

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТЕКСТИЛЯ**Г.Н. Хуснутдинова, А.А. Азанова**

Кафедра материалов и технологий легкой промышленности, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань, Российская Федерация, 420015
E-mail: KhusnutdinovaGN@corp.knrtu.ru, AzanovaAA@corp.knrtu.ru

Статья посвящена современным подходам разработки технологий охлаждающего текстиля, предназначенного для повышения комфорта человека в условиях высоких температур. Актуальность исследования обусловлена глобальным ростом средней температуры планеты, повышением спроса на охлаждающие текстильные материалы и перспективами их широкого применения в различных отраслях. Авторы рассматривают существующие подходы пассивного и активного охлаждения текстильных изделий, основанные на различных механизмах передачи тепла организмом человека в окружающую среду: конвекции, излучении, теплопроводности и испарении. Среди рассмотренных методов выделяются: радиационное охлаждение, которое реализуется посредством подбора текстильных материалов с высоким коэффициентом пропускания инфракрасного излучения или за счет рассеивания солнечного излучения; охлаждение, основанное на повышении теплопроводности за счет модификации волокон повышением кристаллической ориентацией или включением в состав текстиля добавок с высокой теплопроводностью; повышение гигроскопичности и влагоотдачи материала за счет оптимального сочетания гидрофильных и гидрофобных волокон в структуре полотна; «динамически реагирующий» охлаждающий текстиль; терморегулирующий текстиль на основе веществ с фазовым переходом. Авторы рассматривают использование сахарных спиртов, обладающих отрицательной теплотой растворения, и приводят экспериментальные результаты применения ксилита. Охлаждающий эффект текстиля с нанесенным сахарным спиртом проявляется при его взаимодействии с влагой и составляет до 5 °С в зависимости от концентрации в рабочем растворе. Для повышения эффекта предлагается оптимизировать процесс кристаллизации добавками – тальком и этанолом. Приводятся результаты микроскопии, демонстрирующие влияние добавок на размеры кристаллов ксилита на волокне. Приведенные экспериментальные данные подтверждают перспективность предложенных подходов и указывают на необходимость дальнейших исследований для улучшения характеристик современных охлаждающих текстильных материалов.

Ключевые слова: охлаждающий текстиль, активное охлаждение, пассивное охлаждение, радиационное охлаждение, теплопроводность, охлаждение за счет испарения, динамически реагирующий текстиль, вещества с фазовым переходом, ксилит, сахарный спирт, кристаллизация

MODERN TECHNOLOGIES OF COOLING TEXTILES**G.N. Khusnutdinova, A.A. Azanova**

Department of Materials and Technologies of Light Industry, Kazan National Research Technological University, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia
E-mail: KhusnutdinovaGN@corp.knrtu.ru, AzanovaAA@corp.knrtu.ru

The article is devoted to modern approaches to the development of technologies for cooling textiles designed to improve human comfort in high-temperature conditions. The relevance of the study is due to the global increase in the average temperature of the planet, the increasing demand for cooling textile materials and the prospects for their wide application in various industries. The authors consider the existing approaches to passive and active cooling of textiles based on various

mechanisms of heat transfer from the human body to the environment: convection, radiation, thermal conductivity and evaporation. Among the considered methods, the following stand out: radiative cooling, which is implemented by selecting textile materials with a high transmittance of infrared radiation or by scattering solar radiation; cooling based on increasing thermal conductivity by modifying fibers by increasing crystalline orientation or including additives with high thermal conductivity in the textile; increasing hygroscopicity and moisture release of the material due to optimal hydrophilic and hydrophobic fibers in the fabric structure; "dynamically reacting" cooling textiles; thermoregulatory textiles based on substances with a phase transition. The authors consider the use of sugar alcohols with negative heat of solution and present experimental results of xylitol application. The cooling effect of textiles with applied sugar alcohol is manifested during its interaction with moisture and is up to 5 °C depending on the concentration in the working solution. To increase the effect, it is proposed to optimize the crystallization process with additives – talc and ethanol. The microscopy results are presented demonstrating the effect of additives on the size of xylitol crystals on the fiber. The presented experimental data confirm the prospects of the proposed approaches and indicate the need for further research to improve the characteristics of modern cooling textile materials.

