

NONWOVEN COMPOSITE CHARACTERISTICS FORECASTING DEPENDING ON THE OPERATING CONDITIONS

M. Treschalin¹, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
 Y. Treschalin², Engineer
 Moscow Institute of State and Corporation Management, Russia¹
 Moscow State Technological University Stankin, Russia²

In order to determine and to predict the composite properties taking the operating conditions into account, the mathematical processing of data of the experimental studies on nonwoven composite materials has been carried out. As a result, the dependences of strength characteristics of composites on the base density have been obtained, as well as the recommended nonwoven fabric parameter values.

Keywords: composite, nonwoven base, physical and mechanical properties, approximation, analysis, correlation coefficient, density.

Conference participants, National Research Analytics Championship, Open European-Asian Research Analytics Championship


ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ НА НЕТКАНОЙ ОСНОВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Трещалин М.Ю.¹, д-р техн. наук, проф.
 Московский институт государственного и корпоративного управления, Россия¹
 Трещалин Ю.М.², инженер
 Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Россия²

С целью определения и прогнозирования свойств композитов с учетом условий эксплуатации, проведена математическая обработка данных экспериментальных исследований композиционных материалов на нетканой основе. В результате получены зависимости прочностных характеристик композитов от плотности основы и рекомендуемые значения параметров нетканых полотен.

Ключевые слова: композит, нетканая основа, физико-механические характеристики, аппроксимация, анализ, коэффициент корреляции, плотность.

Участники конференции, Национального первенства по научной аналитике, Открытого Европейско-Азиатского первенства по научной аналитике

 <http://dx.doi.org/10.18007/gisap:tsc.v0i6.1151>

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать заключение о положительном влиянии физико-механических характеристик нетканой основы на прочностные свойства композитов. В связи с тем, что испытаниям подвергались нетканые материалы, имеющие разный волокнистый состав, изготовленные различными способами и производителями, целесообразным подразделить полотна на группы, указанные в табл. 1.

С целью прогнозирования прочностных характеристик композиционных материалов на нетканой основе в зависимости от условий эксплуатации, проведена математическая обработка полученных эксперимен-

тальных данных. При этом в качестве определяющего параметра выбрана объемная плотность нетканого полотна, как наиболее информативный показатель, учитывающий вид волокон, геометрические размеры, массу и пористость армирующего каркаса [1].

Численный анализ проводился в два этапа. Первоначально, используя возможности Microsoft Excel, были определены линия тренда, уравнение и коэффициент корреляции, позволяющие выявить взаимосвязь плотности нетканой основы и параметров полученных композитов с минимальной погрешностью. При этом использовались все имеющиеся зависимости (линейная, полиномиальная, логарифмическая, степенная, экспоненциальная).

В результате анализа было установлено, что прочностные характеристики образцов композиционных материалов зависят от плотности нетканой основы. При этом максимальная точность расчета достигается посредством аппроксимации квадратичным полиномом, вида: $y(\rho) = a_1 \cdot \rho^2 + a_2 \cdot \rho + a_3$. Однако, приведенное уравнение можно использовать только на ограниченном интервале значений плотности ρ , соответствующем одной из ветвей параболы.

На втором этапе проводился уточненный поиск с использованием программного комплекса Mathcad 15.0. Оценка точности аппроксимации производилась по величинам:

- относительной погрешности, %:

$$U = (f_3 - f_T) \cdot 100 / f_3,$$
- коэффициента корреляции: $Kk^2 = 1 - (S1 / S2),$

где: f_3 - экспериментальные данные; f_T - результаты вычислений с использованием формул, полученных в результате аппроксимации;

