

экономики России, может рассматриваться как один из прорывных проектов, способствующих импортозамещению, расширению сферы применения и ассортимента нетканых полотен отечественных производителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трещалин Ю.М. Обоснование применения нетканых полотен для производства композиционных материалов на текстильной основе: дис... канд. техн. наук / Ю.М. Трещалин. – Кострома, 2013. – 166 с.
2. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен: монография / Ю.М. Трещалин. - М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2015.- 220 с.

УДК 677.026.422

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

DESIGN AND DEVELOPMENT OF NONWOVEN MATERIALS FOR USE IN ROAD CONSTRUCTION AND INSULATION

М.Ю. Трещалин
M.Yu. Teschalin

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Lomonosov Moscow State University
E-mail: mtreschalin@mail.ru

Представляя материал как сплошную среду, имеющую волокнистую структуру и капиллярно-пористое строение, предложен аналитический метод определения физико-механических характеристик и эффективного коэффициента теплопроводности в зависимости от плотности нетканых полотен с учетом условий эксплуатации при использовании в качестве геотекстильной прослойки в дорожной насыпи и теплоизоляции инженерных коммуникаций и сооружений.

Ключевые слова: нетканый материал; сплошная среда; плотность; геотекстиль; пористость; деформация; теплоизоляция; коэффициент теплопроводности.

In presenting the material as a continuous medium having a fibrous structure, and capillary-porous structure, proposed an analytical method for determining the physical and mechanical characteristics and the effective thermal conductivity depending on the density of non-woven fabrics with a light duty when used as a geotextile layer in road embankment and thermal insulation engineering services and structures.

Keywords: non-woven material; a continuous medium; the density; geotextiles; porosity; deformation; thermal insulation; thermal conductivity.

Нетканые материалы представляют волокнистые системы, в которых хаотично расположенные волокна соединены между собой механическим, физико-химическим или комбинированным способами. Такие изделия обладают высокими прочностными свойствами, а достаточно простая и экономичная технология их изготовления позволяет использовать для их изготовления разнообразный волокнистый состав.

Расчет физико-механических и теплофизических параметров целесообразно проводить, представляя нетканое полотно как вязкоупругую сплошную среду, имеющую пористое строение и волокнистую структуру.

Изменение характеристик высокопористых сред, к которым относятся волокнистые материалы, в результате внешних воздействий можно с достаточной для практических расчетов точностью представить в виде степенной зависимости:

$$F(x) = K \cdot x^n \quad (1)$$

где: $F(x)$ – целевая функция; x – характерный параметр материала (например: плотность, деформация и т.д.); K, n – коэффициент пропорциональности и показатель, характеризующий степень нелинейности функции, соответственно.

Граничные условия формулируются следующим образом: в диапазоне изменения $0 \leq x \leq 1$ значение $x = a$ соответствует величине $F(x) = F(x)_{\min}$ и $x = b$ имеет место в случае $F(x) = F(x)_{\max}$ (рис. 1). Задача состоит в том, чтобы найти такую функцию вида (1), которая обеспечила бы выполнение изложенных требований.

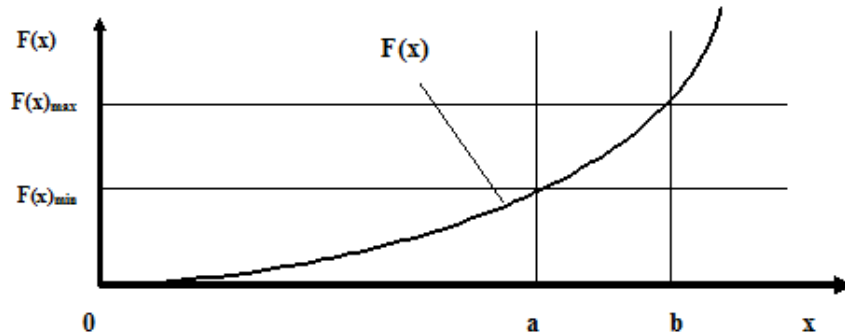


Рис. 1. Общий вид искомой функции $F(x)$

Для решения задачи используется метод штрафных функций. Определение штрафной функции по x производится таким образом, чтобы в интересующем интервале от a до b она была равна нулю, а за пределами интервала возрастала [1]:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } a \leq x \leq b \\ (x - b), & \text{при } x \geq b \\ (a - x), & \text{при } x \leq a \end{cases}$$