Keywords: cooling textiles, active cooling, passive cooling, radiation cooling, thermal conductivity, evaporative cooling, dynamically reacting textiles, phase change substances, xylitol, sugar alcohol, crystallization

Для цитирования:

Хуснутдинова Г.Н., Азанова А.А. Современные технологии охлаждающего текстиля. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 4. С. 47–52. DOI: 10.6060/rcj.2025694.7.

For citation:

Khusnutdinova G.N., Azanov A.A. Modern technologies of cooling textiles. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 47–52. DOI: 10.6060/rcj.2025694.7.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с тенденцией к увеличению средних температур на планете возрастает спрос на терморегулирующие текстильные материалы, в том числе обладающие охлаждающим эффектом. Такой текстиль обычно используется в спортивной, повседневной и специальной одежде для работы в жарких условиях [1].

В основе современных подходов создания охлаждающего текстиля лежат четыре механизма пассивной передачи тепла между телом человека и окружающей средой: конвекция, излучение, теплопроводность и испарение. Все методы охлаждения, применяющиеся в текстильных изделиях, можно разделить на два вида: активные и пассивные [2]. Активные связаны с принудительным отводом тепла от тела человека и представляют собой интегрированные непосредственно в швейное изделие охлаждающие системы: вентиляции или кондиционирования; циркуляции охлаждающих веществ или веществ «аккумулирующих холод»; термоэлектрическое охлаждение на основе эффекта Пельтье. Общим недостатком устройств активного охлаждения является громоздкость, жесткость, неудобство при

уходе и, часто, зависимость от источников электропитания. Пассивное охлаждение не требует внешнего подвода или отвода энергии и основано на следующих физических явлениях: радиационном охлаждении, повышении теплопроводности, испарении, применении веществ с фазовым переходом.

Радиационное охлаждение. При температуре окружающей среды 25 °С, более 60% общей потери тепла организмом человека происходит через излучение. 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, 4].

Теплопроводность текстильного материала способствует передаче тепла от тела человека в окружающую среду. На сегодняшний день применяются два способа к повышению теплопроводности текстиля: получение волокон с высокой кри-

сталлической ориентацией [5] и включение в текстиль наполнителей с высокой теплопроводностью (графена, углеродных нанотрубок, нитрида бора, нанокристаллических металлов, оксидов металлов и т. д.) [6-8].

Взрослый человек может выделять до 1,5 л/ч пота, в это время испарительное рассеивание тепла составляет более 75% от общего. На этом явлении основан принцип действия текстиля, *охлаждающего за счет испарения* – поглощения и удаления влаги из пододежного пространства. При этом может быть достигнуто охлаждение 320 Вт/м², что намного выше теоретического предела радиационного охлаждения (150 Вт/м²) [9]. Наиболее прогрессивным является способ, основанный на направленном переносе влаги в структуре материала от внутренних слоев к внешним, с дальнейшей отдачей в окружающую среду за счет комбинирования волокон и нитей с разной гигроскопичностью и влаготдачей [10-12].

За счет испарения и конвекции работает «динамически реагирующий» охлаждающий текстиль. Принцип его работы заключается в создании структур с неравномерным расширением и сжатием при поглощении влаги или изменении температуры, что вызывает неоднородность напряжений внутри текстиля и приводит к изгибу его элементов, тем самым повышая площадь открытых участков [13-15].

Перспективным направлением является разработка текстильных материалов на основе *веществ с фазовым переходом*, которые при изменении агрегатного состояния поглощают или выделяют тепло, что сопровождается скачкообразным изменением теплоемкости [16]. Наносятся они на текстиль, как правило, в виде микрокапсул [17-19]. Основной задачей при этом является закрепление микрокапсул на текстильном полотне, что в настоящее время осуществляется пропиткой, распылением аэрозоля, печатью или посредством внедрения в волокнообразующий полимер на стадии электропрядения [20-22].

