

УДК 687.1
doi:10.21685/2307-5538-2022-4-13

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА «УМНОЙ» ОДЕЖДЫ С ДИСТАНЦИОННЫМ КОНТРОЛЕМ И УПРАВЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОСРЕДСТВОМ МИКРОЭЛЕКТРОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Д. Л. Овчинников¹, А. Ю. Тычков², Д. С. Чернышов³, А. Д. Сашина⁴

^{1,2,3,4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹dmitry_ovch@mail.ru, ²tychkov-a@mail.ru, ³deniska_1980_13@mail.ru, ⁴sashina-2016@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Наиболее частой причиной заболевания человека является переохлаждение организма. Решить данную проблему можно путем использования «умной» одежды с возможностью контроля температуры и адаптации под окружающие внешние условия. Целью настоящей работы является разработка прототипа «умной» одежды с дистанционным контролем и управлением температурой. *Материалы и методы.* При разработке устройства предпочтение в элементной базе отдано микроконтроллеру ESP-32 со встроенными модулями передачи (Wi-Fi, Bluetooth). ESP-32 обладает необходимыми характеристиками: рабочая температура, встроенный термодатчик, возможность использования интерфейса 1-Wire, поддержка протокола Bluetooth Low Energy (BLE). Для точного определения температуры вне контроллера выбраны датчики с высокой точностью и широким диапазоном измерения (± 1 °C, от -55 °C до $+125$ °C), а также малыми размерами корпуса DS18B20. В качестве стабилизатора напряжения для контроллера и датчиков используется стабилизатор LM317. Все компоненты используются в chip исполнении для минимизации размеров устройства. *Результаты и выводы.* По результатам микроэлектронного исполнения устройства определены необходимые для минимального функционала датчики и разработан алгоритм работы изделия. Устройство обладает малыми размерами ($75 \times 48 \times 22$ мм), питание осуществляется от powerbank с выходным напряжением 5 В и током не менее 2,1 А, зональная температура нагрева до 40 °C. Время работы изделия при включенных нагревателях составляет 8–10 ч, за счет управления силовыми ключами ШИМ время можно увеличить, уменьшив степень нагрева.

Ключевые слова: микроэлектроника, контроль температуры, обработка информации, текстильная промышленность

Для цитирования: Овчинников Д. Л., Тычков А. Ю., Чернышов Д. С., Сашина А. Д. Разработка прототипа «умной» одежды с дистанционным контролем и управлением температурой посредством микроэлектронного исполнения // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 4. С. 102–109. doi:10.21685/2307-5538-2022-4-13

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF "SMART" CLOTHING WITH REMOTE CONTROL AND TEMPERATURE CONTROL BY MEANS OF MICROELECTRONIC DESIGN

D.L. Ovchinnikov¹, A.Yu. Tychkov², D.S. Chernyshov³, A.D. Sashina⁴

^{1,2,3,4} Penza State University, Penza, Russia

¹dmitry_ovch@mail.ru, ²tychkov-a@mail.ru, ³deniska_1980_13@mail.ru, ⁴sashina-2016@inbox.ru

Abstract. *Background.* The most common cause of human disease is hypothermia of the body. This problem can be solved by using «smart» clothes with the ability to control temperature and adapt to the surrounding external conditions. The purpose of this work is to develop a prototype of «smart» clothing with remote control and temperature control. *Materials and methods.* When developing the device, preferences in the element base are given to the ESP-32 microcontroller with built-in transmission modules (Wi-Fi, Bluetooth). ESP-32 has the necessary characteristics: operating temperature, built-in thermal sensor, the ability to use the 1-Wire interface, support for Bluetooth Low Energy (BLE) protocol. To accurately determine the temperature outside the controller, sensors with high accuracy and a wide measurement range (± 1 °C, from -55 °C to $+125$ °C), as well as the small dimensions of the DS18B20 case are selected. The LM317 stabilizer is used as a voltage stabilizer for the controller and sensors. All components are used in chip design to minimize the size of the device. *Results and conclusions.* Based on the results of the microelectronic design of the

device, the sensors necessary for the minimum functionality were determined and an algorithm for the operation of the product was developed. The device has a small size (75 × 48 × 22 mm), powered by a powerbank with an output voltage of 5 volts and a current of at least 2.1 amperes, zonal heating temperature up to 40 °C. The operating time of the product with the heaters turned on is 8–10 hours, due to the control of PWM power keys, the time can be increased by reducing the degree of heating.

