовая мембрана фирмы «Parel».

### Результаты исследования.

Исследование структуры мембранных пленок с помощью оптической микроскопии показало (табл. 2), что на поверхности мембран тканей арт. С911М и арт. 09С13-КВ видны микропоры, равномерно распределенные по всей поверхности. Поверхность мембраны ткани арт. 09С20-КВ - мелкозернистая, и

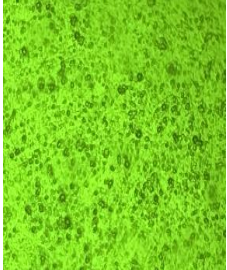
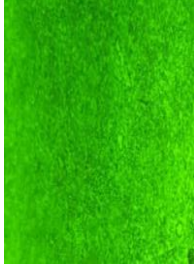



при увеличении 1000, поры слабо различимы. Мембраны образца арт. ПЭ/М-003 и арт. С80012 имеет беспоровую монолитную структуру. Такая структура мембран должна отразиться на свойствах готовых мембранных тканей.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

Таблица 2

### Данные оптической микроскопии мембран тканей

Мембранная ткань арт. С911М	Мембранная ткань арт. 09С20-КВ	Мембранная ткань арт. ПЭ/М-003	Мембранная ткань арт. 09С13-КВ	Мембранная ткань арт. 80021
				

### Результаты исследований.

Исследование механических свойств тканей с мембранным покрытием позволило установить (табл. 3), что все образцы мембранных тканей отвечают нормативным требованиям ГОСТ 28486-90. Все мембранные ткани характеризуются высокой устойчивостью к истиранию по плоскости 16000-19000 циклов, упругостью, прочностью и эластичностью, удлинение более 60/65%. Несминаемость более 83% по основе и 84% по утку, жесткость при изгибе не превышает 9000 мкН·см<sup>2</sup>,

Мембранные ткани арт. С911М, арт. 09С20-КВ и арт. 09С13-КВ обладают хорошими водозащитными свойствами, что обеспечит хорошие теплозащитные свойства одежде и надежную защиту человека от осадков.

Ткань арт. ПЭ/М-003 имеет монолитную беспоровую структуру, что обеспечивает ей высокую водоупорность, но низкую паропроницаемость, (табл. 3).

Воздухопроницаемость всех исследуемых мембранных тканей низкая, не более 17 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с.

Таблица 3

### Физико-механические свойства мембранных тканей

№ образца	Наименование образцов	Разрывная нагрузка, Н, основа/уток	Водоотталкивание, усл.ед	Водоупорность, мм.вод ст	Паропроницаемость, г/м <sup>2</sup> 24ч	Раздирающая нагрузка, Н, основа / уток
1	Мембранная ткань арт. С911М	690/520	90	500	5000	159/170
2	Мембранная ткань арт.09С20-КВ	680/597	90	536	9000	155/122
3	Мембранная ткань арт.ПЭ/М-003	750/1000	90	1610	2000	173/176
4	Мембранная ткань арт.09С13-КВ	685/1000	80	520	9000	218/580
5	Мембранная ткань арт.80021	1000/700	90	1520	2500	145/149

Примечание: Относительная погрешность измерений не превышала 5%.

Учитывая, что климатические условия Российской Федерации весьма разнообразны, а в средней и южной полосе температура в холодное время года изменяется от 0 до -20°С и ниже, то важно исследовать влияние низких температур на показатели качества мембранных тканей, которые

широко используются в производстве демисезонной и зимней одежды.

Образцы мембранных тканей подвергали воздействию низких температур в климатической криокамере WT-360. Испытания проводили при температуре -10 и -20 °С. Время экспонирования 12 часов замораживания и 12 часов оттаивания

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

при комнатной температуре. Влажность мембранной ткани составляла ~ 20%. Циклы замораживания-оттаивания повторяли в течение 10, 20 и 30 суток.

Результаты исследований показали (рис. 1, 2), что снижение температуры экспонирования до

-10°C и увеличение количества циклов замораживания-оттаивания тканей с поровой мембраной (рис. 1, образцы 1, 2 и 4) способствует снижению на ~6-11% разрывной нагрузки мембранных тканей.

