

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ
НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ОДНОСЛОЙНЫХ
ВСПЕНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА "НЕОПРЕН"**

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF POROSITY
ON THERMAL CONDUCTIVITY OF SINGLE-LAYER
FOAMED MATERIALS OF THE "NEOPRENE" TYPE**

*И.В. ЧЕРУНОВА¹, Е.Н. СИРОТА¹, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ^{2,3},
Г.И. МАХМУДОВА⁴, З.У. ЗУФАРОВА², П.В. ЧЕРУНОВ¹, З.А. САБИРОВА²*

*I.V. CHERUNOVA¹, E.N. SIROTA¹, S.SH. TASHPULATOV^{2,3},
G.I. MAKHMUDOVA⁴, Z.U. ZUFAROVA²,
P.V. CHERUNOV¹, Z.A. SABIROVA²*

¹Донской государственный технический университет, г.Шахты, Российская Федерация,
²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,
³Джизакский политехнический институт, Республика Узбекистан,
⁴Университет Дружбы народов имени академика А.Куатбекова, Республика Казахстан)

(¹Don State Technical University, Shakhty, Russian Federation,
²Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
³Jizzakh Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan,
⁴University of Friendship of Peoples after Academician A.Kuatbekov, Republic of Kazakhstan)

E-mail: i_sch@mail.ru, ssht61@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния пористости на теплопроводность однослойных вспененных материалов типа "неопрен". Для этого выполнена оценка и определены температурные условия соленых и пресноводных водоемов как охлаждающие относительно физиологической нормы. Систематизированы методики определения теплопроводности вспененного неопрена, которые часто выполнялись при давлении, а окружающая среда для исследований использовалась жидкая. Проведены исследования микроструктуры неопрена. Установлены геометрические параметры пор на примере марки "NATIONAL". Проведены исследования и установлена зависимость теплопроводности современных материалов типа "неопрен" от пористости (без приложения давления к поверхности вспененных материалов, чтобы не деформировать их исходную пористость). Установленная зависимость является инструментом для управления целевым уровнем необходимой теплоизоляции проектируемого швейного изделия.

The article presents the results of a study of the influence of porosity on the thermal conductivity of single-layer foam materials of the "neoprene" type. For this, an assessment was made and the temperature conditions of salt and freshwater reservoirs were determined as cooling relative to the physiological norm. Methods for determining the thermal conductivity of foamed neoprene, which were often carried out at pressure, and the environment for research was used as a liquid, are systematized. Studies of the microstructure of neoprene have been carried out. The geometric parameters of the pores were determined using the example of the "NATIONAL" brand. Research has been carried out and the dependence of the thermal

conductivity of modern materials of the "neoprene" type on porosity has been established (without applying pressure to the surface of the foam materials in order not to deform their initial porosity). The established dependence is a tool for managing the target level of the required thermal insulation of the designed garment.

Ключевые слова: материал, пористый неопрен, пористая структура, синтетический хлоропреновый каучук, тепловой поток, образец неопрена, сезон погружений, окружающая среда, свойство, теплопроводность.

Keywords: material, porous neoprene, porous structure, synthetic chloroprene rubber, heat flux, neoprene sample, diving season, environment, property, thermal conductivity.

Подводные погружения предполагают использование человеком специальной одежды (гидрокостюм). Важные функции, которые должна выполнять такая одежда, и сложные многофакторные условия ее эксплуатации определяют высокие требования к материалам для ее изготовления. Одним из факторов, определяющих характеристики применяемых материалов, является температура среды эксплуатации. Для гидрокостюмов – это водная среда различных водоемов и глубин.

Для подводных погружений представляют интерес водоемы всех типов, включая моря, озера и реки. С целью оценки водных условий для различных видов дайвинга были изучены параметры температуры воды соленых и пресноводных водоемов во время сезонных погружений. Это позволило установить, что средние значения температуры воды для соленых водоемов в сезон погружений колеблются в интервале +8...+29°C, для пресных водоемов в зависимости от сезона погружений – в интервале +9...+25°C в период весна-осень и +1...+10°C в зимний период. То есть весь диапазон температур для пребывания человека в воде относится к пониженным температурам относительно нормальных физиологических условий [1]. Таким образом, можно определить охлаждение дайвера водой как один из первичных факторов, который требует соответствующей защиты человека, во многом определяемой свойствами материалов основной оболочки. Наибольшая степень зависимости тепловой безопасности человека под водой относится к гидрокостюмам так называемого

"мокрого" типа [2], когда поверхность тела человека покрыта почти полностью одним слоем основного материала, определяющим всю теплозащиту объекта за счет собственных свойств [3].

