

ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ МНОГОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Н. Махонь

Разработанный метод циклического комбинированного нагружения (сочетающий деформации многократного растяжения и изгиба) листовых эластичных материалов [1] дает возможность проводить сравнительную оценку текстильных материалов, анализировать работу волокнисто–сетчатой структуры ткани, определять величину циклической формоустойчивости и циклической долговечности, что необходимо при современных методах проектирования изделий, при выборе режимов формования деталей и конфекционировании материалов, при прогнозировании эксплуатационных свойств.

В работах по текстильному материаловедению часто применяется термин «выносливость» в отношении долговечности текстильных материалов при циклических нагружениях. Однако, согласно ГОСТ 23207–78 [2], пределом выносливости служит максимальное по абсолютному значению напряжение цикла (деформация), при которой еще не происходит усталостное разрушение; долговечностью выступает число циклов деформаций, выдержанных объектом до усталостного разрушения. Поэтому одним из исследуемых показателей сопротивления усталости выбран показатель «*циклическая долговечность*», характеризующий число циклов многократных деформаций, сочетающих изгиб и растяжение, которые образец материала выдерживает до первых признаков разрушения.

Наибольший вклад в развитие теории выносливости текстильных материалов внесли Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, М.С. Бородовский, М.П. Носов и другие ученые. На фоне обширного материала о выносливости текстильных материалов, изучению взаимосвязи циклических характеристик и строения полотен посвящены немногочисленные работы, основанные на параллельных исследованиях при многократных растяжениях и изгибах. Так, в работах М.И. Павловой, В.М. Купчиковой, Г.П. Капицы, анализ которых приведен в источнике [3], установлены зависимости выносливости от плотности заполнения и вида переплетений тканей при многократных растяжениях; в работе Н.В. Васильчиковой и А.К. Киселева [4] – при многократном изгибе. Основные выводы, сделанные в этих работах: лучшие показатели устойчивости к циклической деформации тканей достигаются при заполнении по основе и утку 40 – 45 %; ткани производных переплетений имеют более низкую выносливость по сравнению с тканями главных переплетений, особенно с полотняным; предельная нагрузка при многократном изгибе значительно ниже, чем при многократном растяжении; при постоянстве заданной амплитуды циклической нагрузки существует различие в механизме разрушения тканей разной плотности.

В настоящей работе с помощью разработанной методики исследована циклическая долговечность (N_j) тканей при варьировании заданной деформации предварительного растяжения от 0 до 0,15 % от разрывной нагрузки (F_p) и угле изгиба 30^0 и 60^0 .

В исследованиях принимали участие льняные ткани поверхностной плотности $m_s = 130 \div 395$ г/м². Результаты исследований приведены в таблицах 1 и 2. Циклические испытания продолжались до первых признаков разрушения элементарных проб. Обозначение проб включает их порядковый номер и ориентацию продольного среза пробы относительно одной из систем нитей ткани. Объекты исследования, приведенные в таблицах 1 и 2, подобраны по принципу подобия сырьевого состава (лен 100 %) для установления связи между структурой тканей и циклическими характеристиками в области малых деформаций.

Испытание материалов сопровождалось сложным напряженным состоянием проб, вызванным комбинированным воздействием растяжения и изгиба. Результаты исследований подтверждают вывод о большем вкладе циклического деформирования знакопеременным симметричным изгибом в накопление усталости и увеличение интенсивности снижения долговечности. Так, увеличение заданной амплитуды циклической деформации в диапазоне от 5 до 15 % от величины разрывной нагрузки приводит к снижению N_j в среднем на 31,4 %. Увеличение интенсивности испытаний с изменением угла изгиба с 30° до 60° приводит к снижению N_j в среднем на 45,7 %. Можно отметить более интенсивный износ образцов, выкроенных в поперечном направлении, что выражается снижением N_j по отношению к аналогичным пробам продольного направления.

