

4. Обоснование методики определения твердости полимерных дисперсных композиционных материалов / А. М. Михальченков, А. А. Тюрева, Ю. И. Филин, Е. И. Панова // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2020. – №1 (77). – С. 55–58.

УДК: 677.027.6

Современные направления создания охлаждающего текстиля

**Азанова А. А.¹, д.т.н., доц.,
зав. кафедрой,
Хуснутдинова Г. Н.¹, ст. преп.**

Казанский национальный
исследовательский
технологический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Реферат. В статье представлен обзор современных технологий создания охлаждающего текстиля, призванного обеспечить тепловой комфорт в условиях повышенных температур. Актуальность работы связана с глобальным потеплением и растущим спросом на материалы с функцией охлаждения для их применения в различных сферах. В работе систематизированы инновационные решения в области пассивного и активного охлаждения, основанные на фундаментальных физических принципах: конвекции, излучении, теплопроводности и испарении. К числу рассмотренных технологий относятся: радиационное охлаждение, достигаемое за счет использования материалов с высокой пропускной способностью в ИК-диапазоне или рассеивающих солнечное излучение; теплопроводящие материалы, создаваемые путем получения волокон с высокой кристаллической ориентацией или введения теплоотводящих наполнителей; многослойные структуры, сочетающие гидрофильные и гидрофобные компоненты; «динамически реагирующий» текстиль и материалы на основе веществ с фазовым переходом. Уделено внимание методу с применением сахарного спирта – ксилита. При контакте с влагой такой текстиль демонстрирует охлаждающий эффект, достигающий снижения температуры до 6°C.

Ключевые слова: охлаждающий текстиль, активное охлаждение, пассивное охлаждение, ксилит, сахарный спирт.

Современные технологии создания охлаждающего текстиля можно разделить на активные – связанные с включением принудительно охлаждающих систем непосредственно в одежду и пассивные, не требующие внешнего подвода/оттока энергии [1]. К активным ох-

лаждающим способам относится одежда с вентиляцией [2], использование носимых охлаждающих устройств: на основе веществ, «аккумулирующего холод» (гидрогель (полиакриламид, поливиниловый спирт и т. д.), вода), жидкостное охлаждение (вода, обогащенный жидкий воздух, жидкий кислород, аммонийная селитра и т. д.) (рис. 1).



Рисунок 2 – Одежда с активными охлаждающим устройствами:

а – со встроенными вентиляторами; б – с жидкостным охлаждением с системой трубок, размещенной между слоями трикотажного полотна

Термоэлектрическое охлаждение представляет собой твердотельный преобразователь энергии, который работает на основе эффекта Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока, обеспечивая охлаждающий эффект на коже более 3–10 °С. Такие устройства имеют общие недостатки – громоздкость, жесткость, неудобство при стирке и зависимость от источников электропитания.

Радиационное охлаждение основано на явлении, когда исходящее от человеческого тела инфракрасное (ИК) излучение в диапазоне волн 7–14 мкм совпадает с «атмосферным окном» 8–13 мкм и не поглощается водяными парами и углекислым газом окружающей среды, а уходит в космическое пространство. Данный эффект стал основой разработок в двух направлениях: текстиля с высоким пропусканием в среднем ИК-диапазоне и с высокой ИК отражательной способностью [3].

Обеспечение терморегуляции за счет текстиля также возможно за счет улучшения механизма теплопроводности, которое реализуется высокой кристаллической ориентацией волокон (рис. 1) и включением в текстиль наполнителей с высокой теплопроводностью графена, углеродных нанотрубок, нитрида бора (BN), нанокристаллических металлов, оксидов металлов и т. д. [4, 5].

Еще один подход – испарительное охлаждение текстиля за счет поглощения и удаления влаги из пододежного пространства, которое может быть реализовано двумя путями. Первый – за счет механизма сорбции – десорбции влаги, реализуемым добавлением высокогигроскопичных волокон (полиакриламид, полиакрилат) [6] или использованием сорбентов (хлорида кальция, бромид лития, хлорида лития, комплекса цинк-этанолamina [7]). Второй – осуществляется направленным переносом воды за счет комбинирования волокон

и нитей с разной гигроскопичностью, обеспечивающих высокую поглощающую способность и влагоотдачу волокна [8].

За счет испарения и конвекции работает «динамически реагирующий» охлаждающий текстиль, представляющий собой структуры с неравномерным расширением и сжатием при поглощении влаги или изменении температуры, что приводит к изгибу материала (эффект «шишки») (рис. 2) [9]. Есть разработки волокон и пряжи с переменным диаметром в зависимости от содержания воды, например, шерстяные, которые уменьшаются в диаметре при намокании, создавая условия для повышения воздухопроницаемости и, соответственно, охлаждения поверхности кожи человека (рис. 3).

