

**МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ***

METHODOLOGY OF ANALYTICAL RESEARCH OF FIBROUS MATERIALS

Ю.М. ТРЕЩАЛИН
YU.M. TRESCHALIN

(ООО "Научно-исследовательский технологический центр")

(R&D Scientific Center)

E-mail: center@souzlegprom.ru

Основываясь на представлении волокнистых материалов как системы, имеющей волокнистое строение и пористую структуру, дается обоснование применения методов механики сплошных сред и типологического анализа для комплексного исследования нетканых материалов. Учитывая то, что величины, характеризующие текстильные изделия, и в частности нетканые материалы, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми, целесообразно воспользоваться теорией подобия, представляя совокупность различных показателей в виде критериев и в дальнейшем критериальных уравнений.

Based on the representation of fibrous materials as a system with a fibrous structure and a porous structure, the substantiation of the application of methods of mechanics of continuous media and typological analysis for the complex study of nonwoven materials is given. Given that the values characterizing textiles and, in particular, nonwovens, are interrelated and interdependent, it is advisable to use the similarity theory, representing a set of different indicators in the form of criteria and, in the future, criterion equations.

Ключевые слова: волокнистый материал, нетканое полотно, сплошная среда, элементарный объем, типология, теория подобия, критерий, пористость, плотность.

Keywords: fibrous material, nonwoven fabric, continuous medium, elementary volume, typology, similarity theory, criterion, porosity, density.

Отечественный рынок текстильных материалов выдвигает все более высокие требования к качеству изделий, что в свою очередь заставляет разработчиков и производителей на стадии проектирования научно обоснованно подходить к прогнозированию и оценке свойств выпускаемой продукции. При этом определяющими параметрами являются их целевое назначение и эксплуатационные показатели.

Применение существующих теоретических методов определения характеристик волокнистых материалов, достаточно подробное описание которых дается в [1], [2], осложняется разнообразием типов структуры, которые зависят от способов изготовления (ткань, трикотаж, нетканый материал, плетеные изделия). Немаловажное значение имеют форма, размеры, физико-механические свойства и взаимодействие

* По материалам пленарного доклада на XXI Международном научно-практическом форуме "SMARTEX-2018" (г. Иваново, ИВГПУ, 2018).

(сцепление) структурных элементов (волокон, нити), а также плотность их расположения в произвольно взятом макрообъеме. В связи с этим математическое и геометрическое моделирование, в частности нетканых полотен, представляет известные трудности, что связано в основном с извилистостью волокон и неупорядоченным расположением их в материале.

Поэтому для анализа процессов тепло- и звукопроводности, фильтрации, самопроизвольного впитывания, упругопластических деформаций широко применяются идеализированные модели, посредством которых осуществляется взаимосвязь между физическими особенностями рассматриваемых явлений и геометрическими размерами и формой структурных элементов. При этом представление твердой фазы текстильных материалов в виде многогранников, сферических или цилиндрических элементов сокращает область применения таких моделей и имеет ряд недостатков, к которым следует отнести: одинаковый размер структурных элементов; постоянство степени заполнения порового пространства при заданном расположении элементов независимо от их размера.

Как следствие, подобные модели не являются достаточно эффективными в связи с наличием грубых допущений, которые заключаются в возможности либо изначально заданного контакта, либо полного его отсутствия между волокнами (нитьями). Таким образом, теоретические методы, основанные на микроуровневом моделировании, не могут быть приемлемыми при исследовании физико-механических, гидродинамических и теплофизических процессов, происходящих в волокнистых структурах.

В связи с этим, в частности нетканые материалы, представляется целесообразным рассматривать как сплошные среды, имеющие волокнистое строение и пористую структуру. Причем под пористостью следует понимать не совокупность отдельных пустот, замкнутых или соединенных между собой, а макрообъем вещества (например, воздуха), в котором находится большее или меньшее количество волокон (мононитей), расположенных регулярно

или хаотически. Учитывая реальное строение, осуществлять экспериментальное определение размеров микропор или радиусов капилляров в толще полотен, как это происходит в настоящее время, представляется весьма сомнительным, так как отдельных явно выраженных пор и капилляров, в общепринятом понимании этого термина, в нетканых материалах не наблюдается.