Keywords: microelectronics, temperature control, information processing, textile industry

For citation: Ovchinnikov D.L., Tychkov A.Yu., Chernyshov D.S., Sashina A.D. Development of a prototype of "smart" clothing with remote control and temperature control by means of microelectronic design. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2022;(4):102–109. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-4-13

Введение

Развитие современных технологий позволяет людям создавать инновационные решения, начиная от тяжелой техники для горнодобывающей промышленности до предметов, встречающихся в повседневной жизни. Так, одним из быстро развивающихся технологических направлений является текстильная промышленность.

Человеческая жизнь требует все больше нововведений и функциональной оснащённости одежды. Для заботы о здоровье, защиты от плохой погоды, работы с мобильными устройствами по беспроводной сети разрабатывается множество различных материалов, способных оценивать состояние человека, передавать данные на электронные устройства, а также отслеживать изменения климата вокруг человека. Благодаря этому в будущем каждый сможет пользоваться «умным» текстильным изделием [1].

В настоящее время известна следующая классификация текстильных материалов [1]: пассивные, активные и «умные». Однако не все известные решения и технологии находятся в свободном доступе.

Благодаря новым технологиям использование умной микроэлектроники в составе одежды набирает обороты не только в индустрии моды, но и в других направлениях отрасли: здравоохранение, военное дело, профессиональный спорт, форма потенциально опасных производств.

Анализ предметной области

Влияние новых технологий на текстильную промышленность не ограничивается разработкой и производством одежды. Теперь данная технология становится частью промышленного текстиля.

Будущее повседневной одежды становится электронным. Так, в ближайшие годы носимая электроника будет иметь меньшие размеры в сравнении с существующими аналогами. Новые электронные ткани будут обладать революционной способностью чувствовать, действовать, хранить, излучать и перемещаться. Достаточно вспомнить функции биомедицинского мониторинга или новые человеко-машинные интерфейсы. В «умную» ткань можно встраивать множество датчиков и исполнительных устройств. И при этом может быть использована существующая инфраструктура текстильной промышленности [2].

«Умную» электронику, типа фитнес-браслетов и смарт-часов, можно удобно и легко носить, она работает круглосуточно в фоновом режиме на протяжении долгого времени, а также регистрирует показатели здоровья.

Одним из важнейших факторов, играющих роль в формирующейся индустрии электронного текстиля, является развитие нанотехнологий. Новые наноматериалы, обладающие внутренней проводимостью, такие как углеродные нанотрубки, графен и другие, позволят соединять управляющий измерительный блок с периферийными устройствами.

Благодаря развитию технологии Интернета вещей (IoT) [3] в ткани могут быть встроены ультратонкие, гибкие и прозрачные датчики, исполнительные механизмы, электроника, а также устройства для выработки или хранения энергии с использованием нанотехнологий. По мере того, как эти электронные компоненты становятся все меньше и практически невидимыми, электронный текстиль с автономным питанием (e-textiles) будет варьироваться от «умной» моды до «умной» одежды для фитнеса. В источнике литературы [4] отмечается, что

исследователи встраивают метаматериалы в одежду, чтобы повысить уровень сигнала между носимыми электронными устройствами.

На данный момент большая часть «изысканной» одежды производится из прогрессивного текстиля с переплетенными схемами. Внедряются датчики и дополнительное оснащение для использования смарт-функций. Так, «умная» одежда может подключаться к приложениям на смартфонах или программному обеспечению на дополнительных устройствах, таких как ноутбуки и персональные компьютеры без проводов, используя протоколы Bluetooth или Wi-Fi [2].

