

ОХЛАЖДАЮЩАЯ ОТДЕЛКА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КСИЛИТА И ЭРИТРИТА*

COOLING FINISHES FOR TEXTILE MATERIALS USING XYLITOL AND ERYTHRITOL

Г.Н. ХУСНУТДИНОВА, А.А. АЗАНОВА

G.N. KHUSNUTDINOVA, A.A. AZANOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: gulnur.mukh@gmail.com, azanovlar@mail.ru

Испарение пота играет незаменимую роль в теплоотдаче человеческого тела, однако в условиях умеренного или интенсивного потоотделения большинство тканей для повседневной одежды демонстрируют ограниченную способность к испарению и удалению влаги из пододежного пространства. В статье представлены результаты исследования отделки трикотажных полотен ксилитом и эритритом с целью получения охлаждающего эффекта и обеспечения теплового комфорта в условиях увлажнения тела человека при физических нагрузках. Текстильные материалы с подобной отделкой проявляют охлаждающий эффект за счет поглощения тепла при протекании эндотермической реакции при растворении многоатомных сахарных спиртов. Приведены данные по основным показателям сахарных спиртов и углеводов при растворении в воде. На основании экспериментальных данных выполнен сравнительный анализ технологических характеристик ксилита и эритрита по степени снижения температуры трикотажного полотна при увлажнении и влиянию на жесткость при изгибе материала. Выявлено, что пропитка растворами сахарных спиртов позволяет снизить температуру образца при смачивании на 2-5°C в зависимости от концентрации, при этом с ее увеличением в пропиточном растворе до 25% наблюдается повышение жесткости полотна более чем в два раза. Подбран состав отделочной композиции на основе акрилового сополимера. Проведена оценка охлаждающего эффекта модифицированных трикотажных полотен и готового изделия методом термографии. Предлагаемая обработка демонстрирует эффективность охлаждения и позволяет снизить температуру изделия на 2-5°C. Несомненным преимуществом полученных текстильных материалов является их безопасность для человека и окружающей среды.

The evaporation of sweat plays an indispensable role in the heat transfer of the human body. However, in conditions of moderate to heavy sweating, most casual wear fabrics exhibit limited ability to evaporate and remove moisture from the underwear space. The article presents the results of a study of finishing knitted fabrics with xylitol and erythritol in order to obtain a cooling effect and provide thermal

*Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2023)», которая состоялась 9-10 ноября 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

comfort in conditions of moisturizing the human body during physical activity. Textiles with this finish exhibit a cooling effect by absorbing heat during the endothermic reaction of dissolving polyhydric sugar alcohols. Data are provided on the main indicators of sugar alcohols and carbohydrates when dissolved in water. Based on experimental data, a comparative analysis of the technological characteristics of xylitol and erythritol was carried out in terms of the degree of decrease in the temperature of the knitted fabric when moistened and the effect on the bending rigidity of the material. It was found that impregnation with solutions of sugar alcohols makes it possible to reduce the sample temperature during wetting by 2-5°C, depending on the concentration. Moreover, with its increase in the impregnating solution to 25%, an increase in the rigidity of the canvas is observed by more than two times. The structure of the finishing composition based on acrylic copolymer was selected. The cooling effect of modified knitted fabrics and the finished product was assessed using thermography method. The proposed treatment demonstrates high cooling efficiency and allows reducing the temperature of the product by 2-5°C. The undoubted advantage of the resulting textile materials is their safety for humans and the environment.

Ключевые слова: охлаждающий текстиль, сахарный спирт, теплота растворения, ксилит, эритрит, трикотажное полотно, акриловая эмульсия, эндотермический агент, термография.

Keywords: cooling textiles, sugar alcohol, heat of solution, xylitol, erythritol, knitted fabric, acrylic emulsion, endothermic agent, thermography.

Введение

Температурные условия оказывают существенное влияние на здоровье человеческого тела, это важно не только для комфорта, но и для предотвращения физиологических и психологических проблем, вызванных высокой температурой [1, 2]. Актуальным направлением развития процессов заключительной отделки текстиля является придание материалам охлаждающего эффекта, обеспечивающего ощущение прохлады и комфорт в жарких влажных условиях и при интенсивных физических нагрузках. Наиболее часто такие материалы применяются в спортивной одежде и защитном снаряжении для людей, работающих в условиях повышенных температур. Однако функциональные варианты становятся популярными и в бытовой одежде. Большие перспективы применения охлаждающего текстиля имеются в медицине при гипертермии человека.

