

## ВЛИЯНИЕ МНОГОЦИКЛОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА СТРУКТУРУ ВОДОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИЭФИРУРЕТАНОВОЙ МЕМБРАНОЙ

### INFLUENCE OF MULTI-CYCLIC MECHANICAL LOADS ON THE STRUCTURE OF WATER-PROOF MATERIALS WITH POLYETHERURETHANE MEMBRANE

Д.К. Панкевич\*, М.Л. Кукушкин

Витебский государственный технологический университет

УДК 677.017:687.174

D. Pankevich\*, M. Kukushkin

Vitebsk State Technological University

#### РЕФЕРАТ

*ВОДОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕМБРАНА, МИКРОСКОПИЯ, СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ОДЕЖДА*

*Объект исследований – водозащитные композиционные материалы, содержащие мембранный полиэфируретановый слой, предмет исследования – их структура.*

*Использованные методы – методы оптической микроскопии и моделирования многоцикловых механических нагрузок.*

*Результаты работы – определен характер влияния многоцикловых механических нагрузок на структуру водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной и предложены рекомендации по выбору типов структур указанных материалов для водозащитной одежды.*

*Область применения результатов – швейная промышленность.*

*Выводы – в результате выполненной работы для каждого из пяти структурных типов водозащитных композиционных материалов с мембраной определены характерные изменения, происходящие в структуре под влиянием многоцикловых механических нагрузок. Выявлены типы структур, разрушающиеся в результате действия механических нагрузок.*

#### ABSTRACT

*WATER-PROOF MATERIALS, MEMBRANE, MICROSCOPY, STRUCTURE, MECHANICAL LOADS, CLOTHES*

*Waterproof clothing must remain protective throughout its life. But in the course of operation, waterproofing materials are subjected to mechanical loads of low intensity. Under the influence of stretching, compression and bending, fatigue phenomena in the structure of the material accumulate, the bonds between the elements of the structure are weakened, and the material is destroyed in the places of the most frequent application of loads.*

*The article is devoted to the study of the structure of waterproofing materials with a polyetherurethane membrane and the evaluation of the effect of mechanical operating loads on the parameters of the structure of materials of various types.*

*Analysis of the results of the study will help manufacturers of clothing from membrane materials to implement a sound selection of materials, increasing the durability of products.*

Водозащитные композиционные материалы, содержащие мембранный слой, характеризуются определенным сочетанием свойств, обусловленным структурными особенностями и придающим им потребительскую ценность: высоким

уровнем водонепроницаемости, воздухо- непроницаемостью, паропроницаемостью. Благодаря наличию мембранного слоя, такие материалы обеспечивают защиту от воды, ветра и снега, являясь барьером для неблагоприятных воздей-

\* E-mail: [dashapan@mail.ru](mailto:dashapan@mail.ru) (D. Pankevich)

ствий окружающей среды, но не препятствуя при этом прониканию парообразной влаги в среду с наименьшей её концентрацией. Область использования материалов с мембраной широка: изготовление бытовой, спортивной и специальной одежды и обуви, гидроизоляционных строительных оболочек [1].

Основные особенности водозащитных материалов для одежды, содержащих мембранный слой, обусловлены составом, химической природой и строением слоев, способом получения слоистой структуры. Наиболее популярны и широко представлены на рынке материалов для одежды материалы с полиэфирными текстильными слоями и полиэфируретановой мембраной, которая, в зависимости от наличия модифицирующих добавок, может проявлять гидрофильность или гидрофобность. По морфологии мембранного слоя принято разделять губчатые или корпускулярные пористые структуры и монолитные беспоровые. По количеству слоев – 2-слойные, 2,5-слойные и 3-слойные [2].

Несмотря на возрастающую популярность, материалы с мембраной до сих пор являются «terra incognita» для специалистов-швейников, в частности, отсутствует систематизированная информация о стабильности структуры этих материалов в процессе эксплуатации, что приводит к нерациональному выбору материалов в пакет изделия, не учитывающему возможные изменения свойств материалов под влиянием условий эксплуатации.