Таблица 1 – Результаты исследования циклической долговечности льняных тканей при угле изгиба 30°

Наименование ткани	$m_s, \text{г/м}^2$	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность, N_j циклов ($\cdot 10^3$), при величине предварительной нагрузки					
			$k_n = 0$	$k_n = 0,05$	$k_n = 0,1$	%*	$k_n = 0,15$	%
Ткань сорочечная	130	1 _о	47,20	46,17	41,99	9,9	36,04	21,5
		1 _у	38,10	38,09	35,70	6,3	29,06	23,7
Ткань костюмная	240	2 _о	40,01	39,19	36,81	6,1	31,05	20,8
		2 _у	38,90	37,87	34,90	7,7	28,70	24,2
Ткань костюмная	244	3 _о	26,60	24,60	22,11	10,2	18,23	25,9
		3 _у	25,0	23,50	20,68	12,0	17,04	27,5
Ткань сорочечная	250	4 _о	54,90	54,20	49,05	5,1	38,60	28,8
		4 _у	53,40	50,98	46,71	8,4	35,61	30,2
Ткань костюмная	290	5 _о	50,0	49,06	45,17	7,9	32,80	33,14
		5 _у	36,7	35,03	32,601	6,9	21,45	38,8
Ткань костюмная	395	6 _о	15,5	14,71	12,40	15,7	8,34	43,3
		6 _у	11,2	9,13	6,86	24,9	3,91	57,2
Среднее значение, %						10,1		31,3

* Приведено уменьшение значений N_j по отношению к циклической долговечности при $k_n = 0,05$. k_n – коэффициент, учитывающий величину предварительного растяжения пробы ($0,05 \div 0,15$).

По принципу подобия сырьевого состава подобрана и вторая группа тканей, сырьевой состав которой включает натуральные и химические волокна в близкой пропорции (хлопок 65 % и ПЭ 35 %), поверхностной плотности $m_s = 189 \div 414 \text{ г/м}^2$. Результаты эксперимента содержат таблицы 3 и 4.

Результаты исследования циклической долговечности смесовых тканей показывают, что деформация многократного изгиба также играет существенную роль в накоплении усталости, однако химический состав сырья влияет на значения исследуемого показателя. Увеличение величины растягивающей нагрузки в диапазоне от 5 до 15 % от F_p приводит к снижению N_j в среднем на 13,7 %. Увеличение интенсивности испытаний с изменением угла изгиба с 30° до 60° приводит к снижению N_j в среднем на 21,5 %, что значительно ниже, чем в группе льняных тканей.

Таблица 2 – Результаты исследования циклической долговечности льняных тканей при угле изгиба 60°

Наименование ткани	$m_s, \text{г/м}^2$	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность, N_j циклов (10^3), при величине предварительной нагрузки					
			$k_n = 0$	$k_n = 0,05$	$k_n = 0,1$	%	$k_n = 0,15$	%

Ткань сорочечная	130	1 _o	44,2	37,99	30,11	20,7	18,18	27,9
		1 _y	36,1	31,06	22,39	27,9	13,60	56,2
Ткань костюмная	240	2 _o	38,0	34,87	28,04	26,0	18,04	48,3
		2 _y	35,9	32,0	24,04	24,9	15,27	47,8
Ткань костюмная	244	3 _o	24,9	22,54	17,60	21,9	13,09	41,9
		3 _y	19,22	18,32	15,67	14,5	10,70	44,6
Ткань сорочечная	250	4 _o	51,9	48,06	41,76	13,1	30,44	36,7
		4 _y	49,65	44,98	34,34	23,7	22,55	49,9
Ткань костюмная	290	5 _o	42,9	39,42	32,34	18,0	24,35	38,2
		5 _y	34,70	31,09	24,08	22,5	17,09	45,0
Ткань костюмная	395	6 _o	14,81	12,9	9,95	22,9	6,9	46,5
		6 _y	8,01	6,39	4,08	36,2	1,68	73,7
Среднее значение, %						22,9		46,1

Статистическая обработка результатов усталостных испытаний, осуществленная на основании гипотезы нормального закона распределения, позволила установить, что сырьевой состав оказывает влияние на циклическую долговечность исследуемых тканей, увеличивая количество циклов деформаций до первых признаков разрушения проб из натурального сырья. Так, в группе льняных тканей циклическая долговечность в среднем на 40 % ниже, чем в группе смесовых тканей, в составе которых в среднем 35 % химических волокон.