С помощью измерительных датчиков «интеллектуальная» одежда собирает показатели активности и ключевые биометрические данные, которые отправляются в приложения под управлением искусственного интеллекта на смартфон. Данная технология позволит помочь улучшить свое здоровье и производительность человека, а в чрезвычайных ситуациях отправить информацию о местоположении и состоянии потерпевшего в службу спасения [5].

Беспроводное подключение не является обязательным для отнесения одежды к типу «умной» одежды. Соединение с помощью кабеля позволит использовать устройство при слабых источниках энергии, а также сэкономить при производстве за счет уменьшения необходимых для устройства элементов деталей. Однако подобный способ подключения гораздо менее удобный и практичный для конечного пользователя [2].

В книге «Crafting wearables» [6] говорится, что в середине XX в. математики-энтузиасты изобрели ботинок с возможностью обмануть рулетку в казино (при помощи счетчика времени, радиоволн и наушника).

Основным периодом развития подобных технологий стали 80–90-е гг. прошлого столетия, чему способствовали быстроразвивающиеся компьютерные технологии [7]. С приходом электронной ткани (e-textile) и мягкой электроники (soft electronics) в 1998–2000 г. одежда стала проектироваться с интегрированными свойствами компьютера и из специальных материалов [8].

В сотрудничестве с Levi's [2] разработаны специальные нити, производящие электричество. Нити с токопроводимостью, не вступающие в реакцию с влагой, позволяют управлять телефоном или иным гаджетом через специальную программу (рис. 1). Например, включать и выключать музыку можно будет при помощи жеста.

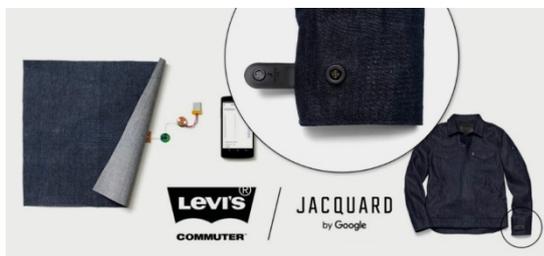


Рис. 1. Куртка The Commuter из «умного» материала для управления смартфоном

В 2011 г. Adidas представил бутсы Adizero f50 с чипом [2], которые в режиме реального времени позволяют отслеживать действия футболистов на поле (рис. 2): измерять скорость бега, темп движения, сердцебиение, различные технические параметры. Впоследствии, проанализировав информацию, игрок или тренер могут сделать необходимые выводы и принять соответствующие рекомендации. Louis Vuitton в 2019 г. (рис. 3) [9] разработал сумку со встроенным экраном, на котором можно воспроизвести видео или фото.



Рис. 2. Бутсы Adidas Adizero f50 со встроенной системой miCoach



Рис. 3. Сумка Louis Vuitton со встроенным экраном

Предлагаемое решение

Перспективной нишей пользователей «умной» одежды являются компании сферы обслуживания. К примеру, число сотрудников в сфере продаж на 2020 г. составляет более 700 тысяч человек (при расчете использовались данные наиболее крупные компании: «Пятерочка» (X5 Retail Group), «Магнит», «Лента») [10]. Сотрудники данной отрасли часто подвержены заболеваниям, связанными с переохлаждением организма: в большинстве магазинов кассы находятся около выхода, следовательно, холодный воздух с улицы довольно свободно проникает внутрь. Также данную проблему можно обнаружить в больших залах таких магазинов, как «Лента», «Metro», «Leroy Merlin» и др. В таких помещениях сложно постоянно поддерживать комфортную для человека температуру.

Одним из вариантов решения будет установка специального оборудования с датчиками температуры, разбросанными по всей площади магазина. Однако это потребует больших затрат на установку и настройку системы, и на ее обслуживание. Но контроль температуры с помощью датчиков можно сделать целенаправленным – поддерживать комфортную температуру для каждого человека.