Многочисленные изгибы, растяжения, сжатия – циклически повторяющиеся механические воздействия, которые в той или иной мере испытывают материалы для одежды любого назначения в процессе носки. С течением времени усталостные явления в структуре материала накапливаются, связи между элементами структуры ослабевают, наблюдается разрушение материала в местах наиболее частого приложения нагрузок [3]. Не избегают такого влияния и водозащитные материалы, содержащие мембранный слой.

Материалы, структура которых нарушается в процессе эксплуатации, уже не способны выполнять водозащитную функцию, а обещанный потребителю комфорт сменяется разочарованием и недоверием к производителю. Поэтому исследование влияния многоцикловых механических

нагрузок на структуру водозащитных материалов, содержащих мембранный слой, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить долговечность водозащитной одежды за счет обоснованного выбора материалов.

Статья посвящена исследованию структуры водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной и оценке влияния механических эксплуатационных нагрузок на параметры структуры материалов различного типа.

В эксперименте приняли участие 16 артикулов водозащитных композиционных слоистых материалов пяти структурных типов, характеристика которых представлена в таблице 1.

Выявлено, что водозащитные материалы, содержащие мембранный полиэфируретановый слой, по структуре можно разделить на 5 типов:

- тип 1 – 2-слойные с гидрофобным пористым губчатым мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу;
- тип 2 – 2,5-слойные с толстым гидрофобным пористым корпускулярным и тонким гидрофильным монолитным мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу;
- тип 3 – 2,5-слойные с толстым гидрофобным пористым губчатым и тонким гидрофильным монолитным мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу;
- тип 4 – 3-слойные с гидрофобным пористым корпускулярным мембранным слоем, расположенным между слоями текстильной основы и текстильной подкладки;
- тип 5 – то же, но мембранный слой гидрофобный пористый губчатый, в некоторых образцах соединенный с текстильной подкладкой посредством точечно нанесенного связующего [4].

С целью получения данных о структуре исследуемых материалов проводилась микроскопия поперечного среза материала в отраженном свете с помощью стереоскопического микроскопа МС-1, оснащенного видеоокуляр и программным обеспечением для просмотра и работы с изображением на компьютере.

Микрофотографии продольных срезов губчатого и корпускулярного пористых мембранных слоев представлены на рисунке 1.

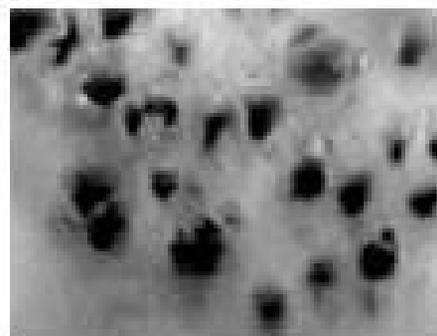
Определялось количество слоев, структура мембранного слоя (пористая губчатая или корпускулярная, монолитная), толщина каждого

слоя, глубина погружения мембранного слоя в текстильный, фаза строения текстильного тканого слоя.

Исследования проводились до и после воздействия 150 тысяч циклов многоцикловых механических нагрузок.



а



б

а) корпускулярная структура мембраны; б) губчатая структура мембраны

Рисунок 1 – Микрофотографии продольных срезов мембранного слоя (×100)

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Номер образца	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав текстильной основы / мембраны / подкладки	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Текстильная основа			Количество слоев (тип)
				Переплетение	Плотность, нитей / 10 см		
					По основе	По утку	
1	Ultrax, Корея	полиэфир 100 % / полиэфируретан	122	полотняное	540	274	2 (тип 1)
2			118	усиленная саржа	490	320	
3			142	полотняное	340	220	
4			146	полотняное	550	364	
5	Моготекс, РБ	полиэфир 100 % / полиэфируретан	211	основной репс	450	450	2,5 (тип 2)
6			185	комбинированное	310	310	
7		полиэфир 77 %, хлопок 23 % / полиэфируретан	266	комбинированное	250	210	
8	Taslan, Корея	полиэфир 100 % / полиэфируретан	139	комбинированное	620	540	2,5 (тип 3)
9	Hipora, Корея		136	сложное	580	400/120	
10			137	сложное	520	410/128	
11			132	сложное	560	400/122	
12	Моготекс, РБ	полиэфир 100 % / полиэфируретан / полиэфир 100 %	214	полотняное	500	500	3 (тип 4)
13			183	комбинированное	480	480	
14	SportchiefR, Канада		167	полотняное	593	420	3 (тип 5)
15			121	полотняное	780	780	
16		151	полотняное	520	520		