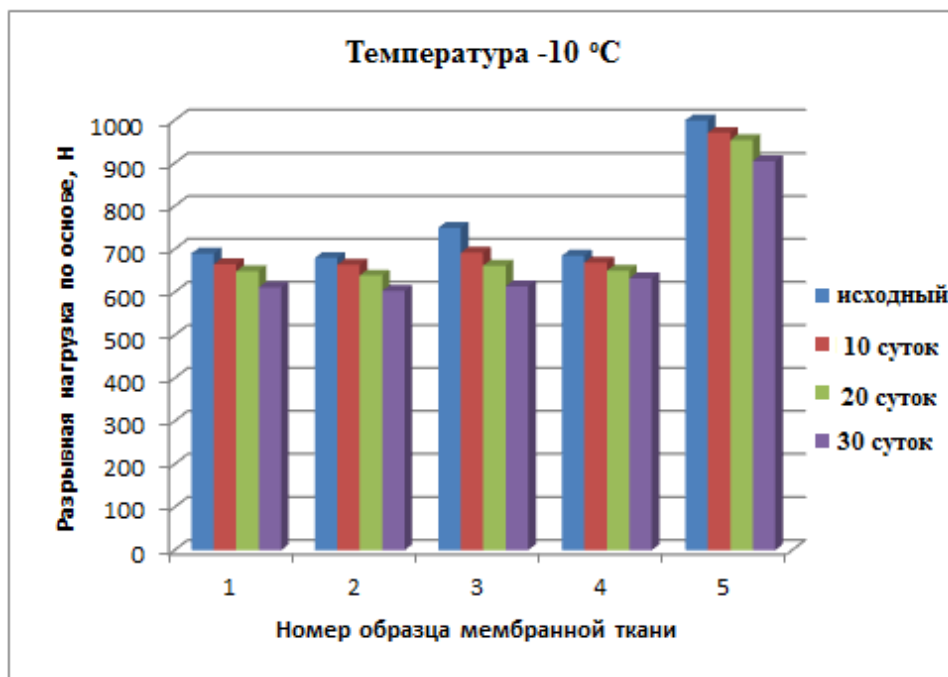


Рисунок 1. Изменение разрывной нагрузки при многократном замораживании-оттаивании при температуре -10 °C мембранных тканей: 1- арт. С911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. ПЭ/М-003; 4 - арт.09С13-КВ; 5 - арт.80021. (Аналогичная зависимость по утку)

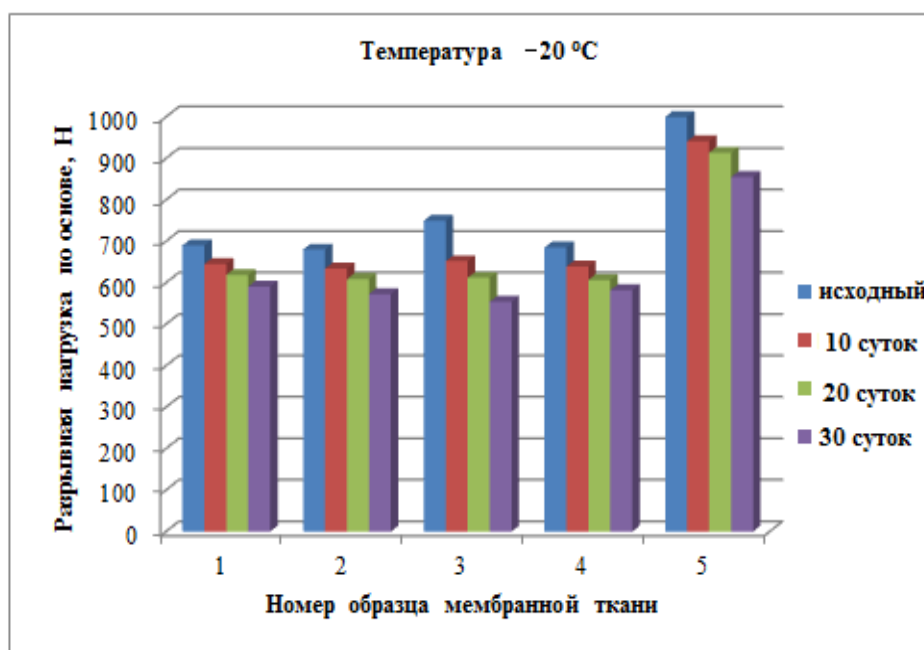


Рисунок 2. Изменение разрывной нагрузки при многократном замораживании-оттаивании при температуре -20 °C мембранных тканей: 1- арт. С911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. ПЭ/М-003; 4 - арт. 09С13-КВ; 5 - арт. 80021.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

Беспоровые мембраны (рис. 1, образцы 3 и 5), впитывают влагу всей поверхностью мембраны, поэтому при многократном замораживании-оттаивании влага в порах мембраны при переходе в твердое состояние увеличивается в объеме (на 9%) и расшатывает структуру полимера, приводя к снижению на 8-19% прочности мембраны и ткани в целом. Снижение температуры до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  снижает прочность при разрыве тканей на 15-17% - для поровых мембран и на 20-27% - для тканей с беспоровыми мембранами (рис. 2).