Таким образом решить сформулированную проблему можно путем использования «умной» одежды с датчиками и нагревательными элементами, способными обеспечить правильную и своевременную регуляцию температуры. Такая одежда сможет подстраиваться под окружающую среду, место нахождения пользователя.

Для создания «умной» одежды необходимо использовать микроконтроллер, способный обрабатывать необходимый объем информации в реальном времени и принимать на ее основе верные решения. Кроме того, для получения данных об окружающей среде нужны дополнительные измерительные датчики. Добавляя большее число источников информации, мы получаем возможность реализовывать зональный контроль, автоматическую адаптацию под окружающую среду и т.д. Перечень датчиков не ограничивается только температурными сенсорами и может включать датчики сердечного пульса, артериального давления, влажности, атмосферного давления, акселерометра, гироскопа, GPS и многие другие [11].

Получив и обработав информацию с измерительных датчиков, контроллеру необходимо сверить определенные значения с контрольными значениями и на их основе принять решение. Для этого можно использовать различные аналоговые и цифровые устройства ввода: переменные резисторы, энкодеры, кнопки, сенсорные панели и пр. Данную функцию можно реализовать с помощью беспроводной связи со смартфоном, например, через Bluetooth или Wi-Fi. В этом случае необходимо либо использовать контроллер со встроенным модулем передачи информации, либо использовать дополнительное устройство. Управление с телефона позволит увеличить функционал «умной» одежды за счет гибкой настройки под каждого пользователя.

Приняв заданные и полученные значения, микроконтроллер должен воплотить определенные инструкции. Так, для подачи напряжения на нагревательные элементы используется реле. Однако данный способ даст ограниченный функционал устройства – будут доступны только два режима «включен» или «выключен». Решить проблему можно с помощью приборов на основе полупроводников – силовых или полевых транзисторов. Благодаря их свойствам появляется возможность использовать широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). Увеличивая или уменьшая процент заполнения, происходит управление степенью нагрева элемента. Пример с разным процентом заполнения можно увидеть на рис. 4. Чем больше промежутков с высоким уровнем сигнала – логической единицей, тем сильнее идет нагрев. И наоборот, чем больше участков с логическим нулем, тем слабее и меньше элемент будет греться. Помимо этого, остаются доступны и режимы «включен»/«выключен».

Увеличив количество транзисторов, можно повысить функционал «умной» одежды, а именно: увеличить количество самостоятельных зон нагрева или повысить максимальную мощность устройства за счет объединения нескольких транзисторов в «параллель», добавить элементы световой индикации в виде светодиодов или светодиодных лент на поверхность одежды.

В качестве источника энергии для устройства подойдет любой современный powerbank, имеющий порт с выдаваемым током не менее 2 А. Однако в этом случае необходим точный расчет сопротивления нагревательного элемента для наиболее эффективной работы, так как выходное напряжение составляет 5 В. При таких параметрах возможно реализовать 9–10 Вт

полезной мощности с учетом потерь и затрат на питание микроконтроллера с периферией. Стандарт быстрой зарядки Quick Charge 4 способен выдавать мощность до 100 Вт, однако большая часть блоков питания/зарядки обладают мощностью около 18 Вт. Дополнительно предлагается использовать разъемы, способные пропускать через себя большие токи, например, USB type-C, позволяющий течь через себя току около 3 А.

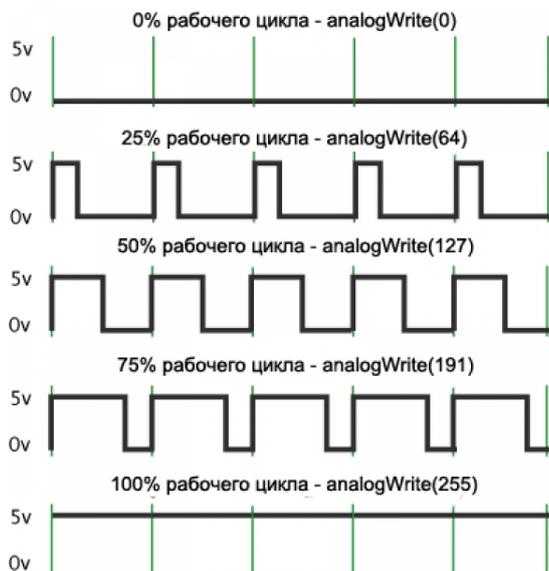


Рис. 4. Пример разного процента заполнения при ШИМ

Типовая схема устройства выглядит следующим образом (рис. 5).