Технологичным решением для обеспечения ощущения прохлады в условиях интенсивного потоотделения является использование веществ, имеющих отрицательную теплоту растворения, например, сахарных спиртов за счет их эндотермической химической реакции при поглощении воды, а в случае с одеждой – пота. Их важным преимуществом является нетоксичность и безопасность для человека и окружающей среды. Одним из широко применяемых видов сахарных спиртов является ксилит – пятиуглеродный сахарный спирт, широко

используемый в пищевой промышленности, фармакологии, стоматологии и косметике благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. В литературе описаны многоразовые нагревательные устройства, содержащие ксилит и другие сахарные спирты и их смеси, в качестве материала для хранения тепла [23]. Например, в работе [24] 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 [25]. Преимуществом ксилита является высокая отрицательная теплота растворения -36,6 кал/г и одновременно высокая растворимость в воде 200 г/100 мл при 25 °С, что может найти применение при создании препаратов для локального охлаждения текстильного изделия. Целью работы являлось исследование применения сахарного спирта – ксилита, для придания текстильным материалам охлаждающей способности при взаимодействии с влагой.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Опытные образцы получали распылением рабочих составов разной концентрации пищевого ксилита на полиэфирное трикотажное полотно с поверхностной плотностью 156 г/м² с последующей сушкой при комнатной температуре. Охлаждающий эффект оценивали методом термографии с помощью инфракрасного тепловизора Guide T120V после распыления воды, имитирующего потоотделение. Микрофотографии образцов получены на 3D-сканирующем лазерном микроскопе OLYMPUS LEXT OLS 4100.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Определена зависимость охлаждающего действия текстильного материала (T , °С) от концентрации ксилита (C) в пропиточной ванне. Установлено, что увеличение концентрации сахарного спирта в рабочем растворе ведет к снижению температуры увлажненного материала (таблица).

Таблица

Влияние концентрации ксилита в пропиточном растворе на охлаждающий эффект

Table. The influence of xylitol concentration in the impregnating solution on the cooling effect

C , %	T , °С после увлажнения
-	35,0
10	33,6
30	29,9
50	29,1

Растворение кристаллических веществ сопровождается сначала разрушением кристаллической решетки, а затем гидратацией молекул растворенного вещества. Для любого кристалла величина энергии, необходимая для разрушения связей, снижается с уменьшением размеров кристаллов, так как облегчается доступ молекул растворителя к межмолекулярным связям. Следовательно, для получения большего охлаждающего эффекта на текстиле, необходимо получить кристаллы большего размера. Факторами, влияющими на формирование кристаллов ксилита, являются наличие посторонних частиц, которые стимулируют появление множества центров кристаллизации, и введение антирастворителей – жидкостей, понижающих рас-

творимость основного компонента в среде, вызывая образование кристаллов. Наиболее распространенными примерами антирастворителей служат метанол, этанол и изопропанол [26], обладающие способностью эффективно инициировать осаждение ксилита из водного раствора. Исследование влияния добавок на кристаллизацию ксилита при испарении на текстиле показало, что размер кристаллов можно регулировать. На рисунке приведены микрофотографии полиэфирных волокон трикотажного полотна – контрольного (а) и обработанного 5% водным раствором ксилита: без добавок (б), с добавлением талька 3 г/л (в) и 95% этанола в количестве 10% в качестве антирастворителя (г).

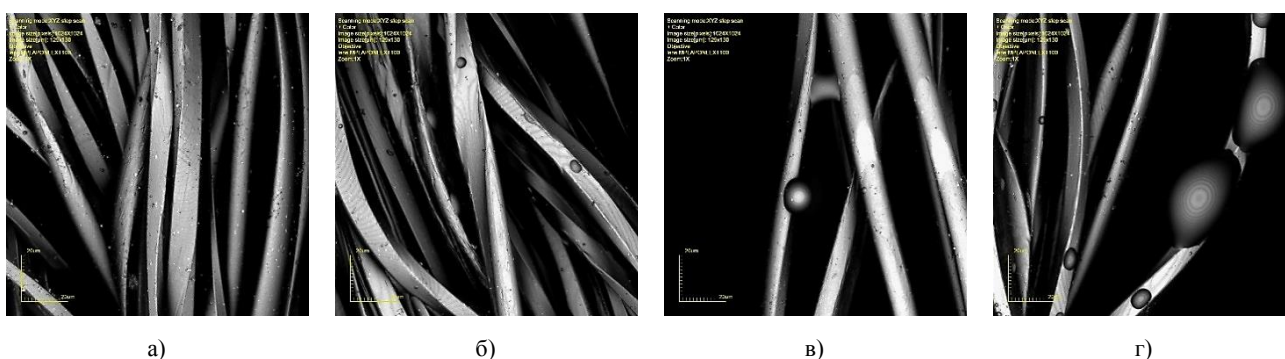


Рис. 1. Микрофотографии образцов: а) контрольный; б) 50%-ный водный раствор ксилита; в) 50%-ный водный раствор ксилита + тальк 3 г/л; г) 50%-ный водный раствор ксилита + 95%-ный этанол 10%