Основным типом специальных материалов для гидрокостюмов являются материалы класса – синтетический хлоропреновый каучук. Наиболее популярным типом такого материала, применяемого в производстве гидрокостюмов, является "неопрен" [4]. Однако расширяющийся ассортимент современных материалов такого типа для создания эффективной подводной одежды требует знаний об их свойствах, формируемых особой внутренней структурой.

Исследованием условий применения материалов типа "неопрен" для производства одежды занимаются как в России, так и за рубежом [5]. Авторы [6] в целях формирования пакета материалов для водозащитной спортивной одежды для двух образцов неопрена установили параметры влагопоглощения. В работах [3], [7] определены для некоторых материалов аналогичного типа характеристики устойчивости к разрывным нагрузкам, которые определяются их растяжимостью. Однако в системе обеспечения теплозащиты человека основные свойства, требующие особого внимания – теплофизические, среди которых теплопроводность имеет основное значение.

Для определения теплопроводности материалов типа "неопрен" используют методики, которые были изучены и систематизированы в табл. 1.

Таблица 1

Источник описания	Характеристики
[9]	Использование "испытательной установки под давлением". Измерения теплопроводности в гликолевой среде. Апробация методики на образцах толщиной 0,005...0,012 м
[10]	Барокамера для измерения теплопроводности. Градиент температур обеспечен за счет нагревателя и ледяной воды. Анализ основан на изменении объема образца при повышении давления. Апробация методики на образцах толщиной 0,003...0,006 мм
[11]	Градиент температуры создается за счет разницы температуры воды в резервуаре и воздуха за пределами резервуара. Датчик потока тепла крепится к образцу и измеряет тепловой поток
[8]	Измерение теплопроводности при гидростатическом сжатии в барокамере. Для создания градиента используются нагревательная и охлаждающая пластины. Измерение теплового потока с помощью измерителя теплового потока, помещенного между образцом и горячей пластиной. Показатели теплопроводности имеют цифровую форму представления. Апробация методики на образцах толщиной 0,005...0,012 м
DIN EN 14225-1:2005	Измерение теплопотерь в условиях с ограниченным движением воды. Измерение под водой при давлении осуществляется с помощью устройства с тепловой системой. Для измерения среднего значения температуры воды с двух сторон образца при сжатии используются тепловые датчики температуры (10 шт.)
[12]	Для определения теплопроводности используют холодную и горячую пластины под давлением. Контролируется усредненный тепловой поток в пяти точках. Апробация методики на образцах толщиной неопрена в соответствии с толщиной разных участков гидро

Рассмотренные методы определения теплопроводности вспененного неопрена выполнялись при давлении, а окружающая среда, в которой находились образцы неопрена, чаще жидкая. При этом данные об исходных свойствах неопренов в сухом состоянии остаются актуальными.

Базовые принципы методик экспериментального исследования теплопроводности неопрена отражены в [8]. Авторы исследовали существующие методы оценки теплопроводности вспененных материалов на основе теплопроводности газа и чистого каучукового компонента, а также пористости и формы клеток расчетным методом. Выполненные измерения теплопроводности пористого неопрена авторами [8] выполнялись при гидростатическом сжатии 1,3

МПа, после того как образец неопрена помещался между двумя пластинами. Установленные изменения теплопроводности пористого неопрена отобранных образцов продемонстрировали, что с увеличением гидростатического давления теплопроводность двух изученных материалов увеличивалась. Эти свойства определяются особенностями структуры неопренов. Пористость – одна из основных.

С целью исследования пористости современных вспененных материалов и ее геометрических параметров был систематизирован их ассортимент. В результате отобраны образцы высокой категории качества с точки зрения производителей одежды [3], представленные в табл. 2 (характеристики современных однослойных материалов типа "неопрен").