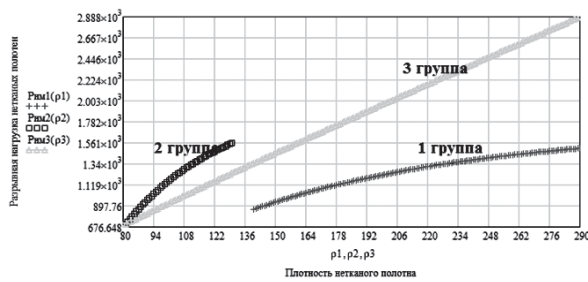
$$S1 = \sum_{i=1}^N [f_3 - f_T]^2;$$

$$S2 = \sum_{i=1}^N (f_3)^2 - [\sum_{i=1}^N (f_3)^2] / N$$

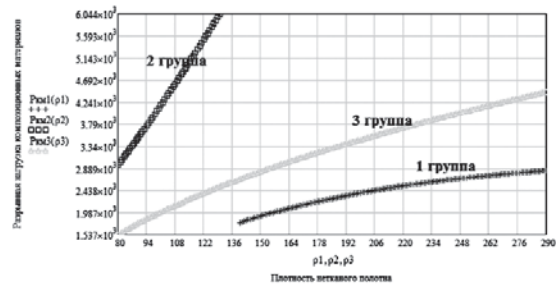
$n = 1 \dots N$ - номер, соответствующий значениям, полученным в результате

Табл. 1. Группировка нетканых полотен

Номер группы	Состав сырья и способ холстоформирования, предприятие-производитель	Плотность, кг/м ³
1	ПП - 100 %, фильерное (спанбонд), аэродинамическое, иглопробивной термостабилизированный каландрированием, «Канвалон», ОАО «Ортон»	170-300
2	Штапельное, ПЭ (20 %) + ПП (80 %), иглопробивное, каландрированное, «Геокон Д», «Комитекс»	60-130
3	ПП - 100 %, фильерное (спанбонд), аэродинамическое, иглопробивной, «Геотекс», «Сибур-геотекстиль»	80-160

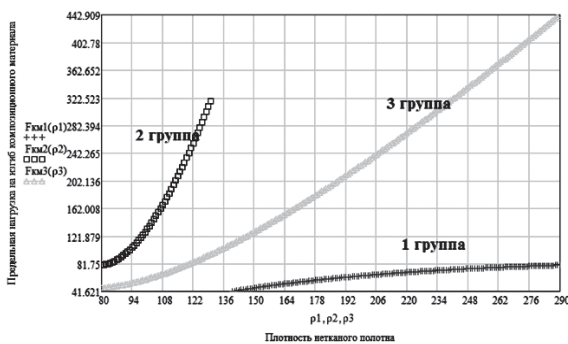


а

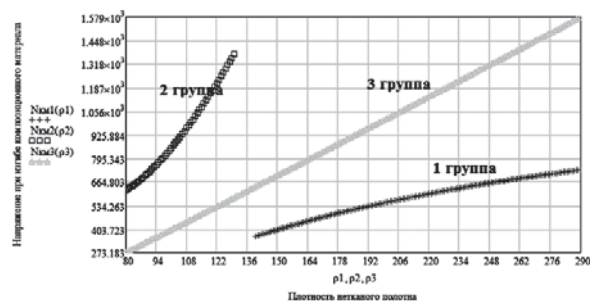


б

Рис. 1. Зависимость разрывной нагрузки (Н) от плотности ($\text{кг}/\text{м}^3$) нетканых полотен: а – нетканой основы; б – композиционного материала.



а



б

Рис.2. Зависимость характеристик композиционных материалов от плотности ($\text{кг}/\text{м}^3$) нетканых полотен: а – предельной нагрузки (Н) на изгиб; б – напряжения при изгибе (кПа).

Табл. 2.