Fig. 1. Micrographs of samples: а) control; б) 50 % aqueous xylitol solution; в) 50% aqueous xylitol solution + talc 3 g/l; г) 50% aqueous xylitol solution + 95% ethanol 10%

Результаты микроскопии демонстрируют, что после обработки ксилитом на поверхности волокна образуются кристаллы размером 2-4 мкм, введение в пропиточный состав талька вызывает увеличение их размеров в среднем до 10-12 мкм, а при добавлении в качестве антирастворителя этанола – до 20-25 мкм. В этом случае охлаждающий эффект составляет 3-5 °С. Таким образом, использование антирастворителей дает возможность получать на текстильном материале кристаллы ксилита разных размеров, что позволит регулировать охлаждающий эффект.

ВЫВОДЫ

Создание терморегулирующих охлаждающих текстильных материалов представляет собой важную научно-практическую задачу. В статье рассмотрены некоторые из существующих технологий терморегуляции, среди которых наиболее перспективными является многослойный текстиль с гидрофильными и гидрофобными компонентами, а также разработки ИК-пропускающих и ИК-отра-

жающих материалов. Однако производство последних требует значительных энергозатрат, а интеграция электронных систем в текстиль осложнена необходимостью постоянного энергоснабжения. Перспективным является применение веществ с фазовым переходом, терморегулирующая способность которых подтверждена практическими результатами. Авторами предлагается использование сахарных спиртов, а именно ксилита, как вещества с отрицательной теплотой растворения. Показано, что применение ксилита позволяет получить охлаждающий эффект до 5 °С, а добавление в раствор антирастворителей и веществ, способствующих появлению центров кристаллизации, позволяет регулировать размер образующихся на волокне кристаллов, создавая условия для управления процессом охлаждения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хуснутдинова Г.Н., Азанова А.А. // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2023. № 1. С. 213-216.
2. Tabor J., Chatterjee K., Ghosh T.K. // *Advanced Materials Technologies*. 2020. V. 5. N 5. P. 1901155. DOI: 10.1002/admt.202070025.
3. Grishin R.A., Zimmurov A.R., Sanzeeva E.B., Kozlova O.V., Odintsova O.I. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2022. V. 92. N 12. P. 2948-2952. DOI: 10.1134/s1070363222120507.
4. Xue S., Huang G., Chen Q., Wang X., Fan J., Shou D. // *Nanomicro Lett.* 2024. V. 16. P. 153. DOI: 10.1007/s40820-024-01360-1.
5. Chien H.C., Peng W.T., Chiu T.H., Wu P.H., Liu Y.J., Tu C.W., Wang C.L., Lu M.C. // *ACS Nano*. 2020. V. 14. N 3. P. 2939-2946. DOI: 10.1021/acsnano.9b07493.
6. Guo Y., Dun C., Xu J., Mu J., Li P., Gu L., Hou C., Hewitt C.A., Zhang Q., Li Y., Carroll D.L., Wang H. // *Small*. 2017. V. 13. N 44. P. 1702645. DOI: 10.1002/smll.201702645.
7. Abbas A., Zhao Y., Zhou J., Wang X., Lin T. // *Fibers and Polymers*. 2013. V. 14. P. 1641-1649. DOI: 10.1007/s12221-013-1641-y.
8. Wang S., Cheng Y., Wang R., Sun J., Gao L. // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2014. V. 6. N. 9. P. 6481-6486. DOI: 10.1021/am500009p.
9. Li J., Wang X., Liang D., Xu N., Zhu B., Li W., Yao P., Jiang Y., Min X., Huang Z., Zhu S., Fan S., Zhu J. // *Sci. Adv.* 2022. V. 8. N 32. P. eabq0411. DOI: 10.1126/sciadv.abq0411.
10. Dai B., Li K., Shi L., Wan X., Liu X., Zhang F., Jiang L., Wang S. // *Adv. Mater.* 2019. V. 31. N 41. P. e1904113. DOI: 10.1002/adma.201904113.
11. Li Z., Guo N., Lu Y., Zhang P. // *Adv. Mater. Interfaces*. 2022. V. 9. N 10. P. 2102244. DOI: 10.1002/admi.202102244.
12. Miao D., Wang X., Yu J., Ding B. // *Adv. Functional Mater.* 2021. V. 31. N 14. P. 2008705. DOI: 10.1002/adfm.202008705.
13. Zhong Y., Zhang F., Wang M., Gardner C.J., Kim G., Liu Y., Leng J., Jin S., Chen R. // *Sci. Rep.* 2017. V. 7. N 1. P. 44208. DOI: 10.1038/srep44208.
14. Li X., Ma B., Dai J., Sui C., Pande D., Smith D.R., Brinson L.C., Hsu P.C. // *Sci. Adv.* 2021. V. 7. N 51. P. eabj7906. DOI: 10.1126/sciadv.abj7906.
15. Hu J., Irfan I.M., Sun F. // *Adv. Functional Mater.* 2020. V. 30. N 51. P. 2005033. DOI: 10.1002/adfm.202005033.
16. Алехина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И. // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2024. Т. 5. № 413. С. 131-142. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_5_131.
17. Shahid M.A., Hossain M.T., Hossain I., Limon M.G.M., Rabbani M., Rahim A. // *Journal of Industrial Textiles*. 2024. V. 54. DOI:10.1177/15280837241262518.
18. Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Трегубов А.В., Ильичева М.Д., Липина А.А. // *Изв. вузов. Химия и хим. технол.* 2023. Т. 66. № 9. С. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
19. Алехина А.Ф., Ерзунов К.А., Одинцова О.И. // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2024. Т. 4. № 412. С. 29-41. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_4_29.
20. Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Смирнова С.В., Липина А.А., Петрова Л.С., Ерзунов К.А., Константинова З.А., Зимнуров А.Р., Быков Ф.А., Мельников А.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технол.* 2023. Т. 66. № 7. С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
21. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим.*