С целью определения неизвестных K и n следует минимизировать разность между искомой функцией (1), которую можно представить в виде $K \cdot Z^n = K \cdot e^{n \cdot \ln(Z)}$, и некоторой штрафной функцией $f(Z)$. Для обеспечения положительной разности между указанными функциями в каждой точке по Z используется метод средних квадратичных отклонений:

$$\int_0^A [K \cdot Z^n - f(Z)]^2 dZ = I(K, n)$$

Необходимым условием достижения минимума разности функций является равенство нулю первой производной $I(K, n)$ по параметрам K и n :

$$\frac{\partial I}{\partial K} = 2 \cdot \int_0^A [K \cdot Z^n - f(Z)] \cdot Z^n dZ = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial I}{\partial n} = 2 \cdot \int_0^A [K \cdot Z^n - f(Z)] \cdot K \cdot \ln(Z) \cdot Z^n dZ = 0 \quad (3)$$

Последовательно интегрируя (2) и (3) имеем:

$$\begin{aligned} & \int_0^a [K \cdot Z^n - (a - Z)] \cdot Z^n dZ + \int_a^b [K \cdot Z^n - f(Z)] \cdot Z^n dZ + \int_b^1 [K \cdot Z^n - (Z - b)] \cdot Z^n dZ = \\ & = \frac{K}{2 \cdot n + 1} - \frac{1}{(n + 1) \cdot (n + 2)} \cdot [a^{n+2} + n \cdot (1 - b) + (1 - 2 \cdot b) + b^{n+2}] = 0 \end{aligned}$$

$$\int_0^a [K \cdot Z^n - (a - Z)] \cdot \ln(Z) \cdot Z^n dZ + \int_a^b [K \cdot Z^n \cdot Z^n \cdot \ln(Z)] dZ + \int_b^1 [K \cdot Z^n - (Z - b)] \cdot \ln(Z) \cdot Z^n dZ$$

$$= \frac{K \cdot a^{n+2}}{(2 \cdot n + 1)^2} \cdot [(2 \cdot n + 1) \cdot \ln(a) - 1] - \frac{a^{n+2}}{(n + 1)^2} \cdot [(n + 1) \cdot \ln(a) - 1] + \frac{a^{n+1}}{(n + 2)^2} \cdot [(n + 2) \cdot \ln(a) - 1] + \frac{K}{(2 \cdot n + 1)^2} \cdot \{[(2 \cdot n + 1) \cdot [b^{2 \cdot n + 1} \cdot \ln(b) - a^{2 \cdot n + 1} \cdot \ln(a)] - [b^{2 \cdot n + 1} - a^{2 \cdot n + 1}]]\} + \frac{K}{(2 \cdot n + 1)^2} \cdot \{b^{2 \cdot n + 1} \cdot [1 - (2 \cdot n + 1) \cdot \ln(b)] - 1\} + \frac{1}{(n + 2)^2} \cdot \{b^{n+2} \cdot [1 - (n + 2) \cdot \ln(b)] - 1\} + \frac{b}{(n + 1)^2} \cdot \{b^{n+2} \cdot [1 - (n + 1) \cdot \ln(b)] - 1\} = 0$$

После преобразований получено трансцендентное уравнение для определения n:

$$\frac{1}{n + 1} \cdot \{b^{n+1} \cdot [1 - (n + 1) \cdot \ln(b)] - b - a^{n+1} \cdot [1 - (n + 1) \cdot \ln(a) - 1]\} + \frac{1}{(n + 1)^2} \cdot \{a^{n+2} \cdot [(n + 2) \cdot \ln(a) - 1] - b^{n+2} \cdot [1 - (n + 2) \cdot \ln(b)] + 1\} - \frac{1}{(2 \cdot n + 1) \cdot (n + 1) \cdot (n + 2)} \cdot [a^{n+2} + n \cdot (1 - b) + (1 - 2 \cdot b) + b^{n+2}] = 0 \quad (4)$$