Таблица 2

Номер образцов	Марка неопрена	Толщина, м	Пористость, %
1	DAIWABO	0,00679	70,4816
2	NATIONAL	0,00713	74,1089
3	YAMAMOTO#38	0,00749	71,2305
4	DAIWABO	0,00862	70,8605
5	NATIONAL	0,00916	73,7639
6	YAMAMOTO#39	0,00964	76,8438
7	YAMAMOTO#38	0,01021	75,9460
8	YAMAMOTO#45	0,01111	81,3401

Толщина исследуемых образцов составила от 0,0068 до 0,01111 м. Общими характеристиками представленных образцов материалов является то, что они однослойные и имеют типичную для всех представленных вариантов структуру пор. Вспененная структура таких материалов является основой для формирования теплоизоляционных свойств, поэтому были проведены их микроструктурные исследования, результаты которых представлены на рис.1 (пористая структура однослойного вспененного материала – синтетический хлоропреновый каучук (неопрен) на примере марки "NATIONAL" при 500-кратном увеличении).

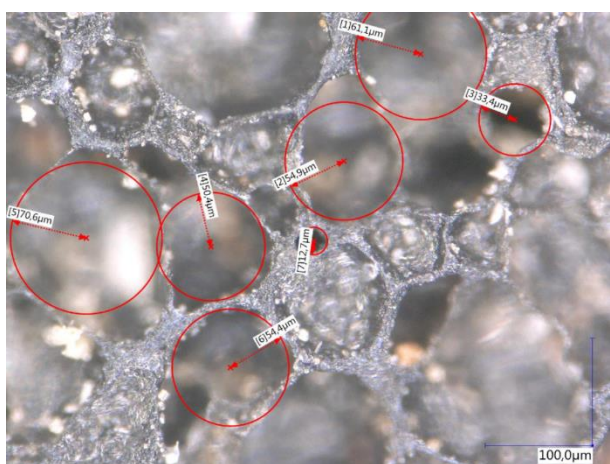


Рис. 1

Геометрический анализ типа и параметров пор в структуре объема неопрена позволил установить, что усредненные значения их диаметра имеют неконцентрированный диапазон и могут варьироваться по объему от 12 до 70 мкм и более. Результаты определения пористости исследуемых материалов представлены в табл. 1.

Влияние такой пористой структуры на теплопроводность современных материалов представляет большое значение, так как является основой для проектирования как самих гидрокостюмов, так и для создания материалов для них еще на этапе формирования параметров их пены. Поэтому проведенные исследования выполнены без приложения давления к поверхности вспененных материалов, чтобы не деформировать их исходную пористость.

Исследования проводили согласно методическим и техническим требованиям [8], [13] и условиям подготовки образцов по ГОСТ 29088–91 и 25015–2017. Для исследований использована экспериментальная установка, основанная на измерителе тепловых характеристик материалов и объектов ИТП-МГ4.03 "Поток". Температура окружающей среды в помещении во время проведения исследований составляла $23 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность $50 \pm 5\%$. Перед экспериментальными исследованиями образцы материалов с целью получения сухого образца выдерживались в эксикаторе. Далее принцип работы прибора по установлению теплопроводности вспененных материалов основан на измерении контактных температурных датчиков теплового потока и датчиков температуры. Градиент температур для измерения теплового потока через слой исследуемого материала составлял не менее 30°C . Результаты исследований представлены на рис. 2 (влияние пористости на теплопроводность однослойных вспененных материалов типа "неопрен").