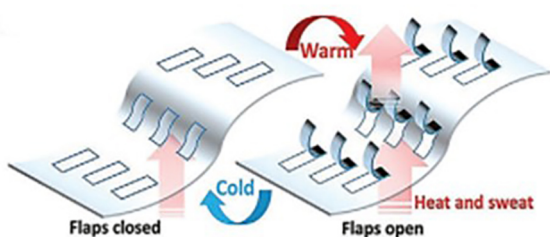


Рисунок 2 – Схематичное изображение листа Nafion с открывающимися клапанами, имитирующими термоадаптивную функциональность человеческой кожи (эффект «шишки»)

Перспективным направлением является применение веществ с фазовым переходом – веществ, которые при переходе из одного агрегатного состояния в другое поглощают или выделяют тепло, что сопровождается скачкообразным изменением теплоемкости: парафины, жирные кислоты и производные, гидраты солей, полиэтиленгликоли, полиспирты и производные. В литературе в основном все публикации посвящены их нанесению с помощью технологии капсулирования [10].

Интерес представляет использование для охлаждения веществ, имеющих отрицательную теплоту растворения, а именно, сахарных спиртов за счет их эндотермической химической реакции при поглощении воды, а в случае с одеждой – пота. Одним из важных преимуществ при этом является его нетоксичность и безопасность для человека

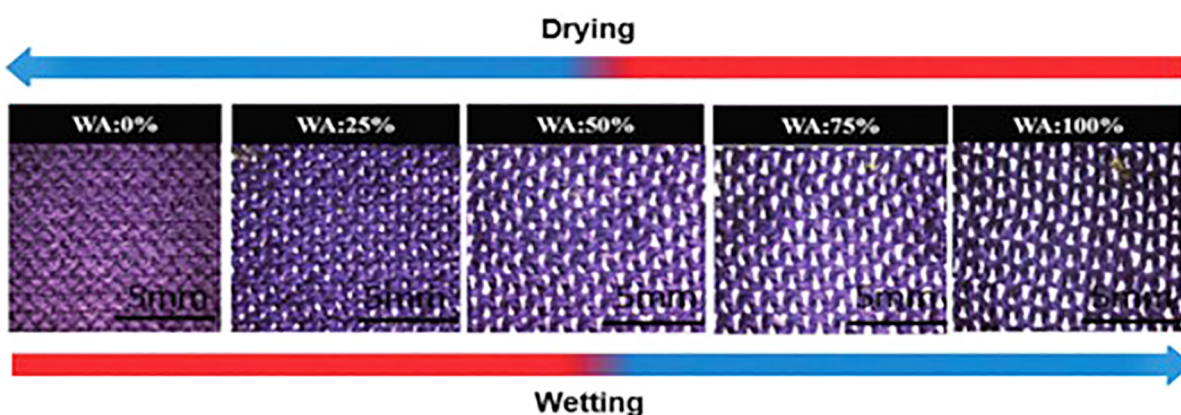


Рисунок 3 – Изменение поверхностного заполнения трикотажного шерстяного полотна с увеличением водопоглощения

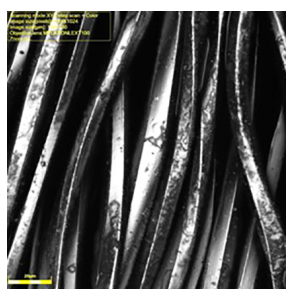
и окружающей среды. В литературе описаны многоразовые нагревательные устройства, содержащие ксилит и другие сахарные спирты и их смеси в качестве материала для хранения тепла [11]. В работе [12] предлагается микрокапсулирование ксилита с помощью полимочевино-уретановой оболочки. Коммерческий препарат для печати по текстилю серии «Parasool» на основе эритрита, ксилита и парафиновых микрокапсул предлагает японская компания Venture [13].

Авторами рассмотрено применение ксилита, обладающего высокой отрицательной теплотой растворения $-36,6$ кал/г и в тоже время высокой растворимостью в воде при 25 °С – 200 г/100 мл, как основы для создания препарата для локального охлаждения текстильного изделия. Выявлено, что в зависимости от концентрации ксилита в наносимом растворе охлаждающий эффект составляет до 6 °С, при этом существенную роль играет вид волокна и наличие в составе антирастворителей – жидкостей, снижающих растворимость основного компонента в среде, вызывая образование кристаллов.

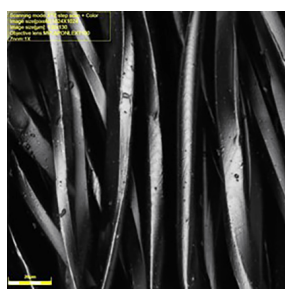
На рисунках 4 и 5 приведены микрофотографии поверхности полиэфирных и хлопковых волокон контрольных и обработанных раствором ксилита с массовой концентрацией 60 %. Охлаждающий эффект при этом составляет $4,8$ °С для синтетического волокна, $5,4$ °С – для натурального. На относительно гладкой поверхности полиэфирных волокон отчетливо наблюдаются локальные зоны кристаллизации ксилита. На хлопке, имеющем развитый микрорельеф, подобных кристаллов в данном случае не обнаруживается, однако охлаждающий эффект в обоих случаях наблюдается.

В заключении следует отметить, что развитие технологий охлаждающего текстиля открывает возможности по созданию одежды, обеспечивающей комфортность в условиях повышенных температур. Рост глобальных средних температур стимулирует растущий спрос на материалы с функцией терморегуляции. Подобные материалы непременно найдут применение в спортивной, повседневной и спецодежде.