Расчет значения K производится по следующей формуле:

$$K = \frac{(2 \cdot n + 1)}{(n + 1) \cdot (n + 2)} \cdot [a^{n+2} + n \cdot (1 - b) + (1 - 2 \cdot b) + b^{n+2}] \quad (5)$$

Решение уравнений (4) и (5), проводится с учетом (1), записанного для максимального и минимального значений функции F(x), в виде:

$$\ln F(x)_{\max} = \ln(K) + n \cdot \ln(b) \quad (6)$$

$$\ln F(x)_{\min} = \ln(K) + n \cdot \ln(a) \quad (7)$$

Численные значения n, K, a и b определяются из совместного решения уравнений (4) - (7) при известных $F(x)_{\max}$ и $F(x)_{\min}$, определяемых из условий эксплуатации материала.

Зависимости (4) - (7) позволяют провести расчет физико-механических параметров геотекстильного материала, используемого при строительстве транспортных магистралей.

Одним из основных условий качественного функционирования геотекстильной прослойки, являющейся одним из слоев дорожной одежды, является обеспечение дренажа грунтовых и дождевых вод. Для этого материал, расположенный в насыпи, должен иметь пористость, равную пористости применяемого для отвода избыточной влаги, речного песка $\xi_0 = 0,36 \div 0,46$ при максимальном давлении на дорожное покрытие[2]. Тогда уравнение (1) будет иметь вид:

$$P(\epsilon) = K \cdot \epsilon^n \quad (8)$$

где: P(ε) – внешнее давление на материал; ε – объемная деформация материала.

Граничные условия:

$$P(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } a \leq \epsilon \leq b \\ (\epsilon - b), & \text{при } \epsilon \geq b \\ (a - \epsilon), & \text{при } \epsilon \leq a \end{cases}$$

Соответственно в уравнениях (4) - (7) следует считать:

$$x = \epsilon = b \text{ при } F(x)_{\max} = P_{\max}; \quad x = \epsilon = a \text{ при } F(x)_{\min} = P_{\min}.$$

С учетом изложенного, начальная пористость материала определится:

$$\xi_0 = \xi \cdot (1 - \epsilon) + \epsilon = 0,36 \cdot (1 - b) + b$$

где: ε = b – объемная деформация при P = P_{max}; ξ = 0,36 – пористость при ε = b.

При минимальном давлении пористость материала ξ_a при ε = a:

$$\xi_a = (\xi_0 - a)/(1 - a)$$

где: ε = a – объемная деформация при P = P_{min}.

Диапазон изменения модуля упругости геотекстильной прослойки $E = dP/d\varepsilon$ соответствие с (8) при давлениях: $P = P_{\min}/E_a = n \cdot K \cdot a^{(n-1)}$ и $P = P_{\max}/E_b = n \cdot K \cdot b^{(n-1)}$.

Решение уравнений (4) – (7) с учетом вышеприведенных уточнений, проводилось применением программного комплекса MATCAD. Анализ результатов позволяет произвести качественную и количественную оценку требуемых параметров волокнистых материалов в зависимости от внешней нагрузки. Из физических соображений следует, что в области значений $n < 1$, величина $(dE/d\varepsilon) < 0$. Это условие соответствует уменьшению упругих свойств среды с ростом напряжений, что характерно для материалов, претерпевающих в процессе нагрузки необратимые изменения структуры (например, фазовый переход воды в лед и т.п.).

Случай $n = 1$ определяет среду, имеющую идеальную упругость, что не соответствует реальному поведению волокнистых материалов под нагрузкой. Также не возможно изготовить нетканые полотна, имеющие $E_a \gg 1$. Следовательно, диапазон внешних нагрузок, определяемый величинами отношения $(P_{\min}/P_{\max}) < 0,1$ не приемлем для эффективного использования текстильных изделий.