Отмечено снижение жесткости при изгибе тканей после 40 циклов замораживания-оттаивания (криолиза) на 5-12% при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и на 8-15% при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что

обусловлено вымыванием аппретов из текстильной структуры и структурными деструктивными процессами в полимере мембран.

При этом паропроницаемость для мембранных тканей с поровой мембраной возрастает на 47-64% при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 3), и на 54-79% при температуре криолиза  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вероятно, это обусловлено замораживанием влаги и увеличением ее объема на 9% в капиллярах пор мембраны, что постепенно при многократном замораживании-оттаивании приводит к увеличению размера пор. Для тканей с беспоровой мембраной паропроницаемость возрастает  $\sim$  в 1,5-2,5 раза.

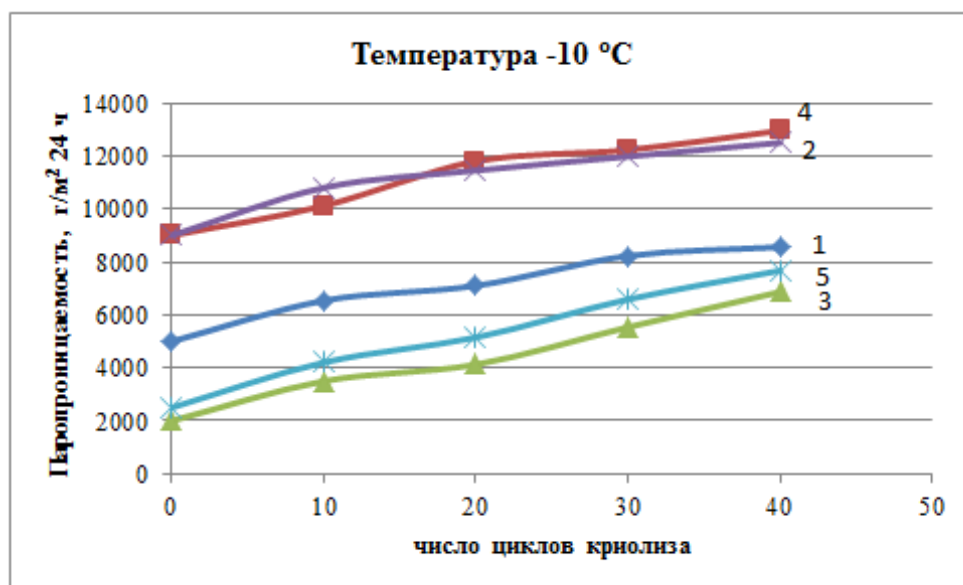


Рисунок 3. Изменение паропроницаемости при многократном замораживании-оттаивании при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  мембранных тканей: 1 - арт. С911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. ПЭ/М-003; 4 - арт. 09С13-КВ; 5 - арт. 80021.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 3.117	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.156	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	

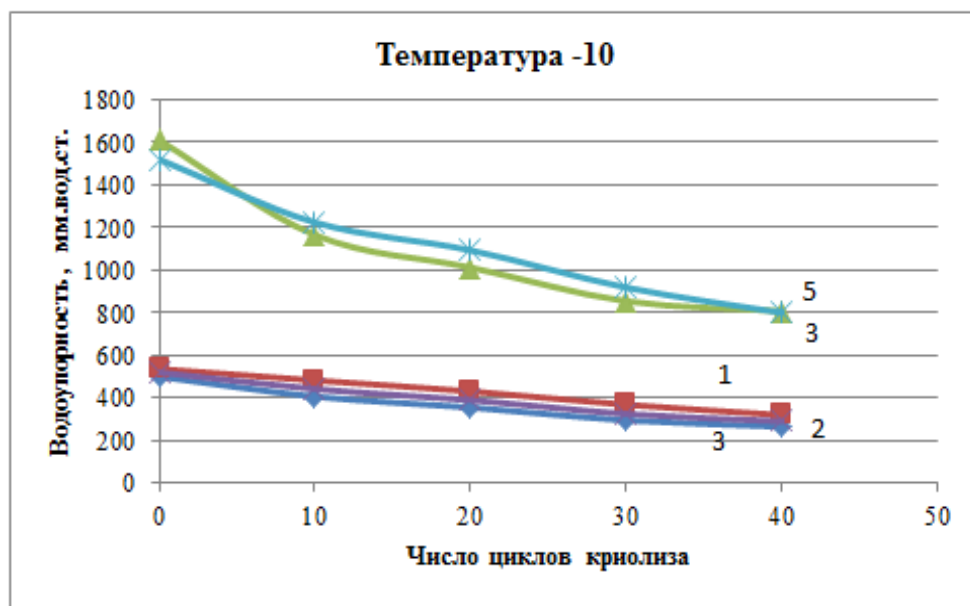


Рисунок 4. Изменение водоупорности при многократном замораживании-оттаивании при температуре -10 °С мембранных тканей: 1- арт. С911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. ПЭ/М-003; 4 - арт. 09С13-КВ; 5 - арт. 80021.