Гипотеза сплошности связана с понятием материального континуума, что дает возможность считать непрерывным распределение в материале основных физических величин (плотность, коэффициент теплопроводности, пористость и т.д.), пренебрегая взаимодействием отдельных волокон. Так как сплошная среда (материальный континуум) есть некоторая виртуальная субстанция, непрерывно заполняющая часть пространства, описание ее свойств предполагает задание величин в каждой точке какой-либо области пространства. При этом пространство, в котором рассматриваются процессы, происходящие в сплошных средах, является евклидовым. Подобный подход позволяет использовать аппарат непрерывных функций, дифференциальное и интегральное исчисление, что особенно актуально для изучения напряженно-деформированного состояния нетканых полотен, имеющих неориентированное расположение структурных элементов.

Термин "сплошная среда" обуславливает однородность свойств на всем ее протяжении. Проведенные эксперименты показали, что различные по сырьевому составу и способу производства нетканые полотна имеют практически равные значения коэффициента изотропности по прочности и деформации, что позволяет констатировать наличие изотропных свойств у исследуемых материалов. Поэтому предполагается, что все элементы идентичны по своим характеристикам и равномерно распределены по всему объему. Таким образом, при исследовании волокнистого материала достаточно изучить его элементарный объем – часть среды, ничтожно малую по сравнению с размерами материала и вместе с тем достаточно значительную по сравнению с характерным (поперечным) размером во-

локна и содержащую настолько большое число волокон, что можно применять статистическое осреднение.

В [3], [4] указывается, что для решения большинства задач механики сплошных сред применяются строгие математические приемы интегрирования основных дифференциальных уравнений при установленной системе граничных и начальных условий. Однако большая сложность и недостаточная изученность многих явлений вынуждают не довольствоваться применением только методов теоретической механики и математической физики, но и широко пользоваться всевозможными эмпирическими приемами и так называемыми "полуэмпирическими" зависимостями, в построении которых большую роль играют результаты экспериментов. В связи с этим с методологической позиции представляется целесообразным применять типологический анализ, предполагающий использование различных логико-математических методов и моделей. Такой подход открывает путь к построению абстрактных типологий, в которых тип понимается как сложная конструкция, размещенная в многомерном пространстве. Необходимо отметить, что типология, как метод научного познания, используется в целях сравнительного изучения существенных признаков, связей, функций, отношений и уровней организации объектов [5...7].

Вышеизложенные рассуждения и доводы применительно к аналитическому изучению волокнистых материалов позволяют предложить следующий ряд определений.

Нетканый материал – сплошная среда, имеющая волокнистое строение и пористую структуру.

Элементарный объем нетканого материала – часть сплошной среды, ничтожно малая, по сравнению с размерами материала, но достаточно значительная по сравнению с характерным (поперечным) размером единичного волокна (мононити) и содержащая настолько большое число волокон (мононитей), что можно применять статистическое осреднение.

Нетканое полотно – пористая сплошная среда, структурными элементами ко-

торой являются скрепленные между собой механическим, физико-химическим, термическим или комбинированным способами волокна или мононити.

Волокнистый теплоизолятор – высокопористый нетканый материал, предназначенный для теплоизоляции одежды, промышленных, строительных и жилищно-бытовых объектов.

Пористость – совокупность промежутков между структурными элементами сплошной среды, заполненных веществом, в котором находится исследуемый материал, и определяемая соотношением объемных плотностей материала и составляющих его волокон.

Единичная пора – микрообъем среды, либо ограниченный (замкнутая пора), либо соединяющийся несколькими аналогичными, близко расположенными микрообъемами.

Капилляр (от лат. capillaris – волосной) – полая трубка произвольного поперечного сечения с очень узким внутренним каналом.

Радиус условного капилляра – геометрическая характеристика сплошной среды, зависящая от пористости и определяющих линейных размеров структурных элементов (для текстильных материалов – диаметр волокна или мононити). Понятие условного капилляра позволяет применить существующие формулы, справедливые для капиллярных и капиллярно-пористых тел, для приближенного расчета высоты самопроизвольного подъема жидкости в пористых средах.

Показатель (коэффициент) гидравлической проницаемости – параметр сплошной среды, характеризующий ее способность пропускать жидкость при перепаде давления и зависящий от пористости (капилляров для капиллярно-пористых тел) и геометрических размеров структурных элементов.