REFERENCES

1. Khusnutdinova G.N., Azanova A.A. // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX)*. 2023. N. 1. P. 213-216. (in Russian).
2. Tabor J., Chatterjee K., Ghosh T.K. // *Advanced Materials Technologies*. 2020. V. 5. N 5. P. 1901155. DOI: 10.1002/admt.202070025.
3. Grishin R.A., Zimmurov A.R., Sanzeeva E.B., Kozlova O.V., Odintsova O.I. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2022. V. 92. N 12. P. 2948-2952. DOI: 10.1134/s1070363222120507.
4. Xue S., Huang G., Chen Q., Wang X., Fan J., Shou D. // *Nanomicro Lett.* 2024. V. 16. P. 153. DOI: 10.1007/s40820-024-01360-1.
5. Chien H.C., Peng W.T., Chiu T.H., Wu P.H., Liu Y.J., Tu C.W., Wang C.L., Lu M.C. // *ACS Nano*. 2020. V. 14. N 3. P. 2939-2946. DOI: 10.1021/acsnano.9b07493.
6. Guo Y., Dun C., Xu J., Mu J., Li P., Gu L., Hou C., Hewitt C.A., Zhang Q., Li Y., Carroll D.L., Wang H. // *Small*. 2017. V. 13. N 44. P. 1702645. DOI: 10.1002/smll.201702645.
7. Abbas A., Zhao Y., Zhou J., Wang X., Lin T. // *Fibers and Polymers*. 2013. V. 14. P. 1641-1649. DOI: 10.1007/s12221-013-1641-y.
8. Wang S., Cheng Y., Wang R., Sun J., Gao L. // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2014. V. 6. N. 9. P. 6481-6486. DOI: 10.1021/am500009p.
9. Li J., Wang X., Liang D., Xu N., Zhu B., Li W., Yao P., Jiang Y., Min X., Huang Z., Zhu S., Fan S., Zhu J. // *Sci. Adv.* 2022. V. 8. N 32. P. eabq0411. DOI: 10.1126/sciadv.abq0411.
10. Dai B., Li K., Shi L., Wan X., Liu X., Zhang F., Jiang L., Wang S. // *Adv. Mater.* 2019. V. 31. N 41. P. e1904113. DOI: 10.1002/adma.201904113.
11. Li Z., Guo N., Lu Y., Zhang P. // *Adv. Mater. Interfaces*. 2022. V. 9. N 10. P. 2102244. DOI: 10.1002/admi.202102244.
12. Miao D., Wang X., Yu J., Ding B. // *Adv. Functional Mater.* 2021. V. 31. N 14. P. 2008705. DOI: 10.1002/adfm.202008705.
13. Zhong Y., Zhang F., Wang M., Gardner C.J., Kim G., Liu Y., Leng J., Jin S., Chen R. // *Sci. Rep.* 2017. V. 7. N 1. P. 44208. DOI: 10.1038/srep44208.
14. Li X., Ma B., Dai J., Sui C., Pande D., Smith D.R., Brinson L.C., Hsu P.C. // *Sci. Adv.* 2021. V. 7. N 51. P. eabj7906. DOI: 10.1126/sciadv.abj7906.
15. Hu J., Irfan I.M., Sun F. // *Adv. Functional Mater.* 2020. V. 30. N 51. P. 2005033. DOI: 10.1002/adfm.202005033.
16. Alyokhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2024. V. 5. N 413. P. 131-142. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_5_131. (in Russian).
17. Shahid M.A., Hossain M.T., Hossain I., Limon M.G.M., Rabbani M., Rahim A. // *Journal of Industrial Textiles*. 2024. V. 54. DOI:10.1177/15280837241262518.
18. Erzunov K.A., Odintsova O.I., Tregubov A.V., Ilyicheva M.D., Lipina A.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825. (in Russian).
19. Alyokhina A.F., Erzunov K.A., Odintsova O.I. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tekhnol. Tekstil. Prom.* 2024. V. 4. N 412. P. 29-41. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_4_29. (in Russian).
20. Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Kozlova O.V., Smirnova S.V., Lipina A.A., Petrova L.S., Erzunov K.A., Konstantinova Z.A., Zimmurov A.R., Bykov F.A., Melnikov A.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j. (in Russian).