Водоупорность снижается на 20-41% для тканей с поровой мембраной и на 28-51% для тканей с беспоровой мембраной (рис. 4). Более устойчивы к криолизу полиуретановые мембраны за счет природной упругости полимер постепенно восстанавливает структуру мембраны.

### Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что мембранные ткани отечественных производителей ОАО «Балтекс», ОАО «Моготекс», ООО ГК «Чайковский текстиль» отвечают нормативным требованиям.

Мембранная ткань арт. С911 М с пористой мембраной из ПТФЭ «Parel» - обладает хорошей паропроницаемостью 5000 г/м<sup>2</sup> 24ч, а гладкая поверхность усиленного рип-стоп переплетения придает хорошие водоупорные и водоотталкивающие свойства.

Изменение физико-механических свойств мембранных тканей, подвергнутых

многократному замораживанию-оттаиванию, происходит по линейному закону и зависит от структуры мембраны. Поровые мембраны более устойчивы к многократному криолизу, чем беспоровые.

Многократный криолиз тканей с поровыми мембранами способствует снижению на ~6-17% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 5-15%, водоупорности на 20-41% и возрастанию паропроницаемости на 47-64 %.

Многократный криолиз тканей с беспоровыми мембранами способствует снижению на ~8-27% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 8-15%, водоупорности на 28-51% и возрастанию паропроницаемости ~1,5-2,5 раза.

Установлено, что свойства мембранных тканей определяются их структурой. Для придания надежной водонепроницаемости специальным изделиям мембранная ткань должна иметь дополнительную водоотталкивающую пропитку и мембранное покрытие изнаночной стороны ткани.

### References:

1. Khvang, San-Tak. (1981). Membrannyye processy razdeleniya. Kammermejer. - M.: Khimiya, p. 464.
2. Mulder, M. (1999). Vvedenie v membrannyye tekhnologii: Uchebnoye posobie/ M. Mulder; pod red. Yu.P. Yampol'skogo i V.P. Dubyagi - M.: Mir, pp.1- 513.
3. Nazarenko, E. A. (2004). Biofizika membran: Ucheb. posobie. pod red. O.V. Rodionova

**Impact Factor:**

<b>ISRA (India)</b>	<b>= 3.117</b>	<b>SIS (USA)</b>	<b>= 0.912</b>	<b>ICV (Poland)</b>	<b>= 6.630</b>
<b>ISI (Dubai, UAE)</b>	<b>= 0.829</b>	<b>PIHHI (Russia)</b>	<b>= 0.156</b>	<b>PIF (India)</b>	<b>= 1.940</b>
<b>GIF (Australia)</b>	<b>= 0.564</b>	<b>ESJI (KZ)</b>	<b>= 4.102</b>	<b>IBI (India)</b>	<b>= 4.260</b>
<b>JIF</b>	<b>= 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco)</b>	<b>= 5.667</b>		

- (Eds.). M-vo obrazovaniya i nauki RF, *Izd-vo VGTU*, pp. 1-94.
- Rybal'chenko, V. K., & Koganov, M. M. (1988). *Struktura i funkcii membran. Praktikum*, Moscow: *Vyssshaya shkola*, pp.1-312.
  - Svitczov, A. A. (2007). *Vvedenie v membrannye texnologii*. Moscow: *DeLi print*, pp.1-280.
  - Bugaev, E. A. (2012). Mnogoslojnye nanorazmernye plenochnye kompozicii. *Materialovedenie, No5*, 30-35.
  - Sevost`yanov, A. G. (2007). *Metody i sredstva issledovaniya mexaniko-texnologicheskix processov tekstil`noj promyshlennosti*. Moscow, pp.1- 648.
  - Shekar, R. I., Yadav, A. K., Kumar, K., & Tripathi, V.S. Breathable Apparel Fabrics for Defence Applications, *Man-Made Textiles in India*, 46(12): 9-16.
  - Lomax, G. R. (1991). Breathable, Waterproof Fabrics Explained, *Textiles, 20(4)*, 12-16.
  - David, A. H. (2000). Performance Characteristics of Waterproof Breathable Fabrics. *Journal of Industrial Textiles, B. 29(4)*, 306-308.
  - Dytnerskij, Y. I. (1994). *Obratnyj osmos i ul`trafiltraciya: ucheb. posobie*. Moscow: *Khimiya*, pp.1-271.