Эффективный коэффициент теплопроводности $\lambda_{эф}$ – параметр, характеризующий интенсивность прохождения тепла в сплошных средах, имеющих капиллярно-пористое или пористое строение, учитывающий молекулярный теплоперенос в структурных эле-

ментах (волокнах, моноситах), молекулярный и конвективный теплообмен между частицами вещества, находящегося в порах, и долю тепловой энергии, передаваемой излучением.

Типология, опирающаяся на понимание объекта исследования как системы, определяет закономерности, присущие многообразию нетканых материалов, и виды уравнений, адекватно описывающих интересующие процессы и явления, что в свою очередь дает возможность прогнозировать характеристики и свойства рассматриваемых текстильных изделий. Выявление наиболее значимых параметров и системообразующих связей, а также представление материала как сплошной среды способствуют разработке критериев подобия и построению критериальных зависимостей.

В общем случае методы теории подобия широко используются для всестороннего изучения различных сред, так как системные исследования предполагают проведение эксперимента, что связано с измерением и обработкой статистических данных, а также повышением точности и достоверности оценок вычисляемых параметров волокнистых материалов. Оценка подобных процессов или явлений проводится посредством критериев подобия, представляющих собой безразмерные функционалы от параметров объекта. При этом критерии подобия одинаковы у подобных явлений [8]. Тогда результаты исследования конкретного материала могут быть распространены на изделия, имеющие аналогичные особенности технологии производства, волокнистый состав, структуру и свойства. Объединение физических параметров в безразмерные критерии является специфической особенностью рассматриваемого метода исследования сплошных сред. Необходимость разработки критериев заключается в том, что величины, характеризующие рассматриваемые объекты и процессы, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми, вследствие чего можно воспользоваться математическим аппаратом, представляя совокупность различных показателей в виде уравнений. Кроме того, анализ преобразования размерностей позволяет сделать вывод о

том, что всякое соотношение между размерными величинами можно сформулировать в виде безразмерного показателя.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый комплексный подход к изучению нетканых материалов позволяет прогнозировать их параметры и свойства посредством математического моделирования с учетом разнообразия волокнистого состава, способа изготовления и условий перспективной эксплуатации. И, несмотря на то, что теоретические исследования проводятся с определенными приближениями, дальнейшее развитие аналитических методов расчета характеристик волокнистых материалов позволит сократить затраты на проведение длительных, трудоемких и дорогостоящих экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трещалин М.Ю., Трещалин Ю.М., Киселев М.В., Мухамеджанов Г.К., Трещалина А.В. Проектирование, производство и методы оценки качества нетканых материалов – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Московск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2017.
2. Трещалин Ю.М. Анализ структуры и свойств нетканых материалов. – М.: Изд-во "БОС", 2016.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. – Т. 1. – М.: Наука, 1970.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М., 1960.
5. Электронный ресурс. – Режим доступа: vocabulary.ru/Термины/типология.html
6. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
7. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://ponjatija.ru/node/12893>
8. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа, 1976.

REFERENCES

1. Treshalin M. Yu., Treshalin Yu. M., Kiselev M. V., Muhamedzhanov G. K., Treshalina A. V. Proektirovanie, proizvodstvo i metody ocenki kachestva netkanyh materialov – Izd. 3-e, pererab. i dop. – M.: Moskovsk. gos. un-t im. M. V. Lomonosova, 2017.
2. Treshalin Yu. M. Analiz struktury i svojstv netkanyh materialov. – M.: Izd-vo "BOS", 2016.
3. Sedov L. I. Mehanika splushnoj sredy. – T. 1. – M.: Nauka, 1970.
4. Lojcyanskij L. G. Mehanika zhidkosti i gaza. – M., 1960.

5. Elektronnyj resurs. – Rezhim dostupa: [vocabulary.ru» Terminy»tipologija.html](http://vocabulary.ru/Terminy/typologija.html)

6. Elektronnyj resurs. – Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

7. Elektronnyj resurs. – Rezhim dostupa: <http://ponjatija.ru/node/12893>

8. Venikov V.A. Teoriya podobiya i modelirovaniya. – M.: Vysshaya shkola, 1976.

Рекомендована Ученым советом ООО "Научно-исследовательский технологический центр". Поступила 29.06.18.