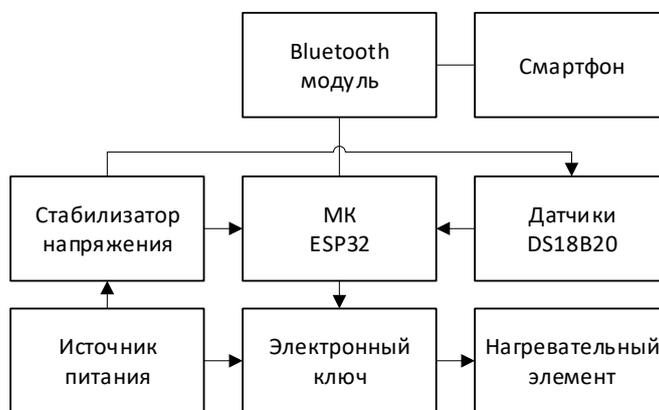


Рис. 5. Типовая схема «умной» одежды с автоматическим подогревом

От источника питания посредством провода происходит подключение к основной плате устройства. Для работы микроконтроллера и датчиков, выбранных в данной схеме, необходимо напряжение в 3,3 В, что обеспечивается с помощью стабилизатора. Контроллер, получая информацию с датчиков и контрольные значения параметров с приложения на смартфоне, обрабатывает ее и подает соответствующую команду на электронный ключ (силовой/полевой транзистор), который, в свою очередь, подключается к нагревательному элементу и напрямую к проводам с источника питания. Обмен данными с приложением на телефоне реализуется с помощью протокола Bluetooth Low Energy, на котором работают все современные смарт-часы и фитнес-браслеты. Он позволяет телефону тратить меньшее количество энергии на взаимодействие с сторонними устройствами, тем самым повышая время работы от аккумулятора.

Блок-схема программного обеспечения «умной» одежды приведена на рис. 6. Для обмена данными с телефоном используется приложение Blynk, доступное для Android, IOS. Для избежания непредвиденных последствий, вызванных неконтролируемым включением нагре-

вательного элемента, на все выходы подается логический ноль, где происходит инициализация датчиков и первичное получение значений с них.

