

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ОДНОСЛОЙНЫХ ВСПЕНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА «НЕОПРЕН»

Амон Саипов Султанович

*Центр развития нанотехнологий при Национальном Университете
Республики Узбекистан*

Аннотация: В статье представлены результаты расчетов теплопроводности однослойных вспененных материалов типа «неопрен». Систематизированы методики определения теплопроводности вспененного неопрена, которые часто выполнялись при давлении, а окружающая среда для исследований использовалась жидкая. Установлены геометрические параметры пор на примере марки «NATIONAL». Установленная зависимость является инструментом для управления целевым уровнем необходимой теплоизоляции проектируемого материала. Предложена расчетная формула, описывающая зависимость теплопроводности неопрена.

Ключевые слова : неопрен, пористость, теплопроводность, каучук

Установленная зависимость влияния параметров пористости однородных однослойных вспененных материалов на их теплопроводность является инструментом для управления целевым уровнем необходимой теплоизоляции проектируемого швейного изделия еще на этапе технологического формирования структуры основных материалов за счет получения требуемых пор и соответствующей требуемой пористости. Полученные результаты являются важным звеном в развитии технологий проектирования материалов и изделий текстильной и легкой промышленности для рынка подводного снаряжения.

Зависимость теплопроводности от пористости неопрена, приведенная на рисунке 1, позволяет сделать некоторые представления о процессе теплопередачи в системе «синтетический каучук - воздух» (неопрен). Для этого основываясь на некоторой модели системы, необходимо получить формулу зависимости теплопроводности от пористости.

Существует много моделей, которые можно использовать для оценки эффективной теплопроводности вспененных материалов на основе теплопроводности газа и компонента из чистого каучука, а также пористости и формы газовых ячеек. Форма газовой ячейки оказывает более существенное влияние на тепловые свойства твердого ячеистого элемента, чем размер газовой ячейки.

Хотя геометрия газовой ячейки необходима для расчета теплопроводности вспененных материалов, можно рассмотреть две границы, которые не зависят от геометрии газовой ячейки [7]. Верхнюю границу коэффициента теплопроводности можно получить, предположив, что газовая и твердая фазы расположены перпендикулярно потоку тепла. Нижняя граница может быть получена, если предположить, что слои каучука и газа расположены параллельно потоку тепла. При согласии значений теплопроводности, вычисленной по формуле с приведенными на рисунке 2, можно говорить, что предложенная модель соответствует действительности.

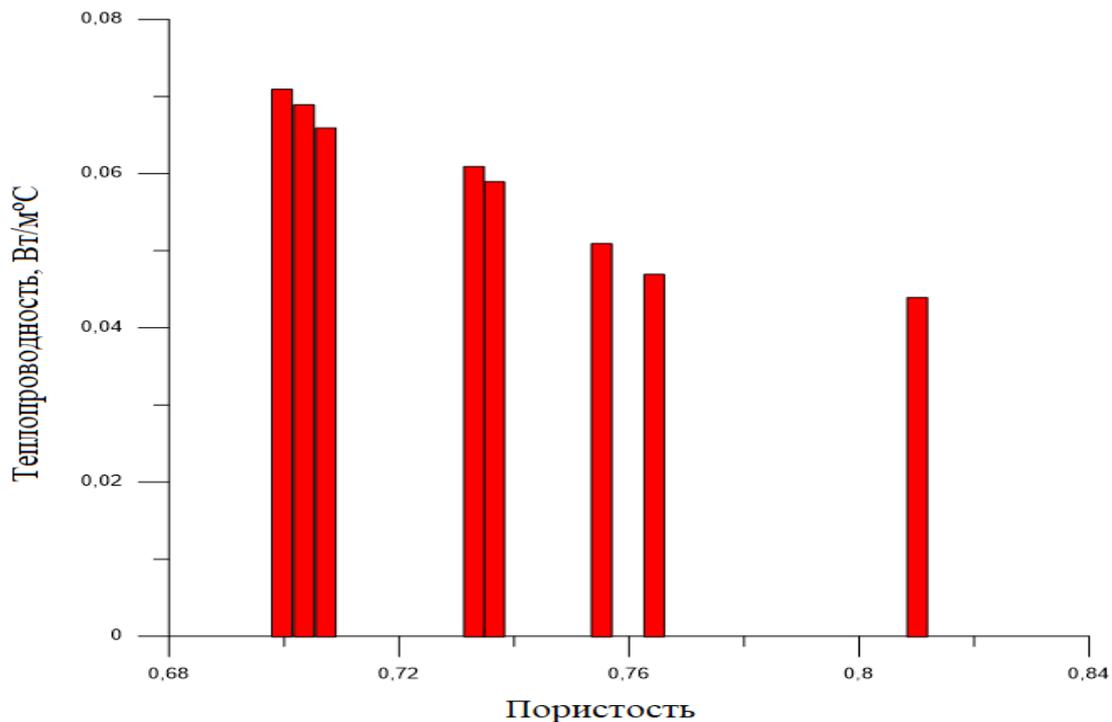


Рисунок 1. Влияние пористости на теплопроводность однослойных вспененных материалов типа «неопрен».