Для исследования влияния многоциклового изгиба, сжатия и растяжения на структуру материалов использована методика циклических комбинированных нагружений, общие положения которой разработаны А.Н. Буркиным [3]. Реализована методика с помощью прибора, разработанного на кафедре «Стандартизация» УО «ВГТУ», конструктивные особенности и методика применения которого описаны в [5]. В процессе моделирования многоциклового механического нагружения образцы исследуемых материалов получают знакопеременную циклическую деформацию изгиба, сжатия и растяжения. Продолжительность воздействия – 150 тысяч циклов.

Методика исследования структуры по микрофотографии поперечного среза материала разработана на основе изложенной в [6], с дополнениями, учитывающими структурные особенности материалов с мембраной и возможности компьютерной обработки изображений.

По микрофотографии поперечного среза материала определялись следующие параметры:

- общая толщина образца, измеряемая поперек каждой нити основы. Измерения выполняются по всем нитям основы, попавшим в поле зрения. Толщина образца принимается как среднее значение;
- толщина текстильной основы определяет аналогично, только измерение проводится от

верхней кромки образца до мембраны;

- толщина мембраны определяется как среднее арифметическое длин не менее 10 поперечных линий, проведенных от нижней кромки мембраны до текстильной основы с одинаковым шагом. В трехслойных образцах для измерений проводится линия опорной плоскости. Линия соединяет наиболее выступающие точки нитей трикотажной или тканой подкладки. От этой линии измеряются общая толщина образца и толщина подкладки, как показано на рисунке 2. Измерения проводятся поперек каждой нити основы. Определяется среднее значение.

Для определения глубины проникновения мембраны в текстильную основу измерение проводится по изображению текстильной основы: прямой линией соединяются попарно наиболее выступающие (наиболее погруженные в толщу текстильной основы) соседние точки мембраны, как показано на рисунке 3. Глубина проникновения определяется как расстояние от проведенной линии до края нитей основы и утка, соприкасающегося с мембранным слоем. Принимается среднее значение всех выполненных в поле видимости измерений.

Для определения порядка фазы строения текстильной основы определяется высота волны изгиба основных  $h_o$  и уточных  $h_y$  нитей. Для системы нитей основы проводится прямая, соеди-