- об-ва). 2024. Т. LXVIII. № 4. С. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
22. **Прядезников Б.Ю., Прядезникова А.А., Москалюк О.А.** // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности*. 2023. Т. 62. № 4. С. 69-75. DOI: 10.46418/0021-3489_2023_62_04_14.
23. **Shao X., Yang Sh., Fan L., Yuan Ya.** // *Journal of Energy Storage*. 2023. V. 68. P. 107848. DOI: 10.1016/j.est.2023.107848.
24. **Salaün F.** // *J. Chem. Eng. Res. Updates*. 2020. V. 7. N 1. P. 24-33. DOI: 10.15377/2409-983X.2020.07.4
25. [Electronic resource], access mode: http://www.venture-chemical.co.jp/paracool_ida-2/paracool_ida-2.html (access date: May 20, 2025).
26. **Zaykovskaya A., Louhi-Kultanen M.** // *Crystal Growth & Design*. 2023. V. 23. N 3. P. 1813-1820. DOI: 10.1021/acs.cgd.2c01323.
21. **Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I.** // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N4. P. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14. (in Russian).
22. **Pryadeznikov B.Yu., Pryadeznikova A.A., Moskaluk O.A.** // *Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved., Technol. of Light Ind.* 2023. V. 62. N 4. P. 69-75. DOI: 10.46418/0021-3489_2023_62_04_14. (in Russian).
23. **Shao X., Yang Sh., Fan L., Yuan Ya.** // *Journal of Energy Storage*. 2023. V. 68. P. 107848. DOI: 10.1016/j.est.2023.107848.
24. **Salaün F.** // *J. Chem. Eng. Res. Updates*. 2020. V. 7. N 1. P. 24-33. DOI: 10.15377/2409-983X.2020.07.4
25. [Electronic resource], access mode: http://www.venture-chemical.co.jp/paracool_ida-2/paracool_ida-2.html (access date: May 20, 2025).
26. **Zaykovskaya A., Louhi-Kultanen M.** // *Crystal Growth & Design*. 2023. V. 23. N 3. P. 1813-1820. DOI: 10.1021/acs.cgd.2c01323.

Поступила в редакцию 09.07.2025
Принята к опубликованию 11.08.2025

Received 09.07.2025
Accepted 11.08.2025