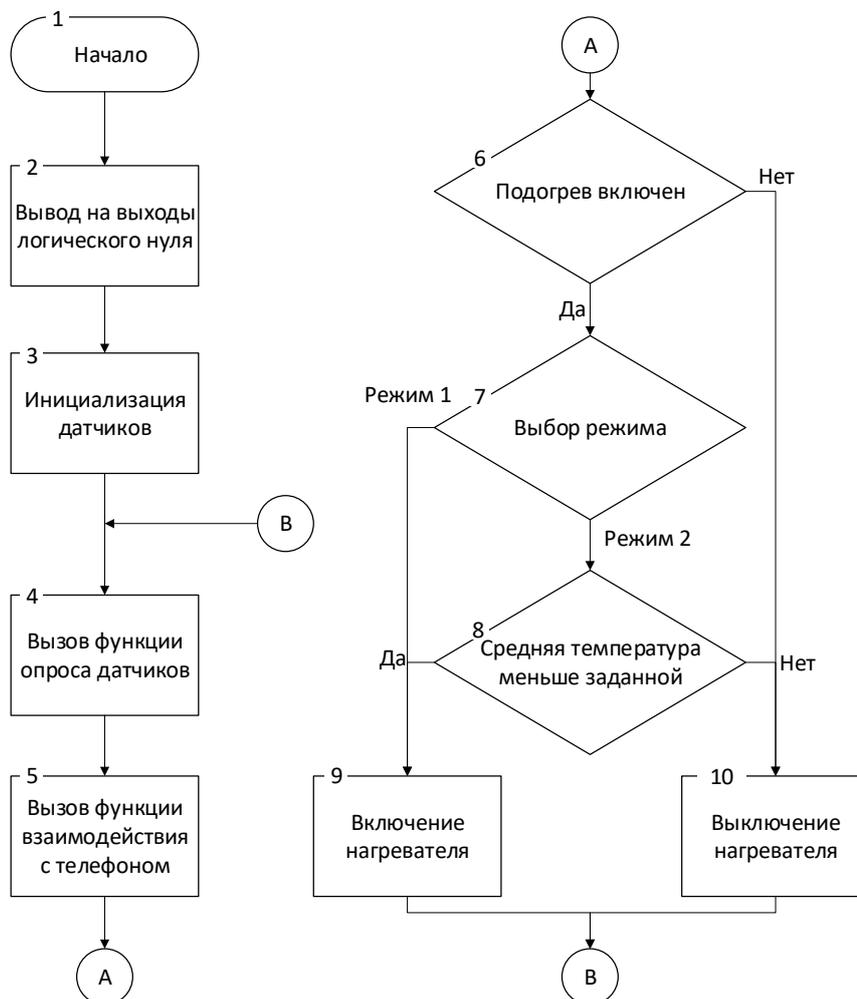


Рис. 6. Пример блок-схемы программы для «умной» одежды с автоматическим подогревом

Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что «умная» одежда на данный момент времени только начинает развиваться. Однако данное направление текстильной промышленности обладает огромным потенциалом. Так, от переохлаждения человека можно будет защитить, не только увеличивая количество утепленных слоев, но и встроив вместо них слой с токопроводящими нитями для нагрева. Это позволит уменьшить затраты на материалы, так как их потребуется гораздо меньше, чем в «классическом» варианте.

Для управления такими устройствами можно будет использовать смартфоны, которые в современном мире есть почти у каждого. Для реализации этой задумки нужно использовать микроконтроллеры с поддержкой беспроводных интерфейсов. Один из контроллеров, обладающий необходимыми характеристиками, – ESP-32. Он может соединяться с телефоном по протоколу Bluetooth Low Energy, что в эпоху смарт-часов и фитнес-браслетов наиболее актуально, ведь они также работают на данном протоколе. Датчики температуры DS18B20 позволят получать точные и достоверные данные всего по одному проводу, что многократно упростит производство и сборку.

Таким образом, устройство будет иметь весь необходимый функционал, а также большие возможности для модернизации, при этом использовать довольно простой алгоритм управления. Благодаря данным преимуществам эта идея имеет огромный потенциал для реализации в виде многосерийного производства.