Обширная литература по теплопроводности различных моделей пеноматериалов приведена в [7]. Эти модели рассчитывают эффективную теплопроводность материала через теплопроводности газа и синтетического каучука.

Так как газ и синтетический каучук не взаимодействуют, то материал можно рассматривать как смесь. Удельная теплоёмкость смеси равна сумме теплоёмкостей компонент, умноженных на соответствующие массовые доли компонент. Аналогично можно записать для теплопроводности смеси

$$\lambda = v_1\lambda_1 + v_2\lambda_2, \quad (1)$$

где λ_1, λ_2 - теплопроводности компонент, v_1, v_2 – соответствующие объёмные доли компонент. В формуле (1) прослеживается формальная аналогия между теплопроводностью и электропроводностью. Здесь такая же ситуация, как и при параллельном соединении проводников, когда результирующая проводимость равна сумме проводимостей проводников. Это аналогия подробно обсуждается в монографии [17].

Таблица 1. Сравнение расчетных коэффициентов теплопроводности, вычисленных по формуле (1) с экспериментом (рис.2).

Таблица 1.

ϕ	λ эксп	λ расч.	η %
0.700	0.071	0.062	-12.1%
0.708	0.066	0.066	-7.6%
0.733	0.063	0.063	-7.9%
0.738	0.059	0.058	-1.7%
0.756	0.051	0.055	7.8%
0.764	0.047	0.054	14.9%
0.810	0.044	0.049	11.4%

В таблице 1. ϕ - пористость, $\eta = [(\lambda_{\text{эксп}} - \lambda_{\text{расч}}) / \lambda_{\text{эксп}}] \times 100\%$ обозначено отклонение расчетных величин теплопроводности от экспериментальных значений в процентах. Среднее отклонение составляет 7.1%.

В работе [18] предложен метод конструирования формулы для оценок эффективной теплопроводности композиций на основе полимерных связующих (силикон, полиуретан, эпоксидная смола) с порошковыми теплопроводными диэлектрическими наполнителями (кварц, корунд, нитрид алюминия, карбид кремния и их парные комбинации). Метод основан на обобщении экспериментальных данных, расчётно-экспериментальном определении эффективной теплопроводности агрегатов наполнителей и поиске обобщенного эмпирического коэффициента в формуле, аналогичной формуле Бургера для электростатики [17]. Там приведена аналогия между основными законами электропроводности и теплопроводности записана формула Бургера для диэлектрической проводимости сферических частиц. Аналог формулы Бургера для теплопроводности обсуждается в статье [18], и имеет вид

$$\lambda = \frac{V_{\text{св}} \lambda_{\text{св}} + V_{\text{н}} \lambda_{\text{н}}}{V_{\text{св}} + V_{\text{н}}} \quad (2)$$

где λ , $\lambda_{св}$, λ_n — теплопроводность материала, связующего и наполнителя соответственно;

$V_{св}$, V_n — объемное содержание связующего и наполнителя в материале соответственно; C — эмпирический коэффициент, определяемый из эксперимента. Отметим, что формула (1), полученная из термодинамических соображений, при $v_1 = V_1 / V$, $v_2 = V_2 / V$ и $V = V_1 + V_2$ переходит в формулу (2) при $C = 1$. Таким образом, формула Бургера (2), получена на основе положений термодинамики смеси, эмпирический коэффициент введен для получения согласия с экспериментом, как подгоночный параметр.

В работе [18] $\lambda_{св} < \lambda_n$, в нашем случае $\lambda_{св} > \lambda_n$. Этот факт необходимо учитывать при определении численного значения «С» в формуле (2).

Формула (2) позволяет вычислить эффективную теплопроводность неопрена. Расчёты по формуле (2) приведены в таблице 3

Таблица 3. Сравнение расчетных коэффициентов теплопроводности, вычисленных по формуле (2) с экспериментом (рис.2).

φ	$\lambda_{эксп} C$		$\lambda_{фор.2}$	$\eta\%$
0.700	0.071	1.389	0.071	0
0.704	0.069	1.376	0.070	1.4
0.708	0.066	1.352	0.069	4.5
0.733	0.063	1.205	0.063	0
0.738	0.059	1.176	0.061	3.4
0.756	0.051	0.884	0.053	3.9
0.764	0.047	0.830	0.051	6.4
0.810	0.044	0.752	0.044	0

Среднее отклонение теоретических данных от эксперимента $\eta = 2.4\%$.