Результаты аппроксимации значений прочностных характеристик нетканой основы и композиционных материалов в зависимости от плотности полотен

Номер группы	Значения коэффициентов пропорциональности			Значение коэффициента корреляции	Величина относительной погрешности, %	
	a_0	a_1	a_2		min	max
Зависимость разрывной нагрузки P_{HM} от плотности ρ нетканого полотна:						
1: $P_{\text{HM}1}(\rho_1) = a_0 \cdot \ln(\rho_1) + a_1 \cdot \rho_1 + a_2$	$1,6853166 \cdot 10^3$	-3,89929875	$-6,92025212 \cdot 10^3$	1,0	-2,904	2,102
2: $P_{\text{HM}2}(\rho_2) = a_0 \cdot \ln(\rho_2) + a_1 \cdot \rho_2 + a_2$	$4,00850125 \cdot 10^3$	-21,30352744	$-1,51844289 \cdot 10^4$	1,0	-1,29	1,376
3: $P_{\text{HM}3}(\rho_3) = a_0 \cdot \ln(\rho_3) + a_1 \cdot \rho_3 + a_2$	147,52755307	9,53822276	-714,78182726	0,998	-7,982	5,949
Разрывной нагрузки композиционного материала P_{KM} от плотности ρ нетканого полотна						
1: $P_{\text{KM}1}(\rho_1) = a_0 \cdot \ln(\rho_1) + a_1 \cdot \rho_1 + a_2$	$2,88674504 \cdot 10^3$	-6,96097435	$-1,15085438 \cdot 10^4$	1,0	-0,799	0,776
2: $P_{\text{KM}2}(\rho_2) = a_0 \cdot \ln(\rho_2) + a_1 \cdot \rho_2 + a_2$	$-2,62756846 \cdot 10^3$	87,24705631	$7,49172655 \cdot 10^3$	0,999	-4,127	4,141
3: $P_{\text{KM}3}(\rho_3) = a_0 \cdot \ln(\rho_3) + a_1 \cdot \rho_3 + a_2$	$1,60199006 \cdot 10^3$	4,0345877	$-5,8060092 \cdot 10^3$	1,0	-2,21	3,783
Предельной нагрузки на изгиб композиционного материала F_{KM} от плотности ρ нетканого полотна						
1: $F_{\text{KM}1}(\rho_1) = a_0 \cdot \ln(\rho_1) + a_1 \cdot \rho_1 + a_2$	115,72502058	-0,3090452	-486,9841718	0,999	-4,487	5,858
2: $F_{\text{KM}2}(\rho_2) = a_0 \cdot \ln(\rho_2) + a_1 \cdot \rho_2 + a_2$	$-1,65048542 \cdot 10^3$	20,7841586	$5,64995481 \cdot 10^3$	0,994	-10,434	9,081
3: $F_{\text{KM}3}(\rho_3) = a_0 \cdot \ln(\rho_3) + a_1 \cdot \rho_3 + a_2$	-255,81954322	3,45560924	891,24882841	0,97	-20,651	20,682
Напряжения при изгибе композиционного материала N_{KM} от плотности ρ нетканого полотна						
1: $N_{\text{KM}1}(\rho_1) = a_0 \cdot \ln(\rho_1) + a_1 \cdot \rho_1 + a_2$	625,42448425	-0,57202415	$-2,64864442 \cdot 10^3$	1,0	-1,292	0,84
2: $N_{\text{KM}2}(\rho_2) = a_0 \cdot \ln(\rho_2) + a_1 \cdot \rho_2 + a_2$	$-2,81747411 \cdot 10^3$	42,4091436	$9,57299073 \cdot 10^3$	1,0	-0,612	0,654
3: $N_{\text{KM}3}(\rho_3) = a_0 \cdot \ln(\rho_3) + a_1 \cdot \rho_3 + a_2$	-34,74837837	6,42929311	-88,89193986	1,0	-1,421	2,033

измерений; ρ – количество экспериментальных данных (образцов в группе).

Графическая интерпретация полученных результатов, величина коэф-

фициентов корреляции и оценка погрешности расчетных значений по отношению к экспериментальным данным, приведены на рис.1, 2 и табл. 2.

Следует отметить, что примене-

ние полученных зависимостей справедливо в соответствующем интервале плотностей для каждой группы нетканых полотен (см. табл. 1). Кроме того, учитывая стремление к унифи-

Табл. 3.