Наблюдается отсутствие взаимосвязи между m_s и N_j . Так, в группе льняных тканей самое низкое значение циклической долговечности у пробы 6, имеющей наибольшую из исследуемых тканей поверхностную плотность (395 г/м²); в группе смесовых тканей – низкое значение N_j у пробы 7, имеющей относительно других меньшую поверхностную плотность (189 г/м²).

Таблица 3 – Результаты исследования циклической долговечности смесовых тканей при угле изгиба 30°

Наименование ткани	$m_s, \text{г/м}^2$	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность, N_j циклов (10^3), при величине предварительной нагрузки					
			$k_n = 0$	$k_n = 0,05$	$k_n = 0,1$	%	$k_n = 0,15$	%
Ткань плащевая «Грета»	189	7о	80,05	79,14	74,93	5,4	70,04	11,5
		7у	74,0	72,7	67,89	6,6	60,11	17,3
Ткань плащевая «Горизонт»	210	8о	81,06	80,03	76,01	5,0	71,09	11,2
		8у	79,5	78,76	73,61	6,5	67,88	13,8
Ткань плащевая	254	9о	83,76	82,17	78,86	4,1	74,83	8,9
		9у	81,96	80,72	76,88	6,4	70,91	12,2
Ткань плащевая	259	10о	78,90	77,99	73,24	6,1	67,07	14,0
		10у	77,04	74,87	70,51	5,8	61,48	17,9
Ткань плащевая	414	11о	85,4	84,34	80,51	4,5	75,58	10,4
		11у	82,9	81,12	77,07	4,9	70,06	13,6
Среднее значение, %						5,5		13,1

Таблица 4 – Результаты исследования циклической долговечности смесовых тканей при угле изгиба 60°

Наименование ткани	$m_s, \text{г/м}^2$	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность, N_j циклов (10^3), при величине предварительной нагрузки					
			$k_n = 0$	$k_n = 0,05$	$k_n = 0,1$	%	$k_n = 0,15$	%
Ткань плащевая «Грета»	189	7о	75,12	68,05	56,88	16,4	45,38	33,3
		7у	68,43	61,99	49,77	19,7	38,07	38,6
Ткань плащевая «Горизонт»	210	8о	77,9	71,18	62,02	12,9	51,04	28,3
		8у	75,6	70,03	59,11	15,6	47,45	32,2
Ткань плащевая	254	9о	82,06	76,5	68,2	11,1	59,02	22,9
		9у	79,96	73,4	64,86	11,6	56,24	23,4
Ткань плащевая	259	10о	70,9	66,12	56,13	15,1	42,64	35,5
		10у	69,87	63,91	53,55	16,2	40,18	37,1
Ткань плащевая	414	11о	81,65	77,84	70,05	10,0	61,18	21,4
		11у	80,99	75,21	67,56	10,2	59,18	21,3
Среднее значение, %						13,9		29,4

Статистическая обработка результатов усталостных испытаний, осуществленная на основании гипотезы нормального закона распределения, позволила установить, что сырьевой состав оказывает влияние на циклическую долговечность исследуемых тканей, увеличивая количество циклов деформаций до первых признаков разрушения проб из

натурального сырья. Так, в группе льняных тканей циклическая долговечность в среднем на 40 % ниже, чем в группе смесовых тканей, в составе которых в среднем 35 % химических волокон.

Наблюдается отсутствие взаимосвязи между m_s и N_j . Так, в группе льняных тканей самое низкое значение циклической долговечности у пробы 6, имеющей наибольшую из исследуемых тканей поверхностную плотность (395 г/м^2); в группе смесовых тканей – низкое значение N_j у пробы 7, имеющей относительно других меньшую поверхностную плотность (189 г/м^2).

Можно отметить увеличение интенсивности снижения долговечности с увеличением предварительного растяжения k_n у всех тканей. Увеличение угла изгиба более ощутимо влияет на протекание процесса накопления усталости, значительно интенсифицируя падение циклической долговечности материалов. Результаты исследования циклической долговечности тканей позволяют сделать вывод о большем вкладе знакопеременного симметричного изгиба в накопление усталости по отношению к растяжению. Так, увеличение заданной амплитуды циклической деформации в диапазоне от 5 до 15 % от разрывной нагрузки приводит к снижению циклической долговечности в группе льняных тканей на 22,2 %, в группе смесовых тканей на 7,8 %; в среднем на 15,0 %. Увеличение интенсивности испытаний с изменением угла изгиба с 30° до 60° приводит к снижению данного показателя в группе льняных тканей на 27,7 %, в группе смесовых тканей на 15,5 %; в среднем на 21,6 %. Установлено, что более интенсивный износ наблюдается у проб, выкроенных в поперечном направлении, что выражается снижением значений циклической долговечности этих проб по отношению к пробам продольного направления той же ткани. Так, у тканей 1, 5, 6, 7, 10 наблюдается значительное различие в накоплении усталости в направлении основы и утка, что сказывается на величине N_j .