В терморегуляции человеческого тела важную роль играет испарение, которое имеет достаточно узкий диапазон темпера-

тур. Около 20% рассеивания тепла через сухое человеческое тело зависит от потери водяного пара через потоотделение, даже в ненагруженном состоянии [3]. При физических нагрузках и в жаркой влажной среде испарение пота становится основным путем рассеивания тепла человеческого тела [4]. Большинство тканей для повседневной одежды обычно достаточно пропускают водяной пар и обеспечивают комфорт в ненагруженном состоянии. Тем не менее, когда тело человека находится в более интенсивных условиях потоотделения, требуется большая эффективность охлаждения.

В связи с прогнозируемым увеличением объема глобального рынка охлаждающего текстиля [5] актуальным является разработка отечественных технологий функциональной охлаждающей отделки текстильных материалов, что позволит расширить ассортимент и повысить конкурентоспособность продукции российского производства на внутреннем и внешнем рынке.

Технологичным решением для обеспечения ощущения прохлады в жарких и

влажных условиях является применение сахарных спиртов – ксилита и эритрита [6...8], основанное на эндотермической химической реакции с водой, а в случае с одеждой – потом. Одним из важных преимуществ данных веществ является их нетоксичность и безопасность для человека и окружающей среды.

Методы

Опытные образцы получали пропиткой в рабочем растворе при температуре 20-22 °С на протяжении 3-15 минут с последующей сушкой при 110-120 °С и стабилизацией акрилового полимера при температуре 120-130 °С в течение 1-2 минут. Для исследования выбрано полиэфирное трикотажное полотно с поверхностной плотностью 156 г/м².

Измерение охлаждающего эффекта сахарных спиртов проводили с помощью кон-

тактного жидкостного термометра в растворах и методом термографии текстильных материалов с помощью инфракрасного тепловизора A-BF RX 500. Для измерения жесткости текстильных материалов при статическом изгибе применяли прибор МТ-360 компании «Метротекс». Воздухопроницаемость трикотажного полотна определяли на диагностическом приборе А003-РС Air Permeability Tester. Давление, требуемое для процедуры испытаний одежного текстиля, согласно стандарту EN ISO 9237 составило 100 Па. Микрофотографии образцов получали с помощью 3D-сканирующего лазерного микроскопа LEXT OLS 4100 (OLYMPUS).

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены основные технологические свойства сахарных спиртов и углеводов [9].

Таблица 1

Наименование	Растворимость в воде при 25 °С, г/100 мл	Теплота растворения, кал/г	Относительная влажность для начала водопоглощения при 20 °С, %
Сахароза	185	-4,3	84
Эритрит	61	-43,9	90
Ксилит	200	-36,6	85
Сорбит	235	-26,5	65
Маннит	22	-28,9	90
Мальтит	175	-5,5	89
Лактит	140	-13,9	85
Изомальт	39	-9,4	85

Как показано в табл. 1, данный ряд сахарных спиртов обладает достаточно высокой отрицательной теплотой растворения, а наибольшей из них – эритрит (-43,9 кал/г). Однако у него низкая концентрация растворимости по сравнению с ксилитом (200 г/100 мл), что характеризует последний как более эффективный охлаждающий агент.

Целью работы являлось исследование применения ксилита и эритрита в составе полимерной композиции для получения охлаждающего текстиля. На первом этапе исследования определяли их охлаждающее действие при растворении в воде комнатной температуры (20 °С). Как известно, растворение данных сахарных спиртов в воде происходит с поглощением тепла, в связи с чем наблюдается охлаждающий эффект.

В зависимости от концентрации снижение может составлять более 10 °С (рис. 1).