Использование охлаждающего текстиля в качестве альтернативы традиционному кондиционированию воздуха может значительно снизить потребление энергии и загрязнение окружающей среды.

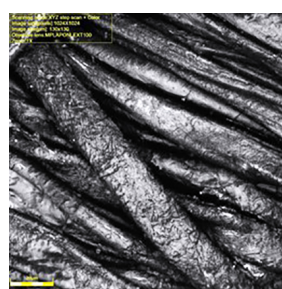


а

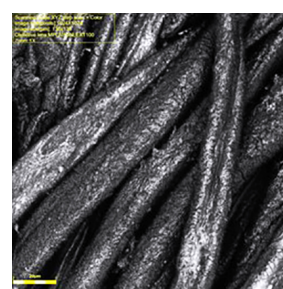


б

Рисунок 4 – Микрофотографии полиэфирных волокон:
а – контрольных; б - опытных



а



б

Рисунок 5 – Микрофотографии хлопковых волокон:
а – контрольных, б - опытных

Список использованных источников

1. Tabor J., Chatterjee K., Ghosh T. K. Smart Textile-Based Personal Thermal Comfort Systems: Current Status and Potential Solutions. *Advanced Materials Technologies*. 2020. – V. 5. No. 5. – P. 1901155. – DOI: 10.1002/admt.202070025
2. Марийчук, И. Ф., Николаев, Е. Б., Выговский, Д. Д., Купенко, И. В., Москвина, И. И. Повышение безопасности и эффективности работ горнорабочих в выработках глубоких угольных шахт. *Проблемы горного давления*. 2023. – № 1-2(44-45). – С. 93–104.
3. Grishin R.A., Zinnurov A.R., Sanzeeva E.B., Kozlova O.V., Odintsova O.I. Polymer Coating for Imparting IR Remission Effect to Textile Patterns. *Russian Journal of General Chemistry*. 2022. – V. 92. N. 12. – P. 2948–2952. DOI: 10.1134/s1070363222120507.
4. Passive radiative cooling below ambient air temperature under direct sunlight / A. P. Raman, E. Rephaeli, S. Fan [et al.] // *Nature*. – 2014. – Vol. 515, No. 7528. – P. 540–544. – DOI: 10.1038/nature13883.
5. 3D-porous polymer film with designed pore architecture and auto-deposited SiO₂ for highly efficient passive radiative cooling / Bo. Xiang, R. Zhang, Ya. Luo [et al.] // *Nano Energy*. – 2021. – Vol. 81. – P. 105600. – DOI: 10.1016/j.nanoen.2020.105600.
6. Nayak, R., Kanesalingam, S., Houshyar, S., Wang, L., Padhye, R., & Vijayan, A. Evaluation of thermal, moisture management and sensorial comfort properties of superabsorbent polyacrylate fabrics for the next-to-skin layer in firefighters' protective clothing. *Textile Research Journal*. 2018. – V. 88. – N. 9. – P. 1077–1088. DOI: 10.1177/0040517517697640.
7. William, G. E., Mohamed, M. H., & Fatouh, M. Desiccant system for water production from humid air using solar energy. *Energy*. 2015. – V. 90. – P. 1707–1720. DOI: 10.1016/j.energy.2015.06.125.
8. Li, Z., Guo, N., Lu, Y., & Zhang, P. Three-Layer Composite Fabric with the Gradient of Wettability Inspired by Populus euphratica Root Pressure for Drying and Cooling. *Advanced Materials Interfaces*. 2022. – V. 9. – N. 10. – P. 2102244. DOI: 10.1002/admi.202102244.
9. Li, X, Ma, B, Dai, J, Sui, C, Pande, D, Smith, D. R, Brinson, L. C, Hsu, P. C. Metalized polyamide heterostructure as a moisture-responsive actuator for multimodal adaptive personal heat management. *Sci Adv*. 2021. – V. 7. – N. 51. – P. eabj7906. DOI: 10.1126/sciadv.abj7906.
10. Shahid, M. A, Hossain, M. T, Hossain, I, Limon M. G. M., Rabbani, M., Rahim, A. Research and development on phase change material-integrated cloth: A review. *Journal of Industrial Textiles*. 2024. – V. 54. DOI:10.1177/15280837241262518.
11. Shao, X., Yang, Sh., Fan, L., Yuan, Ya. Sugar alcohol phase change materials for low-to-medium temperature thermal energy storage: A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*. 2023. – V. 68. – P. 107848. DOI 10.1016/j.est.2023.107848.
12. Salaün, F. The Effects of the Solvent Choice of the Continuous Phase on the Poly (Urea-Urethane) Microcapsules Properties. *J. Chem. Eng. Res. Updates*. 2020. – V. 7. – N. 1. – P. 24–33. DOI: 10.15377/2409-983X.2020.07.4

13. Endothermic cooling agent: PARACOOOL IDA & IDA-2. Venture Chemical Ltd. – URL: http://www.venture-chemical.co.jp/paracool_ida-2/paracool_ida-2.html (access date: May 20, 2025).