В диапазоне нагрузок $0,2 \leq (P_{\min}/P_{\max}) \leq 0,4$ значения n находятся в пределах от 2,2 до 2,4 (если принять на этом участке среднее $n = 2,3$, то относительная погрешность расчетов составит 4,2 – 4,6%). Величина K варьируется от 0,6 до 0,75 МПа. При использовании в расчетах среднего значения $K = 0,675$ МПа, погрешность не превышает 10%.

С целью определения местоположения геотекстильной прослойки в дорожной одежде, проведен расчет напряжений, возникающих в насыпи вследствие нагрузки со стороны автотранспорта на дорожное покрытие. При этом использованы исходные данные и традиционные варианты конструкции дорог автомагистралей III и II категории (табл. 1).

Таблица 1.

Конструкции дорожной одежды и земляного полотна автомагистралей III и II категории

№	Конструкция дорожной одежды и земляного полотна	Толщина слоя, мм.	Плотность γ , кг/м ³
Автодорога III категории. Ширина дорожного покрытия – 7 м.			
1.	Цементное покрытие	240	2400
2.	Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10 % цемента	180	2200
3.	Грунт земляного полотна – легкий пылеватый суглинок	-	1810
Автодорога II категории. Ширина дорожного покрытия – 7 м.			
1.	Покрытие:		
1.1.	верхний слой – песчаный асфальтобетон	50	2300
1.2.	нижний слой – крупнозернистый асфальтобетон	60	2400
2.	Основание:		
2.1.	верхний слой – щебень, обработанный битумом	80	1800
2.2.	нижний слой – грунт, укрепленный цементом и шлаком	200	1900
3.	Подстилающий слой – кондиционный песок	0	1600
4.	Грунт земляного полотна – легкий пылеватый суглинок	-	1810

При решении задачи приняты следующие условия и допущения:

- для испытаний дорожной одежды применяют автомобиль МАЗ - 503А с нагрузкой на ось 54,9 кН и давлением на покрытие 0,72 МПа;

- расчет напряжений, возникающих в дорожной насыпи, производится в условиях статического сжатия;

- рассматривается сжатие изотропного тела. При этом направление сжатия (по нормали к дорожному покрытию) является главной осью тензора напряжений $\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau_{yz} = \tau_{xz} = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$

Исходя из симметрии относительно оси, проходящей через середину колеи, граничные условия формулируются следующим образом (рис. 2):

$$1. \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{xy} = 0; \text{при: } y = 0; 0 \leq x \leq [L/2 - L_1];$$

$$2. \begin{cases} \sigma_{yy} = P \\ \sigma_{xx} = \sigma_{xy} = 0 \end{cases} \text{при: } y = 0; [L/2 - L_1] \leq x \leq [L/2 - L_2];$$

$$3. \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{xy} = 0; \text{при: } y = 0; [L/2 - L_2] \leq x \leq [L/2 - L_5];$$

4. На внутренних границах условие непрерывности перемещений, т.е. нормальная составляющая, передается непрерывно:

$$\begin{cases} \sigma_{y1} = \sigma_{y2} \\ x = 0 \end{cases} \text{ - условия симметрии.}$$

$$x = [L/2 - L_5] = 1,55 \text{ м.}$$

где: L – ширина дорожного покрытия, м;

L_5 – ось симметрии относительно нагрузки на дорожное покрытие со стороны автотранспорта;

P – давление на дорожное покрытие, создаваемое колесом автомашины.

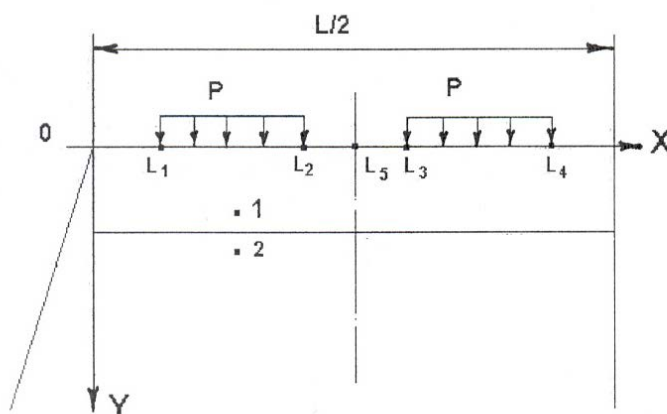


Рис. 2. Схема нагрузки на дорожное покрытие со стороны автотранспорта

При расчете напряженно-деформированного состояния насыпи использовался метод дискретных математических моделей (ДММ). Разностные схемы метода ДММ реализованы в программном комплексе TRENER, позволяющем решать широкий круг задач динамики грунтов и сооружений.