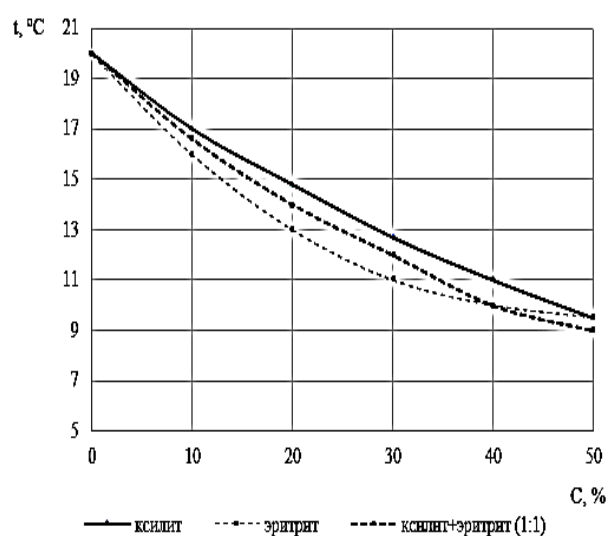


Рис. 1

Далее в растворы с разным содержанием сахарных спиртов погружали образцы трикотажного полотна, высушивали при комнатной температуре. Затем определяли охлаждающий эффект на текстильных образцах после увлажнения (имитации потоотделения тела человека), а также изменение их жесткости при изгибе. Выявлено, что пропитка растворами сахарных спиртов позволяет снизить температуру текстиля при смачивании на 2-5 °С в зависимости от их концентрации. Однако с увеличением концентрации ксилита и эритрита в пропиточном растворе до 25% наблюдается повышение жесткости полотна более чем в два раза, поэтому приемлемой является концентрация охлаждающего агента не более 10%. Отмеченная ранее высокая растворимость ксилита в воде и выявленное наименьшее изменение коэффициента жесткости позволили определить его как наиболее эффективный сахарный спирт в качестве охлаждающего агента для отделки текстиля.

На следующем этапе работы для придания устойчивости охлаждающей отделке рассмотрено использование полимерных композиций на основе акриловой эмульсии. Акриловые соединения широко используются в качестве связующего вещества в различных областях производства и обладают рядом преимуществ, таких как легкость нанесения, надежное соединение с материалом, высокая влагостойкость, гибкость и прочность материала, высокая адгезия, а также безопасность для человека и окружающей среды [7, 10...12]. Оценку охлаждающего эффекта образцов, пропитанных полимерными композициями, проводили методом термографии, варьируя концентрацию в пропиточном составе.

На рис. 2 представлены результаты измерения температуры образцов, обработанных композициями на основе акриловой эмульсии в эффективной концентрации, содержащих охлаждающие агенты, после распыления воды для имитации потоотделения и увлажнения. На рис. 3 приведено наглядное изображение полученных результатов в виде термофотографий.

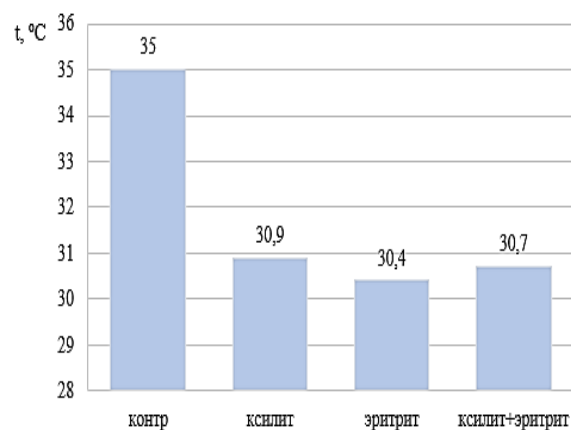


Рис. 2

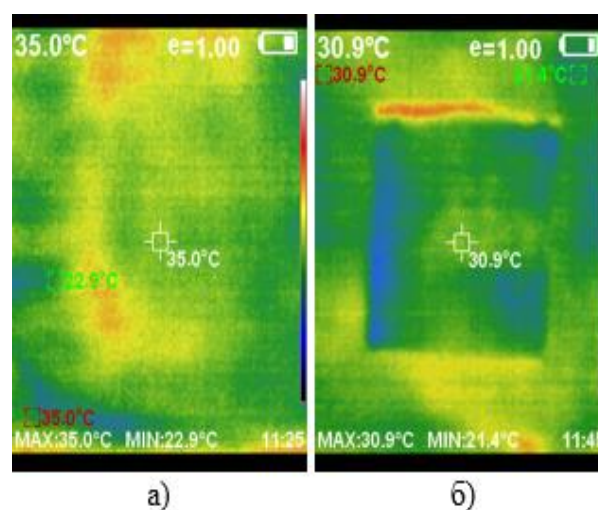


Рис. 3

В данном случае наибольший охлаждающий эффект отделки наблюдается при содержании акриловой эмульсии в пропиточном составе 5%. Для подтверждения полученного охлаждающего эффекта провели отделку готового изделия и испытания на теле человека. После промывки с использованием ПАВ швейно-трикотажное изделие (футболку) разделили на две части, одну из которых подвергли охлаждающей отделке предложенной композицией. Субъект носил образец в течение 5 минут для стабилизации температуры поверхности изделия. Далее для имитации потоотделения и увлажнения равномерно распыляли воду. Изменение термограмм отслеживали сразу после распыления, через 1 минуту и через 5 минут (рис. 4).