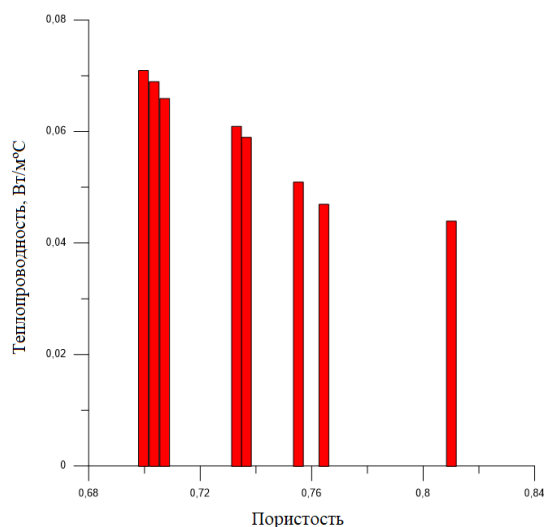


Рис. 2

ВЫВОДЫ

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков В.С., Сороко С.И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. – СПб: Политехника-принт, 2017.
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 ун-та. – 2016. Т. 19, № 18. С.85...87.
4. Райц М.В., Бызова Е.В. "Неопрен". Сравнительный анализ материалов, представленных на российском рынке // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского гос. ун-та технологии и дизайна. – 2017, №3. С. 42...45.
5. Ghorbani E., Hasani 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. – Vol. 4, № 7, 2013. P.761...766.
6. Лядова А.С., Панкевич Д.К. Подбор пакета материалов для изготовления водозащитной спортивной экипировки // Мат. Междунар. научн.-технич. конф.: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, 21-22 ноября 2017 года. – Витебск, 2017. С.146...149.
7. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Выбор статистических моделей и анализ сводных характеристик выборки для показателей качества саморегулируемых нетканых изоляционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №6. С. 67...73.
8. 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. P. 3832...3840. - doi:10.1088/0022-3727/38/20/009.
9. Norton M.P., Chan C.Y. Insulation properties of composite cell foamed materials suitable for wet suits // Applied Energy. – №12, 1982. P. 159...176.
10. West P.B. Empirical evaluation of diving wet suit material heat transfer and thermal conductivity

// Heat Transfer Engineering. – №14, 1993. P.74...80.

11. Monji K. Changes in insulation of wetsuits during repetitive exposure to pressure // Undersea Biomedical Research. – № 16, 1989. P.313...319.
12. Naebea M., Robinsb N., Wanga X., Collins P. Assessment of performance properties of wetsuits // Journal of Sports Engineering and Technology. – № 227, 2013. P. 255...264.
13. Осунова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.-Л.: Энергия, 1964.

REFERENCES

1. Novikov V.S., Soroko S.I. Fiziologicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka v ekstremal'nykh usloviyakh. – SPb: Politekhnik-a-print, 2017.
2. Sten'kina M.P., Cherunova I.V., Sirota E.N. Issledovanie tekhnologii lokal'nogo obespecheniya termoregulyatsii cheloveka v plotnooblegayushchikh shveynykh izdeliyakh // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2014, № 4. S.121...123.
3. Sirota E.N., Cherunova I.V. Issledovanie i uchet svoystv vspenennykh materialov odezhdyy dlya ekspluatatsii v usloviyakh vysokogo rastyazheniya // Vestnik tekhnologicheskogo un-ta. – 2016. T. 19, № 18. S.85...87.
4. Rayts M.V., Byzova E.V. "Neopren". Sravnitel'nyy analiz materialov, predstavlenykh na rossiyskom rynke // Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gos. un-ta tekhnologii i dizayna. – 2017, №3. S. 42...45.
5. Ghorbani E., Hasani 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. – Vol. 4, № 7, 2013. P.761...766.
6. Lyadova A.S., Pankevich D.K. Podbor paketa materialov dlya izgotovleniya vodozashchitnoy sportivnoy ekipirovki // Mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhnich. konf.: Innovatsionnye tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti, 21-22 noyabrya 2017 goda. – Vitebsk, 2017. S.146...149.
7. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Vybora statisticheskikh modeley i analiz svodnykh kharakteristik vyborke dlya pokazateley kachestva samoreguliruemykh netkanykh izolyatsionnykh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №6. S. 67...73.
8. 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. R. 3832...3840. - doi:10.1088/0022-3727/38/20/009.
9. Norton M.P., Chan C.Y. Insulation properties of composite cell foamed materials suitable for wet suits // Applied Energy. – №12, 1982. R. 159...176.
10. West P.B. Empirical evaluation of diving wet suit material heat transfer and thermal conductivity // Heat Transfer Engineering. – №14, 1993. R.74...80.

11. Monji K. Changes in insulation of wetsuits during repetitive exposure to pressure // Undersea Biomedical Research. – № 16, 1989. R.313...319.

12. Naebea M., Robinsb N., Wanga X., Collins P. Assessment of performance properties of wetsuits // Journal of Sports Engineering and Technology. – № 227, 2013. R. 255...264.

13. Osipova V.A. Eksperimental'noe issledovanie protsessov teploobmena. – M.-L.: Energiya, 1964.

Рекомендована кафедрой технологии швейных изделий ТИТЛП. Поступила 20.05.21.