Все вышеперечисленное позволило предположить отсутствие значимых различий в физической структуре процесса накопления усталости тканями различного сырьевого состава и строения, для подтверждения чего был проведен дополнительный анализ результатов исследования.

Лабораторные испытания показали, что при циклическом нагружении признаки внешнего износа в меньшей степени наблюдаются у тканей, обладающих равномерностью значений плотности ткани и линейной плотности нитей в продольном и поперечном направлениях. Для установления связи между структурой тканей и показателем циклической долговечности введен коэффициент анизотропии тканей $K_{анз}$, рассчитываемый по формуле:

$$K_{анз} = \frac{P_o T_o}{P_y T_y}, \quad (1)$$

где P_o – плотность ткани по основе, количество нитей на 100 мм; P_y – плотность ткани по утку, количество нитей на 100 мм; T_o – линейная плотность нитей основы, текс; T_y – линейная плотность нитей утка, текс.

Коэффициент анизотропии представляет собой отношение характеристик продольного и поперечного направления ткани, поэтому показатель долговечности точечной пробы N_j на основании известных рекомендаций [5] рассчитан с помощью среднего геометрического величин N_i элементарных проб двух направлений. Результаты расчета представлены графически в виде диаграммы рассеивания на рисунке 1 и аналитически в таблице 5.

Таблица 5 – Взаимосвязь циклической долговечности и коэффициента анизотропии тканей

Обозначение элементарных проб	$\bar{N}_i (*10^3)$	$\bar{N}_j (*10^3)$	$K_{анз}$
5 _о	49,06	41,46	1,143
5 _у	35,03		
6 _о	21,62	14,05	1,556
6 _у	9,13		
4 _о	54,2	52,57	1,148
4 _у	50,98		
1 _о	46,17	41,94	1,153
1 _у	38,09		
2 _о	39,19	38,52	1,167
2 _у	37,87		
3 _о	24,6	24,04	1,370
3 _у	23,5		
9 _о	84,17	82,94	1,087
9 _у	81,72		
11 _о	84,34	82,71	1,045
11 _у	81,12		
7 _о	81,14	76,8	1,066
7 _у	72,7		
10 _о	79,99	77,39	1,014
10 _у	74,87		
8 _о	80,03	79,76	1,075
8 _у	79,5		

$\bar{N}_j(\times 10^3)$

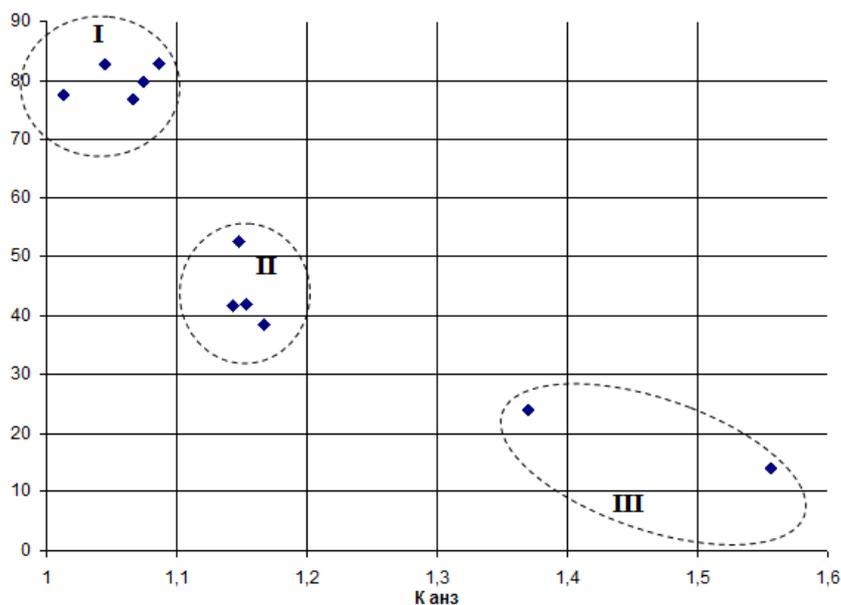


Рисунок 1 – Диаграмма рассеивания значений циклической долговечности и коэффициента анизотропии тканей:

I – хлопок + ПЭ, ткани 7, 9, 10, 11; II – лен, ткани 1, 2, 4, 5;
III – лен, ткани 3, 6

Анализ диаграммы позволяет судить о взаимосвязи $K_{анз}$ тканей и циклической долговечности. В группу **I** на диаграмме входят ткани с $K_{анз} = 1,045 \div 1,130$, то есть со значениями, наиболее близкими к 1. В группу **II** – ткани с $K_{анз} = 1,143 \div 1,167$; и в группу **III** со значениями $K_{анз}$, значительно удаленными от 1. Наличие в тканях химических волокон и нитей, безусловно, повышает значение N_j , однако диаграмма иллюстрирует различие в поведении материалов и в рамках одного сырьевого состава. Так, в группу **II** и **III** входят только чистольняные ткани, однако, у ткани 4 при $K_{анз} = 1,148$ $N_7 = 52,57 \cdot 10^3$ циклов, а у ткани 6 при $K_{анз} = 1,556$ $N_6 = 14,05 \cdot 10^3$ циклов.

Суждение о существовании корреляции между этими переменными подтверждено проведением корреляционного анализа. Выявлена отрицательная корреляция (с ростом x у уменьшается); коэффициент корреляции $r = - 0,83$ свидетельствует о значительной степени взаимосвязи переменных.

Критерием оценки $K_{анз}$ выбраны стандартные оценки шкалы желательности [6] $0,8 \div 1,0$, соответствующие градации качества «отлично». Учитывая тот факт, что значение $K_{анз}$ может быть как меньше, так и больше единицы, критерием оценки данного коэффициента служит диапазон $0,8 \div 1,2$, характеризующий оптимальное значение данного параметра.

Представляет интерес изучение характера изменения циклической долговечности от величины предварительной нагрузки. Однако непосредственное сравнение \bar{N}_i затрудняется различиями в абсолютных значениях данного показателя. Для устранения влияния этих различий на возможность сравнения тканей в работе использован прием перехода к относительным значениям. Сущность его состоит в следующем. Абсолютные значения \bar{N}_i , полученные при $k_n = 0,15$ и $k_n = 0,1$, делятся на значение \bar{N}_i при \min значении k_n . В результате получаем преобразованный график, в котором значения \bar{N}_i при $k_n = 0,05$ будет всегда равно 1. Этот график можно назвать приведенным, так как все ординаты приводятся к первой. Такой график уже не отражает влияние абсолютных значений \bar{N}_i , он отражает лишь относительное изменение этого показателя. Это дает возможность сравнивать \bar{N}_i различных тканей, учитывая характер изменения этого показателя в зависимости от условий испытаний. Описанный прием позволяет семейство кривых преобразовать в пучок. С другой стороны, использование приведенных кривых дает основание рассматривать все возможные текстильные материалы, полученные одним технологическим способом, как конкретизации одного объекта. Например, все ткани можно рассматривать как конкретизации материала, полученного в процессе ткачества. С таких позиций пучок полученных кривых можно рассматривать как паттерн, то есть узор состояния объекта [7]. Таким образом, совокупность кривых представляет собой набор состояний исследуемых тканей как системы, в которой каждая кривая характеризует элемент этой системы, а пучок (паттерн) характеризует систему в целом.

Пучок приведенных кривых на рисунке 2 наглядно отображает различия в поведении исследуемых тканей в одинаковых режимах испытаний.