Результаты расчета поля уровней напряжений по толщине дорожной насыпи, обусловленных нагрузкой на дорожное покрытие со стороны автотранспорта, позволяют сделать следующие выводы и предположения:

1. Анализ поля уровней напряжений в насыпи для конструкций дорожной одежды II и III категорий автодорог показывает, что значения $\sigma_{RR} = \sigma_{ZZ} = P$. Это равенство, имеющее место, по видимому, вследствие большого количества тонких слоев разнородных материалов, позволяет утверждать, что геотекстильная прослойка, независимо от глубины ее расположения, будет испытывать только изотропные нагрузки, т.е. подвергаться деформации однородного сжатия.

2. Локальная особенность распределения напряжений, возникающих при давлении на дорожное покрытие колеса автомашины, просматривается:

- до глубины 0,7 – 0,8 м. для дороги III категории;

- до глубины 0,9 – 1,0 м. для дороги II категории.

3. Напряжения по ширине дорожной насыпи выравниваются, начиная:

- с линии уровня $y_i = 0,9$ м для дороги III категории;

- с линии уровня $y_i = 1,1$ м для дороги II категории.

4. Полученные в результате решения численные значения $P(x)$ для различных уровней возможного расположения прослойки, позволяют произвести оценку сжатия проектируемого геотекстильного полотна с учетом $\rho \cdot g \cdot u_i$ дорожной насыпи при условии сохранения общей пористости полотна в пределах $0,36 \div 0,46$.

Учитывая конструкцию дорожной одежды, а также, однозначное условие $(P_{\min}/P_{\max}) \geq 0,1$, геотекстильную прослойку целесообразно расположить:

- для автодороги III категории - на расстоянии не менее 0,53 м. от поверхности покрытия ($(P_{\min}/P_{\max}) = 0,11$, условия залегания - песок или мелкий пылеватый суглинок);
- для автодороги II категории - на расстоянии не менее 0,8 м от поверхности покрытия ($(P_{\min}/P_{\max}) = 0,10$, условия залегания - кондиционный песок).

При этом, расчетные характеристики полотна изменяются в диапазоне:

- максимальный модуль упругости $E_b = (0,44 - 0,45)$ МПа;

- минимальный модуль упругости $E_a = (0,16 - 0,17)$ МПа.;

- минимальная начальная пористость $\xi_0 = (0,65 - 0,67)$;

- параметры модели: $n = (1,7 - 2,0)$; $K = (0,5 - 0,6)$ МПа;

- минимальное отношение плотностей полотна и волокна $(\rho_{M0}/\rho_B) = (0,33 - 0,35)$.

Помимо дорожного строительства, нетканые материалы весьма эффективны для использования в качестве теплоизоляции различного рода конструкций и магистральных инженерных сооружений. Анализ методов определения теплофизических характеристик многофазных систем показывает, что моделирование в большинстве случаев проводится с позиции заранее известных формы и взаимодействия структурных элементов. Подобный подход неизбежно приводит к идеализированному представлению о теплообменных процессах, происходящих в нетканых полотнах т.к. практически невозможно учесть существующие в реальных условиях: контактную теплопроводность между элементами; градиент температуры на границе твердой и газовой фаз; формы и размеры пор.