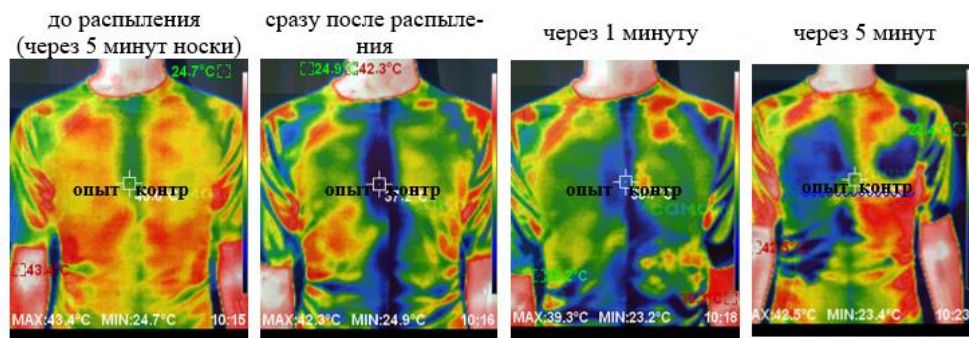


Рис. 4

Спустя пять минут обработанная часть футболки имела температуру на 2-5 °С ниже, чем контрольная (необработанная), из-за эндотермической реакции с водой сымитированного потоотделения.

При производстве охлаждающих текстильных изделий одним из важнейших показателей, определяющих качество готовой продукции, является воздухопроницаемость, так как позволяет сохранять комфортную температуру тела человека. Применение акриловой эмульсии в составе охлаждающего агента требует измерения данного показателя для полученного текстильного материала (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Наименование образца	Воздухопроницаемость, мм/с
Контрольный	830
Опытный	758

Согласно полученным результатам в данных условиях пропитки наблюдается снижение воздухопроницаемости менее чем на 10%.

Микрофотографии образцов трикотажного полотна – контрольного (а) и обработанного с помощью эндотермического агента (б) – представлены на рис. 5.

На микрофотографии опытного образца просматриваются частицы разной формы размером порядка 2-5 мкм, представляющие собой кристаллы ксилита. Морфологическая структура поверхности волокон, в отличие от контрольного образца, менее гладкая и характеризуется неравномерностью, связанной с нанесением пропиточного состава.

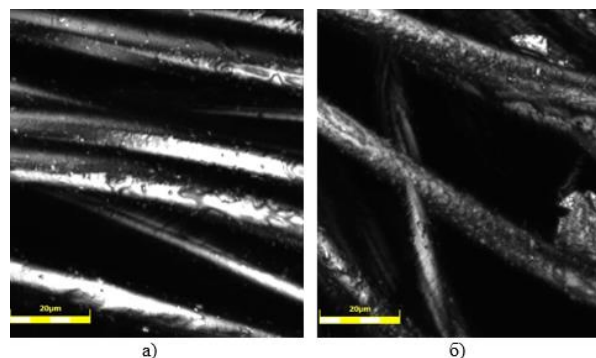


Рис. 5

В Ы В О Д Ы

Использование сахарных спиртов – ксилита и эритрита – при отделке трикотажного полотна позволяет получить устойчивый охлаждающий эффект и ощущение прохлады на теле. Данный метод заключительной отделки трикотажных полотен может быть использован при создании охлаждающего текстиля разного назначения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C., Lemke B., Otto M., Hyatt O.* Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts // *Annual Review of Public Health.* 2016. Vol. 37. P. 97...112.
2. *Goldstein L.S., Dewhirst M.W., Repacholi M., Kheifets L.* Summary, conclusions and recommendations: adverse temperature levels in the human body // *International Journal of Hyperthermia.* 2003. Vol. 19. Is. 3. P. 373...384.
3. *Kuno Y.* Human perspiration // *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences.* Blackwell Scientific Publications: Oxford. 1956. Vol. 42. Is. 3. P. 72.