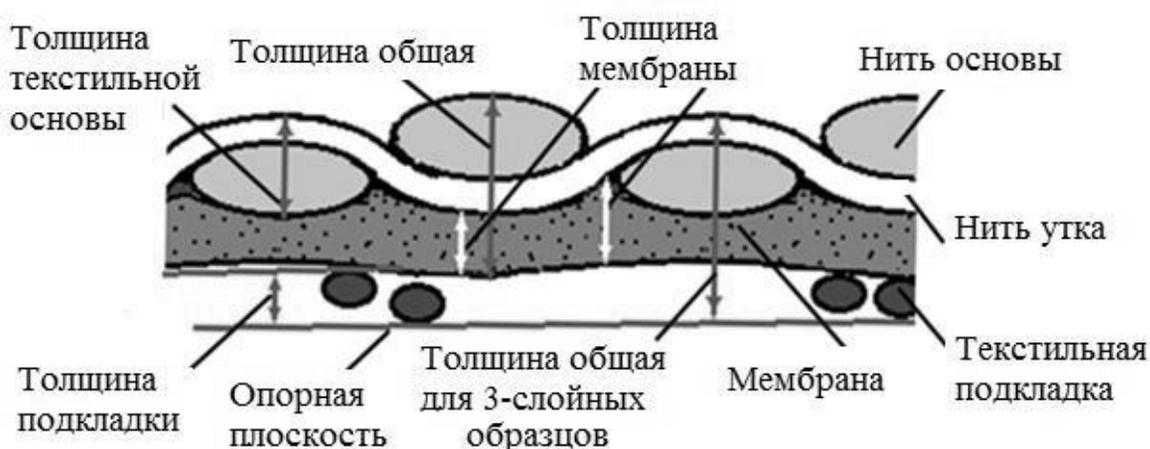


Рисунок 2 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

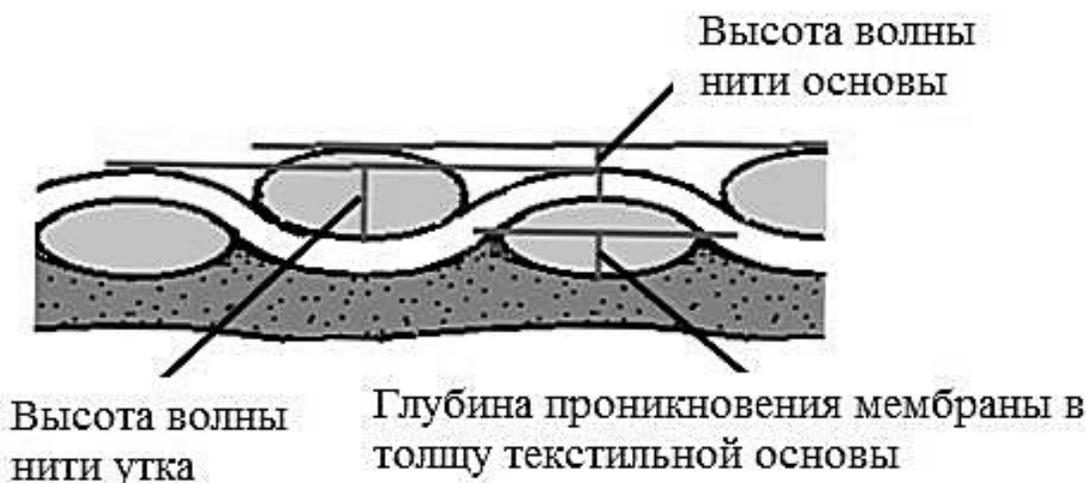


Рисунок 3 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

няющая самые высокие точки соседних нитей основы, лежащих над нитью утка. Величина волны изгиба основы определяется как расстояние от проведенной линии до вершины нити основы, лежащей под нитью утка [6]. Принимается среднее значение из полученных для всех нитей основы, попавших в поле зрения. Аналогично выполняется построение и замер величины волны изгиба нити утка: от линии, соединяющей соседние волны, до вершины уточной нити, расположенной под нитью основы. Порядок фазы строения (ПФС) определяется из отношения высоты волны нити основы к высоте волны нити утка ( $K_h = h_o / h_y$ ) по формуле (1), предложенной проф. Н.Г. Новиковым [7]:

$$ПФС = \frac{1 + 9 \cdot K_h}{1 + K_h} \quad (1)$$

В результате проведенных исследований выявлено, что все исследуемые образцы структурных типов 1, 4 и 5 (с гидрофобным мембранным слоем) являются макропористыми с наблюдаемым диаметром пор от 3 мкм до 70 мкм, общая их толщина колеблется от 200 мкм до 300 мкм.

Толщина изученных образцов структурных типов 2 и 3 (содержащих двухкомпонентную

мембрану) колеблется в пределах от 170 мкм до 390 мкм, толщина гидрофобного корпускулярного слоя в среднем больше, чем губчатого, как и глубина проникновения мембраны в текстильную основу. Толщина монолитной гидрофильной мембраны колеблется от 11 мкм до 26 мкм.

Результаты исследования параметров структуры материалов до и после воздействия многоцикловых механических нагрузок отражены в таблицах 2 и 3.