Несмотря на некоторое совпадение теории и экспериментальных данных, ни одна модель не может быть выбрана из-за того, что все они не в состоянии моделировать сложную геометрию газовых ячеек в пенистом неопрене. Влияние геометрии газовых ячеек на теплопроводность связано с возрастанием поверхности контакта между неопреновым каучуком и газом. Этот рост поверхности контакта должен учитывать эмпирический коэффициент «С». Линейная интерполяция, применённая при определении значений «С», не достаточно хорошо описывает изменение «С» с изменением пористости (давления). Можно предположить, зависимость «С» от пористости (давления) является нелинейной. Кроме того, теплопроводность неопренового каучука

варьируется до такой степени, что трудно выбрать правильное значение. Поэтому необходимо измерять теплопроводность пенного неопрена под гидростатическим давлением прямыми экспериментальными средствами. Значения коэффициента c в формуле (1) для различных двухфазных композиций на основе силикона СКТН марки А, полиуретана Сурэл-7 и эпоксидной смолы ЭД-20 с одним из наполнителей SiO_2 , Al_2O_3 , AlN , SiC приведены в таблице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков В. С., Сороко С. И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. – СПб: Политехника-принт, 2017. – 476 с.
2. Стенькина М.П., Черунова И.В., Сирота Е.Н. Исследование технологии локального обеспечения терморегуляции человека в плотнооблегающих швейных изделиях. - Современные наукоемкие технологии, 2014. - № 4. - С.121-123.
3. Сирота Е.Н., Черунова И.В. Исследование и учет свойств вспененных материалов одежды для эксплуатации в условиях высокого растяжения. – Вестник технологического университета, 2016. – Том 19. - № 18 . – С.85-87.
4. Райц М.В., Бызова Е.В. "Неопрен". Сравнительный анализ материалов, представленных на российском рынке. - СПбГУПТИД: Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна , г. Санкт-Петербург, 2017. - №3. – С. 42-45.
5. Ghorbani E., Nasani H., Rafeian H., Hashemibeni B. Analysis of the Thermal Comfort and Impact Properties of the Neoprene-Spacer Fabric Structure for Preventing the Joint Damages. - International Journal of Preventive Medicine, 2013. - Vol 4. - No 7. – PP.761-766.
6. Лядова А.С., Панкевич Д.К. Подбор пакета материалов для изготовления водозащитной спортивной экипировки / Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и лёгкой промышленности» 21-22 ноября 2017 года. – Витебск, 2017. – С.146-149.
7. Bardy E., Mollendorf J., Pendergast D. Thermal conductivity and compressive strain of foam neoprene insulation under hydrostatic pressure . - JOURNAL OF PHYSICS: APPLIED PHYSICS, 2005. - №38. – PP. 3832–3840 . - doi:10.1088/0022-3727/38/20/009.
8. Norton M.P., Chan C.Y. Insulation properties of composite cell foamed materials suitable for wet suits. - Applied Energy, 1982. - №12. – PP. 159–76.
9. West P.B. Empirical evaluation of diving wet suit material heat transfer and thermal conductivity. - Heat Transfer Engineering, 1993. - №14. – PP.74–80.
10. Monji K. Changes in insulation of wetsuits during repetitive exposure to pressure. - Undersea Biomedical Research, 1989 - № 16. – PP.313–319.

11. DIN EN 14225-1:2005-07 Diving suits - Part 1: Wet suits - Requirements and test methods. – Standart: Germany, 2005-07.
12. Naebea M., Robinsb N., Wanga X., Collins P. Assessment of performance properties of wetsuits . - Journal of Sports Engineering and Technology, 2013. - № 227. – PP. 255-264.
13. Осипова, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена – М.-Л.: Энергия, 1964. –с. 265.
14. ГОСТ 29088-91 Материалы полимерные ячеистые эластичные. Определение условной прочности и относительного удлинения при разрыве. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 3 с.
15. ГОСТ 25015-2017 Пластмассы ячеистые и пенорезины. Метод измерения линейных размеров. - М.: Стандартиформ, 2018. – 8 с.
16. ИТП-МГ4.03 «Поток». Руководство по эксплуатации. Технические характеристики. СКБ «Стройприбор», Челябинск, 2017. – URL: www.lab-nk.ru/uploads/documentations/2068/files/8803/itp-mg4_potok.pdf .
17. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Физматгиз, 1962. с. 51.
18. Михеев В. А., Сулаберидзе В. Ш., Мушенко В. Д. Линейная модель теплопроводности дисперсных материалов на основе полимерных связующих // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 3. С. 275—279.