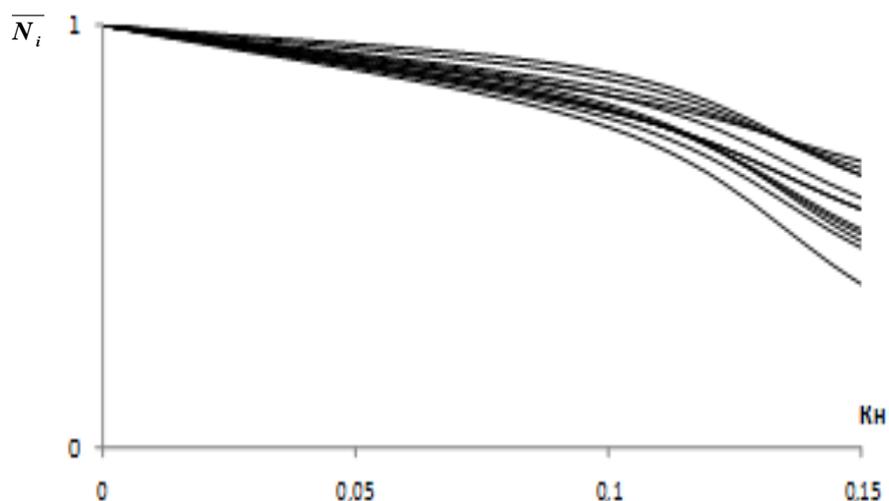


Рисунок 2 – Паттерн поведения льяных тканей (угол 300)

Очевидно, что если бы все ткани вели бы себя одинаковым образом, то есть не различались бы по показателю \overline{N}_i , то пучок приведенных кривых был бы представлен единственной кривой. Чем больше площадь, занимаемая пучком, тем больше степень различий между динамикой свойств тканей после циклических испытаний.

Проведенные исследования позволили выполнить верификацию методики циклических испытаний тканей, в ходе которой сделаны следующие выводы.

Более высокой деформационной устойчивостью обладают материалы, текстильная структура и механические свойства которых являются сходными в продольном и поперечном направлениях; локализация разрушений происходит, в основном, в поперечном направлении текстильного полотна. Равномерность текстильной структуры предложено оценивать при помощи коэффициента анизотропии $K_{анз}$.

Выявлено отсутствие значимых различий в процессах накопления усталости в исследуемых тканях. Установлено, что наличие в тканях до 35 % сырья химического происхождения повышает циклическую долговечность в среднем на 40 %.

При помощи паттерн-анализа показана динамика свойств тканей после циклических нагружений. Паттерн (пучок из приведенных кривых) указывает на значительные различия в поведении тканей и участие в этом процессе текстильной структуры. Быстрое разрушение структуры наблюдается у тканей, значение $K_{анз}$ которых не удовлетворяет условию $0,8 < K_{анз} < 1,2$.

Список использованных источников

1. Прибор для испытания эластичных материалов и швов : пат. 870 Респ. Беларусь, МПК А43D1/00 / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, С. Г. Ковчур, А. Н. Махонь, О. А. Терентьева ; заявитель Витебск. гос. технол. ун-т. — № u20020265 ; заявл. 17.09.02 ; опубл. 30.02.03 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. патэнт. кам. Рэсп. Беларусь. — 2003. — № 2. — С. 236.
2. ГОСТ 23207. Соппротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. — Введ. 01.01.79. — Москва : Гос. Комитет СССР по стандартам. — 1979. — 48 с.
3. Склянников, В. П. Строение и качество тканей : монография / В. П. Склянников. — Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 176 с.
4. Васильчикова, Н. В. Проектирование, строение и свойства меланжевых тканей из лавсановискозной пряжи / Н. В. Васильчикова, А. К. Киселев. — Москва : Легпромбытиздат, 1970. — 232 с.
5. Виноградов, Ю. С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности / Ю. С. Виноградов. — Москва : Легкая индустрия, 1970. — С. 76.

6. Исследование непродовольственных товаров : учеб. пособие для студентов вузов / И. М. Лифиц [и др.]. – Москва : Экономика, 1988. – 343 с.
7. Гренандер, У. Лекции по теории образов: Анализ образов : пер. с англ. / У. Гренандер. – Москва : Мир, 1981. – 448 с.

Статья поступила в редакцию 20.02.2013.

Выходные данные

Махонь, А. Н. Верификация методики многоцикловых испытаний текстильных материалов / А. Н. Махонь // Вестник Витебского государственного технологического университета . – 2013. – № 24. – С. 28.