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать вывод о том, что текстильная основа образцов не претерпевает резких изменений параметров структуры после воздействия многоцикловых механических нагрузок.

Наиболее значимые изменения толщины наблюдаются у образцов структурного типа 1 (уменьшение составляет до 15 % от первоначальной) и образцов типа 4 (увеличение составляет до 14 % от первоначальной). Порядок фазы строения текстильной основы исследуемых образцов – от IV до VII. Это говорит о практически равномерном распределении нитей основы и утка по опорной поверхности материалов и незначительном преобладании роли нитей основы в формировании слоистой структуры у материалов с фазой VI и VII – высота изгиба волн нитей основы больше, чем утка, поэтому и степень их

Таблица 2 – Исследование изменения параметров текстильной основы под влиянием механических многоцикловых нагрузок (150 000 циклов)

Тип	Номер образца	Толщина текстильной основы, мм		Порядок фазы строения текстильной основы	
		До	После	До	После
1	1	186,0	172,7	IV	V
1	2	169,4	162,9	V	IV
1	3	269,0	228,1	V	IV
1	4	161,7	153,0	VII	VII
2	5	199,3	222,7	V	IV
2	6	168,4	172,0	IV	V
2	7	295,4	307,4	IV	V
3	8	128,1	120,5	IV	IV
3	9	121,7	136,5	VI	VII
3	10	117,4	133	V	VI
3	11	125,1	118,8	V	VI
4	12	127,3	143,1	VI	VI
4	13	107,3	119,8	VI	VI
5	14	173,9	178	V	VI
5	15	93,8	79,5	V	V
5	16	162,0	161,7	VI	V

Таблица 3 – Исследование изменения параметров мембраны под влиянием механических многоцикловых нагрузок (150 000 циклов)

Тип	Номер образца	Толщина мембраны (гидрофильного слоя / гидрофобного слоя), мм		Глубина проникновения в толщу текстильной основы, мм		Характер изменения структуры мембраны
		До	После	До	После	
1	1	- / 64,5	- / 59,1	27,7	26,2	повышение складчатости стенок пор, перераспределение объема пор
	2	- / 63,3	- / 59,4	64,3	36,2	
	3	- / 74,4	- / 60,6	19,3	11,5	
	4	- / 50,6	- / 39,7	25,8	22,2	
2	5	22,1 / 72,3	14 / 43,2	29	18,4	корпускулярный гидрофобный слой: разрыхление, отрыв и миграция корпускул через монолитный слой; монолитный гидрофильный слой: перфорация
	6	24,1 / 69,9	24 / 41,4	34,7	42,6	
	7	26 / 62,8	22,4 / 31,4	84,2	23,8	
3	8	12,2 / 47,1	11,7 / 46,1	23,1	18,0	расширение устьев пор, прилегающих к монолитному слою, расслоение, появление воздушных полостей на границе раздела слоев
	9	7,9 / 38,3	9,5 / 35,3	17,7	16,4	
	10	15,2 / 42,3	15,8 / 38,0	25,3	29,7	
	11	13,7 / 40,7	11,6 / 37,6	23	11,3	
4	12	- / 56,9	- / 59,4	32,7	35,7	разрыхление, отрыв и миграция корпускул через текстильные слои
	13	- / 66,4	- / 70,2	52,1	58,3	
5	14	- / 14,9	- / 8,1	9,8	6,0	уменьшение толщины, появление воздушных полостей на границе раздела слоев, разрушение вблизи капель связующего
	15	- / 10,8	- / 6,8	4,1	5,3	
	16	- / 16,1	- / 10,8	3,8	6,7	

связанности с нижележащим мембранным слоем больше. Порядок фазы строения изменяется после многоциклового механического воздействия незначительно, без видимой закономерности внутри групп образцов различных структурных типов.

Анализ результатов исследования, отраженных в таблице 3, показывает, что мембранный слой образцов всех структурных групп претерпевает значительные изменения, как по показателю толщины, так и по показателю глубины проникновения в толщу текстильной основы.