Результаты аппроксимации значений поверхностной плотности в зависимости от плотности нетканых полотен, изготовленных из полипропиленовых волокон

Значения коэффициентов пропорциональности				Значение коэффициента корреляции	Величина относительной погрешности, %	
a_0	a_1	a_2	a_3		min	max
Зависимость поверхностной плотности ПП _{н1} , г/м ² от плотности ρ_1 , кг/м ³ для нетканых полотен 1 группы: ПП _{н1} (ρ_1) = $a_0 \cdot \rho_1^3 + a_1 \cdot \rho_1^2 + a_2 \cdot \rho_1 + a_3$						
$2,4041 \cdot 10^{-4}$	-0,162797	37,5236	$-2,4025 \cdot 10^3$	0,992	- 14,14	15,85
Зависимость поверхностной плотности ПП _{н3} , г/м ² от плотности ρ_3 , кг/м ³ для нетканых полотен 3 группы: ПП _{н3} (ρ_3) = $a_0 \cdot \rho_3^3 + a_1 \cdot \rho_3^2 + a_2 \cdot \rho_3 + a_3$						
$-4,847 \cdot 10^{-4}$	0,2569745	- 37,606	$2,06896 \cdot 10^3$	0,996	-10,75	13,95

кации математических выражений при проведении аппроксимации экспериментальных данных, наименее точные результаты получены для описания зависимости предельной изгибающей нагрузки от плотности

15.0. Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Допуская соблюдение общего вида аппроксимирующей функции, в табл. 4 дается приближенный расчет зависимости поверхностной плотности

стины) из композиционных материалов функционально зависят от плотности нетканой основы. Причем, для приближенного расчета разрывных нагрузок нетканого полотна $R_{рн}$ и композиционного материала $R_{рк}$, а также

Табл. 4.

Результаты аппроксимации значений поверхностной плотности в зависимости от плотности нетканых полотен, изготовленных из полиэфирных волокон

Значения коэффициентов пропорциональности				Значение коэффициента корреляции	Величина относительной погрешности, %	
a_0	a_1	a_2	a_3		min	max
Зависимость поверхностной плотности ПП _{пэ} , г/м ² от плотности $\rho_{пэ}$, кг/м ³ : $ПП_{пэ}(\rho_1) = a_0 \cdot \rho_{пэ}^3 + a_1 \cdot \rho_{пэ}^2 + a_2 \cdot \rho_{пэ} + a_3$						
$9,26074 \cdot 10^{-5}$	$-8,032610^{-3}$	$-8,0968 \cdot 10^{-5}$	0	1,0	0	0

композиционных материалов 2 группы. Несмотря на то, что возможности Mathcad 15.0 позволяют определить более рациональный вид функции, например $F_{км}(\rho_2) = a \cdot \rho^5 + b \cdot \rho^3 + c$, представляется целесообразным оставить вариант $F_{км}(\rho_2) = a_0 \cdot \ln(\rho) + a_1 \cdot \rho + a_2$, т.к. испытания образцов на изгиб проводились с использованием дополнительных лабораторных приспособлений, которые могли повлиять на точность измерений. Поверхностную плотность для материалов 1 и 3 групп можно вычислить приближенно по значениям ρ при помощи Mathcad

от плотности для образцов нетканой основы композитов, выработанной из полиэфирных волокон.

Расчеты, проведенные посредством полученных формул, позволяют рекомендовать для изготовления композиционных материалов нетканые полотна, характеристики которых приведены в табл. 5.

Обобщая результаты математической обработки данных, полученных в процессе экспериментальных исследований, следует отметить, что:

1. Физико-механические характеристики изготовленных изделий (пла-

предельной нагрузки изгиба композиционного материала F и напряжений при изгибе σ в зависимости от плотности нетканого полотна ρ , наиболее целесообразно применять уравнение вида $y(\rho) = a \cdot \ln(\rho) - b$, а для вычисления напряжения при изгибе σ – степенную функцию: $\sigma(\rho) = c \cdot \rho^n$.