4. Mack G.W., Nadel E.R. Body fluid balance during heat stress in humans // *Comprehensive Physiology*. 2011, Vol. 14. P. 187...214.

5. Fortune Business Insights: Cooling fabrics market size. – <https://www.fortunebusinessinsights.com/cooling-fabrics-market-105768> (Дата обращения 01.06.2023).

6. Salaiin F., Bedek G., Devaux E., Dupont D., Gengembre L. Microencapsulation of a cooling agent by interfacial polymerization: Influence of the parameters of encapsulation on poly(urethane–urea) microparticles characteristics // *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. Is. 1–2. P. 23...33.

7. Pat. CH106521769A. Cool type fabric weaving process containing xylitol. – <https://patents.google.com/patent/CN106521769A/en>.

8. Gunasekara S. N., Pan G., Chiu J. N., Martin V. Polyols as phase change materials for low-grade excess heat storage // *Energy Procedia: International Conference on Applied Energy, ICAE2014, Elsevier*. 2014. Vol. 61. P. 664...669.

9. Моргунова Е.М., Шугаева Т.В., Гершончик К.Н. Технологические аспекты разработки кондитерских изделий с использованием полиолов // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2021. Т. 14, № 3(53). С. 19...31.

10. Епишкина В.А., Целмс Р.Н., Киселев А.М., Васильев В.К. Роль акриловых сополимеров в создании экотехнологий отделки текстильных материалов // *Химические волокна*. 2015. № 3. С. 74...81.

11. Фазуллина Р.Н., Красина И.В. Влияние акриловой эмульсии на эффективное закрепление вспучивающего антипирена на поверхности текстильных материалов // *Вестник технологического университета*. 2016. Т. 19, № 12. С. 114...116.

12. Kim Ji-Yeon Special functional processing that can respond to Cool-Biz and Warm-Biz // *Dyotec vision*. 2012. Vol. 9. P. 8...15.

REFERENCES

1. Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C., Lemke B., Otto M., Hyatt O. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts // *Annual Review of Public Health*. 2016. Vol. 37. P. 97...112.

2. Goldstein L.S., Dewhirst M.W., Repacholi M., Kheifets L. Summary, conclusions and recommendations: adverse temperature levels in the human body //

International Journal of Hyperthermia. 2003. Vol. 19. Is. 3. P. 373...384.

3. Kuno Y. Human perspiration // *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences*. Blackwell Scientific Publications: Oxford. 1956. Vol. 42. Is. 3. P. 72.

4. Mack G.W., Nadel E.R. Body fluid balance during heat stress in humans // *Comprehensive Physiology*. 2011. Vol. 14. P. 187...214.

5. Fortune Business Insights: Cooling fabrics market size. – <https://www.fortunebusinessinsights.com/cooling-fabrics-market-105768> (Accessed 01.06.2023).

6. Salaiin F., Bedek G., Devaux E., Dupont D., Gengembre L. Microencapsulation of a cooling agent by interfacial polymerization: Influence of the parameters of encapsulation on poly(urethane–urea) microparticles characteristics // *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. Is. 1–2. P. 23...33.

7. Pat. CH106521769A. Cool type fabric weaving process containing xylitol. – <https://patents.google.com/patent/CN106521769A/en>.

8. Gunasekara S.N., Pan G., Chiu J.N., Martin V. Polyols as phase change materials for low-grade excess heat storage // *Energy Procedia: International Conference on Applied Energy, ICAE2014, Elsevier*. 2014. Vol. 61. P. 664...669.

9. Marhunova A.M., Shugaeva T.V., Gershonchik K.N. Technological aspects of development confectionery products' with polyols // *Food industry: science and technologies*. 2021. Vol. 14. № 3 (53). P. 19...31.

10. Epishkina V.A., Tselms R.N., Kiselev A.M., Vasilev V.K. The role of acrylic copolymers in the creation of eco-technologies for finishing textile materials // *Himicheskie volokna*. 2015. № 3. P. 74...81.

11. Fazullina R.N., Krasina I.V. The influence of acrylic emulsion on the effective fixation of intumescent fire retardant on the surface of textile materials // *Herald of technological university*. 2016. Vol. 19. № 12. P. 114...116.

12. Kim Ji-Yeon. Special functional processing that can respond to Cool-Biz and Warm-Biz // *Dyotec vision*. 2012. Vol. 9. P. 8...15.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2023)". Поступила 16.11.23.