Список литературы

1. Matteo S., Alessandro C. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review // *Sensors*. 2014. № 14. P. 11957–11992.
2. Кусимидинова М. Х., Решетникова Н. С. «Умная одежда» как пример актуальной коллаборации современных информационных технологий и индустрии моды // *Каспийский регион: политика, экономика, культура*. 2020. № 4. С. 134–140.
3. «Умная» одежда и нательные технологии. // *Habr*. URL: <https://habr.com/ru/company/dataart/blog/387217/> (дата обращения: 15.09.2022).
4. Moradi B., Fernández-García R., Gali I. G. E-Textile Metamaterials: Stop Band Pass Filter // *Applied Sciences*. 2021. № 11. P. 10930.
5. Технологии в кармане: умная одежда и электронный текстиль // *Теории и практики*. URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/1724-tekhnologii-v-karmane-umnaya-odezhda-i-elektronnyu-tekstil> (дата обращения: 15.09.2022).
6. Guler S., Gannon M., Sicchio K. *Crafting Wearables: Blending Technology with Fashion*. CA : Apress, 2016. 229 p.
7. Кутырев А. В. Развитие компьютерных технологий в СССР. Вторая половина 1970-х – начало 1980-х гг. // *Экономический журнал*. 2005. № 1. С. 161–173.
8. Henry M. *Wearable Technology: an Overview of the Patent Landscape*. 2019. URL: <https://henry.law/blog/wearable-technology-patent-landscape/> (дата обращения: 09.08.2022).
9. Koerich G. H., Trevisol N. P., De Souza R. P. L. Luxury and technology: a phenomenological analysis of the Louis Vuitton designer handbags Canvas of the Future // *Modapalavra e-periódico*. 2020. № 29. P. 203–228.
10. Лента (LENT) численность персонала // *SMART-LAB*. URL: <https://smart-lab.ru/q/LENT/MSFO/employees/> (дата обращения: 20.01.2022).
11. Самарин А. Электроника, встроенная в одежду, – технологии и перспективы // *Компоненты и технологии*. 2007. № 4. С. 221–228.

References

1. Matteo S., Alessandro C. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors*. 2014;(14):11957–11992.
2. Kusimidinova M.Kh., Reshetnikova N.S. "Smart clothes" as an example of an actual collaboration of modern information technologies and fashion industry. *Kaspiyskiy region: politika, ekonomika, kul'tura = Caspian region: politics, economics, culture*. 2020;(4):134–140. (In Russ.)
3. "Smart" clothing and wearable technologies. *Habr*. (In Russ.). Available at: <https://habr.com/ru/company/dataart/blog/387217/> (accessed 15.09.2022).
4. Moradi B., Fernández-García R., Gali I.G. E-Textile Metamaterials: Stop Band Pass Filter. *Applied Sciences*. 2021;(11):10930.
5. Technologies in your pocket: smart clothing and electronic textiles. *Teorii i praktiki = Theories and practices*. (In Russ.). Available at: <https://theoryandpractice.ru/posts/1724-tekhnologii-v-karmane-umnaya-odezhda-i-elektronnyu-tekstil> (accessed 15.09.2022).
6. Guler S., Gannon M., Sicchio K. *Crafting Wearables: Blending Technology with Fashion*. CA: Apress, 2016:229.
7. Kutyrev A.V. Development of computer technologies in the USSR. The second half of the 1970s – early 1980s. *Ekonomicheskii zhurnal = Economic Journal*. 2005;(1):161–173. (In Russ.)
8. Henry M. *Wearable Technology: an Overview of the Patent Landscape*. 2019. Available at: <https://henry.law/blog/wearable-technology-patent-landscape/> (accessed 09.08.2022).
9. Koerich G.H., Trevisol N.P., De Souza R.P.L. Luxury and technology: a phenomenological analysis of the Louis Vuitton designer handbags Canvas of the Future. *Modapalavra e-periódico*. 2020;(29):203–228.
10. Tape (LENT) number of staff. *SMART-LAB*. (In Russ.). Available at: <https://smart-lab.ru/q/LENT/MSFO/employees/> (accessed 20.01.2022).
11. Samarin A. Electronics, built-in clothing – technologies and prospects. *Komponenty i tekhnologii = Components and technologies*. 2007;(4):221–228. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Леонидович Овчинников
студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: dmitry_ovch@mail.ru

Dmitry L. Ovchinnikov
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Александр Юрьевич Тычков

доктор технических наук,
профессор кафедры радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tychkov-a@mail.ru

Alexander Yu. Tychkov

Doctor of technical sciences,
professor of the sub-department
of radio engineering and radioelectronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Денис Сергеевич Чернышов

студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: deniska_1980_13@mail.ru

Denis S. Chernyshov

Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Алина Дмитриевна Сашина

студентка,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: sashina-2016@inbox.ru

Alina D. Sashina

Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 13.05.2022

Поступила после рецензирования/Revised 15.06.2022

Принята к публикации/Accepted 18.07.2022