В работах, посвященных изучению теплофизических свойств материалов [3,4] установлено, что с увеличением плотности возрастает и коэффициент теплопроводности текстильных изделий, что позволяет применить степенную функцию (1) в виде:

$$\lambda_{эф} = L \cdot \rho^m$$

где: $\lambda_{эф}$, ρ – эффективный коэффициент теплопроводности и плотность материала;

Однако, при аналитическом определении $\lambda_{эф}$ в зависимости от ρ не рационально использовать конкретные величины плотностей различных материалов, т.к. они варьируются в широком диапазоне значений. Наиболее целесообразно рассматривать изменение коэффициента теплопроводности в зависимости от плотностей материала ρ_M и составляющих его волокон ρ_B :

$$\lambda_{эф} = L \cdot (\rho_M/\rho_B)^m, \quad (9)$$

Запись $\lambda_{эф} = f(\rho_M/\rho_B)$ в виде (9) позволяет установить диапазон изменения аргумента. В случае, когда объемная пористость материала близка к 100 % величина $(\rho_M/\rho_B) \approx 0$ и, наоборот, при минимально возможной пористости значение (ρ_M/ρ_B) приближается к единице, т.е. $\rho_M \approx \rho_B$. Применительно к рассматриваемой задаче такие условия запишутся:

$$F(Y) = \begin{cases} 0, & \text{при } \rho_1 \leq (\rho_M/\rho_B) \leq \rho_2 \\ [(\rho_M/\rho_B) - \rho_2], & \text{при } (\rho_M/\rho_B) \geq \rho_2 \\ [\rho_1 - (\rho_M/\rho_B)], & \text{при } (\rho_M/\rho_B) \leq \rho_1 \end{cases}$$

где: ρ_1 , ρ_2 – величины отношения (ρ_M/ρ_B) соответственно при минимальном λ_1 и максимальном λ_2 значениях эффективного коэффициента теплопроводности, которые зависят от плотности структурных элементов (для нетканых материалов – вида волокон) толщины, пористости и среды, заполняющей его поровое пространство. Соответственно в уравнениях (4) – (7) следует считать:

$$x = (\rho_M/\rho_B) = \rho_1, \text{ при } F(x)_{\max} = \lambda_1; \quad x = (\rho_M/\rho_B) = \rho_2, \text{ при } F(x)_{\min} = \lambda_2.$$

Величины λ_1 и λ_2 определяются исходя из условий эксплуатации теплоизоляции. При этом численные значения эффективного коэффициента теплопроводности во многом будут зависеть от среды, заполняющей поровое пространство теплоизоляционного материала, т.к. теплопроводности воздуха, воды или льда (которые могут находиться в различных количественных соотношениях) весьма значительно отличаются между собой. Считая, что при максимальной пористости, т.е. $0 < (\rho_M/\rho_B) \leq 0,05$, $\lambda_{эф}$ равен коэффициенту теплопроводности среды, рассмотрены три варианта функционирования теплоизолятора.

I. В порах материала находится воздух (например, теплоизоляция холодильных установок, трубопроводов, находящихся во внутренних помещениях зданий и т.д.). Тогда при условии $0 < (\rho_M/\rho_B) \leq 0,05$ эффективный коэффициент теплопроводности теплоизолятора практически равен коэффициенту теплопроводности воздуха $\lambda_{воз} = 0,02442$ Вт/(м·К).

II. Материал эксплуатируется в условиях повышенной влажности (отсутствие герметичной водонепроницаемой защиты изоляции участков трубопроводов, утеплителей полов на нижних этажах зданий и т.д.). При том же условии, что пористость материала максимальна, его $\lambda_{эф}$ будет изменяться от $\lambda_1 = \lambda_{воз} = 0,02442$ Вт/(м·К) до $\lambda_2 = \lambda_{воды} = 0,5513$ Вт/(м·К);

III. Теплоизоляционный материал находится во влагонасыщенном состоянии и используется при температурах ниже 0°C (при отсутствии защиты изоляции нефтегазопроводов, скважин и сооружений от проникновения влаги в районах Крайнего Севера и Западной Сибири). В этом случае подход к определению оптимальных параметров теплоизоляции аналогичен двум предыдущим случаям, с той лишь разницей, что диапазон изменения $\lambda_{эф}$ будет находиться в пределах от $\lambda_1 = \lambda_{воды} = 0,5513$ Вт/(м·К) до $\lambda_2 = \lambda_{льда} = 2,250$ Вт/(м·К).