Рисунок 4 иллюстрирует характерные для каждого структурного типа изменения параметров строения, происходящие в результате воздействия механических нагрузок.

На рисунке 4 представлена микроскопия двухслойного образца структурного типа 1 с губчатым гидрофобным мембранным слоем. Сравнение изображений до и после многоциклового нагружения позволяет установить характер из-

менения структуры. Мембранный слой становится тоньше за счет смятия и уплотнения, стенки пор приобретают более выраженную складчатость; текстильная основа уплотняется и её толщина уменьшается, нити основы сплющиваются, пучок элементарных нитей основы формирует сечение в форме веретена, а не эллипса, как до многоциклового испытания. Увеличиваются расстояния между центрами соседних нитей основы (на участке, попавшем в поле зрения). В толще мембранного слоя становится заметным чередование широких и узких пор, что не наблюдалось до многоциклового испытания. Более широкие поры после воздействия наблюдаются в межниточных промежутках, более узкие – в середине перекрытий. За счет сплющивания нитей текстильной основы и их смещения относительно друг друга происходит растяжение мембранного слоя в межниточных промежутках, приводящее для некоторых пор к увеличению диаметра основания, обращенного к текстильной основе.

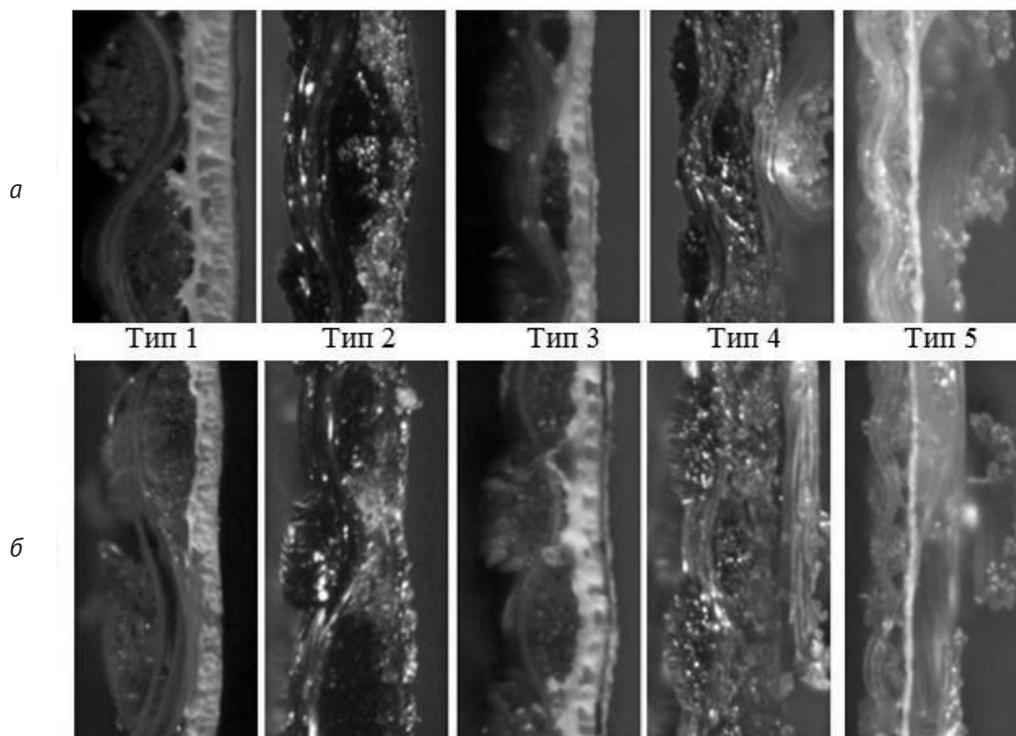


Рисунок 4 – Микрофотографии поперечных срезов материалов различных типов до (а) и после (б) воздействия механических многоциклового нагружения ( $\times 100$ )

При анализе микрофотографий отмечено, что форма сечения нитей образцов структурного типа 1 из эллиптической становится веретенообразной – это связано с большей подвижностью элементарных нитей в образцах указанного типа, поскольку количество слоев в композиционном материале, а соответственно и связей, наименьшее по сравнению с остальными структурными типами. Следовательно, уменьшение толщины текстильной основы в образцах структурного типа 1 происходит за счет уплотнения элементарных нитей и сокращения воздушных промежутков между ними. Однако, описанные изменения не нарушают целостности мембранного защитного слоя образцов.