2. Численные значения коэффициентов пропорциональности в приведенных расчетных формулах определяются волокнистым составом, способом изготовления и плотностью нетканых полотен, а также используемым технологическими режима-

Табл. 5.

Характеристики нетканых полотен для изготовления композитов

Нетканые полотна, выработанные из:		
100 % полипропиленовых волокон:	100 % полиэфирных волокон	
Диапазон значений поверхностной плотности полотен:		
1 группы:	3 группы:	
290 - 540 г/м ² при $\rho_{пп} = 135 - 230$ кг/м ³	480 - 1160 г/м ² при $\rho_{пп} = 135 - 230$ кг/м ³	
	503 - 2990 г/м ² при $\rho_{пэ} = 210 - 350$ кг/м ³	
Толщина нетканой основы:		
2,0 - 2,4 мм;	3,5 - 4,9 мм.	
	3,7 - 13,0 мм.	

ми и оборудованием на различных предприятиях-производителях (ОАО «Ортон», «Комитекс», «Сибур-геотекстиль»).

3. Рекомендуемые значения параметров нетканых полотен, предназначенных для использования в качестве основы композиционных материалов составляют:

3.1. Пористость: 75-85 %;

3.2. Плотность кг/м³:

- $\rho_{ПП}$ = 135 – 230 - при изготовлении из полипропиленовых волокон (ρ_B = 910 кг/м³);

- $\rho_{ПЭ}$ = 210 – 350 - при изготовлении из полиэфирных волокон (ρ_B = 1380 кг/м³);

- $\rho_{ПА}$ = 170 – 290 - при изготовлении из полиамидных волокон (ρ_B = 1147 кг/м³).

3.3. Диапазон изменения поверхностной плотности ПП и соответствующих толщин δ :

- ПП = 290 - 540 г/м² и δ = 2,0 – 2,4 мм - для иглопробивных термостабилизированных полотен марки «Канвалон» (производитель ОАО «Ортон»): 100 % полипропиленовые волокна, формирование холста фи-

льерное (спанбонд), аэродинамическое;

- ПП = 480 - 1160 г/м² и δ = 3,5 – 4,9 мм - для иглопробивных полотен марки «Геотекс» (производитель ОАО «Сибур-геотекстиль»): 100 % полипропиленовые волокна, формирование холста фильерное (спанбонд), аэродинамическое;

- ПП = 503 - 2990 г/м² и δ не менее 3,7 мм - для иглопробивных полотен, выработанных из 100 % полиэфирных волокон. Предпочтительное формирование холста фильерное (спанбонд), аэродинамическое.

Таким образом, проведенный анализ позволил определить соотношения физико-механических параметров нетканой основы, которые являются оптимальными с точки зрения достижения требуемых прочностных свойств композитов и изделий из них для использования в промышленности и строительстве.

References:

1. Treshhalin M.Ju., Kiselev M.V., Muhamedzhanov G.K., Treshhalina A.V.

Proektirovanie, proizvodstvo i metody ocenki kachestva netkanyh materialov (monografiya) [Design, manufacture and methods of assessing the quality of nonwovens (monograph)]. – Kostroma., Publisher Kostroma State Technological University, 2013. - 273 P.

Литература:

1. Трещалин М.Ю., Киселев М.В., Мухамеджанов Г.К., Трещалина А.В. Проектирование, производство и методы оценки качества нетканых материалов (монография). – Кострома., Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2013. - 273 с.

Information about authors:

1. Michail Treschalin - Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Moscow Institute of State and Corporation Management; address: Russia, Moscow city; e-mail: mtreschalin@yandex.ru

2. Yuri Treschalin – Engineer, Moscow State Technological University Stankin; address: Russia, Moscow city; e-mail: antropog@yandex.ru