Значения $\lambda_{воз}$, $\lambda_{воды}$, $\lambda_{льда}$, приняты при атмосферном давлении $P = 1,01 \cdot 10^5$ Па и температуре $t = 0^\circ\text{C}$. В результате расчетов определены искомые величины L и m , позволяющие рассчитать оптимальное значение $\lambda_{эф}$ в зависимости от ρ_M/ρ_B для каждого из трех вышеперечисленных вариантов, а именно: I вариант: $\lambda_{эф} = 0,982(\rho_M/\rho_B)^{1,119}$; II вариант: $\lambda_{эф} = 0,502(\rho_M/\rho_B)^{0,0103}$; III вариант: $\lambda_{эф} = 0,248(\rho_M/\rho_B)^{-0,290}$

Следует отметить, что используя изложенный математический метод можно проектировать материалы лишь по одной, заданной изначально, характеристике (например, плотность или пористость) и справедлив для всех материалов, имеющих капиллярно-пористую или пористую структуру.

На основании проведенных исследований были разработаны, изготовлены и испытаны в лабораторных условиях геотекстильные и теплоизоляционные нетканые полотна, характеристики которых представлены в табл.2.

Таблица 2.

Фактические значения показателей нетканых полотен целевого назначения

Показатели	Геотекстильное нетканое полотно, предназначенное для дорожного строительства	Теплоизоляционное нетканое полотно
Состав сырья, %	Мононить ПП, 100%	Мононить ПЭ, 100%
Поверхностная плотность, г/м ²	655	512
Толщина при удельном давлении 2,0 кПа, мм	5,3	10,3
Разрывная нагрузка полоски 50×100 мм, Н (кН/м)		
подлине	885	711
по ширине	874	718

Коэффициент изотропности по прочности	1,03	1,06
Коэффициент изотропности по деформации	0,98	0,97

ЛИТЕРАТУРА

1. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Кн. 1. Пер. с англ.- М.: Мир, 1986.- 349 с.
2. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна / на основе регулирования водно-теплового режима/- М.: Транспорт, 1982.- 166 с.
3. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л.:Энергия, 1974, 264 с.
4. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды.- М.: Легкая индустрия, 1965.- 346 с.

УДК 677.024

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ СТРУКТУР ТКАНЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

**THE DEVELOPMENT OF NEW STRUCTURES OF FABRICS SPECIAL
THE PURPOSE AND TECHNOLOGIES OF THEIR PRODUCTION**

С.Д. Николаев
S. D. Nikolaev

Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)
The Kosygin State University of Russia, (Moscow)
e-mail: nsd0701@mail.ru

В работе кратко описаны работы по разработке новых материалов специального назначения и технологии их изготовления на современном технологическом оборудовании; ткани из арамидной пряжи, однослойные ткани из углеродных нитей, многослойные ткани из стеклянных и углеродных нитей, трехосные ткани, ткани для защиты от электромагнитного излучения, мотальные паковки для изготовления фильтров и композитов

Ключевые слова: ткани; углерод; кварц; стекло; многослойные ткани; мотальные паковки

In the work briefly described work on the development of new materials for special purposes and their manufacturing techniques with modern technological equipment; fabrics made of aramid yarn, a single ply of fabric of carbon fibers, multi-layer fabric of glass and carbon fibers, triaxial fabric, fabric for protection from electromagnetic radiation, winding bobbin for the manufacture of filters, and composites

Keywords: fabric; carbon; quartz; glass; multilayer cloth winding pas-forging

В последние годы на кафедре проектирования и художественного оформления текстильных изделий под руководством автора данной публикации проведены важные научные исследования, связанные с разработкой новых тканей специального назначения и технологий их изготовления на современном технологическом оборудовании.

Отметим результаты некоторых из них.

Разработка тканей из арамидных пряжи и нити

В диссертационных исследованиях Алексея И. Слугина [1] и Андрея И. Слугина [2] проведены исследования, связанные с разработкой новых тканей из арамидной пряжи, полученной из регенерированных волокон.

Проведенные исследования показали, что баллистическая стойкость тканей выработанных из регенерированных арамидных волокон лишь на 16,5% ниже