Как показано на рисунке 4, у образцов структурного типа 2 с тонким гидрофильным слоем, покрывающем корпускулярный гидрофобный слой, происходит характерное нарушение структуры при воздействии многоциклового механического нагрузок. Корпускулы гидрофобного слоя, расположенные вблизи вершин волн нитей, формирующих опорную поверхность текстильной основы, в результате многоциклового изгиба, растяжения и сжатия материала отрываются от нитей и мигрируют сквозь гидрофильный слой, нарушая его целостность. Структура мембраны становится более рыхлой, отмечается увеличение параметра «глубина проникновения мембраны в основу» вследствие увеличения изгиба нити утка. Особенно заметно нарушение структуры мембранного слоя вблизи нитей основы с увеличенной толщиной (образцы № 6, № 7), формирующих характерные ячейки на поверхности тканой основы (в зарубежной литературе такое переплетение носит название «rip-stop»). Заметно нарушение целостности монолитного гидрофильного тонкого слоя на участке расположения этих нитей.

Изменения структуры образцов типа 3 с губчатой гидрофобной и тонкой монолитной гидрофильной мембраной можно проследить по рисунку 4, где показан срез образца № 9 до и после многоциклового нагружения. Общая толщина материала увеличилась после многоциклового нагружения за счет изменения порядка фазы строения тканой основы (нить утка стала более изогнутой) и за счет изменения сечения пучка элементарных нитей основы (начальная

форма сечения в виде веретена сменилась на эллиптическую). В результате мембранный гидрофобный губчатый слой на участках межниточного пространства отслоился с образованием четко просматриваемых полостей, размер которых превышает средний размер пор. Граница между слоями (гидрофильным и гидрофобным) мембраны стала более четкой, причем линия границы неодинаковой толщины. Форма пор гидрофобного слоя из конической, направленной острием конуса к гидрофильной монолитной мембране, стала цилиндрической (расширение устьев пор). Наблюдается эффект накопления деформаций на границе раздела мембранных слоев, но целостность слоев сохраняется.

Анализ микрофотографий образцов структурного типа 4 объясняет причину увеличения толщины текстильной основы – корпускулярный мембранный слой разрыхляется, единичные корпускулы отрываются и вклиниваются между элементарными нитями текстильной основы, увеличивая расстояния между ними. Таким образом, целостность корпускулярного мембранного слоя нарушается под влиянием многоциклового механического нагрузок, а высвобождающиеся частицы мембраны начинают мигрировать внутри композита и воздействовать на соседние текстильные слои.

По микрофотографиям образцов структурного типа 5 заметно, что после испытаний мембранный слой стал тоньше почти в 2 раза, наблюдается прерывистость мембранного слоя после испытаний, особенно в промежутках между нитями основы, указывающая на нарушение его структуры. При незначительном изменении порядка фазы строения текстильной основы (высота волны изгиба нити основы увеличилась, а нити утка – уменьшилась), увеличилась на 15 % общая толщина материала. На рисунке 4 видно, что после многоциклового воздействия произошло значительное увеличение воздушных зазоров между вершиной нити утка и мембраной по сравнению с изображением среза образца до испытаний. То есть наблюдается тенденция к расслаиванию и разрыхлению композита. Дефекты (разрывы) мембраны наблюдаются в окуляр микроскопа на участках, прилегающих к каплям связующего состава.

Проведенный анализ результатов исследо-

вания структуры водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной показал, что многоцикловые механические нагрузки оказывают на них значительное влияние. Наиболее подвержен изменениям мембранный слой образцов, причем корпускулярный слой разрушается более значительно, чем губчатый, вызывая изменения в структуре прилегающих слоев. Разрушение губчатого мембранного слоя наблюдается только в случае незначительной первоначальной толщины (менее 16 *мкм*) и скрепления с соседними слоями точно нанесенным связующим.

Таким образом, в целях обеспечения стабильности структуры и свойств водозащитных материалов под действием механических нагрузок, при выборе материалов в пакет швейных изделий, подвергающихся значительным механическим нагрузкам при эксплуатации, следует выбирать материалы структурных типов 1 и 3, у которых при отмеченных изменениях структуры не происходит нарушение целостности защитного мембранного слоя.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панкевич, Д.К. (2012), Ассортимент и свойства мембранных материалов, используемых в производстве одежды для спорта и активного отдыха, Качество товаров: теория и практика, *Материалы докладов международной научно-практической конференции*, Витебск, 2012, С. 204–206.
2. William, C. Smith (2010), *Smart Textile Coatings and Laminates*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2010, 320 p.
3. Буркин, А.Н., Матвеев, К.С., Махонь, А.Н. (2004), Методика оценки качества текстильных материалов при динамических нагружениях, Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров, *Сборник научных трудов международной научно-практической конференции*, Гомель, 2004, С. 23–26.
4. Панкевич, Д.К., Буркин, А.Н. (2015), Оценка влагопроницаемости мембранных материалов, *Дизайн и технологии*, 2015, № 45, С. 58–61.
5. Панкевич, Д.К., Кукушкина, Ю.М. (2014), Применение методики многоцикловых нагружений для оценки изменчивости физико-механических свойств водозащитного материала в

#### REFERENCES

1. Pankevich, D.K. (2012), Assortiment i svojstva membrannyh materialov, ispol'zuemyh v proizvodstve odezhdy dlja sporta i aktivnogo otdyha [Assortment and properties of membrane materials used in the manufacture of clothes for sports and outdoor activities], *Kachestvo tovarov: teorija i praktika, Materialy докладов международной научно-практической конференции*, Vitebsk, 2012, pp. 204–206.
2. William, C. Smith (2010), *Smart Textile Coatings and Laminates*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2010, 320 p.
3. Burkin, A.N., Matveev, K.S., Mahon', A.N. (2004), Metodika ocenki kachestva tekstil'nyh materialov pri dinamicheskikh nagruzhenijah [Method for assessing the quality of textile materials under dynamic loading], *Problemy formirovanija assortimenta, kachestva i konkurentosposobnosti tovarov, Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Gomeľ, 2004, pp. 23–26.
4. Pankevich, D.K., Burkin, A.N. (2015), Ocenka vlagopronicaemosti membrannyh materialov [Evaluation of moisture permeability of membrane materials], *Dizajn i tehnologii* –

процессе эксплуатации, Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, *Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 2014, С. 194–196.

6. Склянников, В.П. (1984), *Строение и качество тканей*, Москва, 176 с.

7. Давыдов, А.Ф. (1997), *Текстильное материаловедение*, Москва, 168 с.

*Design and technology*, 2015, № 45, pp. 58–61.

5. Pankevich, D.K., Kukushkina, Ju.M. (2014), *Primenenie metodiki mnogociklovyh nagruzhenij dlja ocenki izmenchivosti fiziko-mehaničeskikh svojstv vodozashhitnogo materiala v processe jekspluatacii* [The application of the multi-cycle loading method for estimating the variability of the physico-mechanical properties of the waterproof material during operation], *Innovacionnye tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti, Materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*, Vitebsk, 2014, pp. 194–196.

6. Skljannikov, V.P. (1984), *Stroenie i kachestvo tkanej* [The structure and quality of fabrics], Moscow, 176 p.

7. Davydov, A.F. (1997), *Tekstil'noe materialovedenie* [Textile Materials Science], Moscow, 168 p.

*Статья поступила в редакцию 13. 03. 2017 г.*