

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЛЕЯ БРАЙЛЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТАКТИЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

А.И. Самсонова, И.А. Суворов, М.Ф. Зимнуров

Алёна Ивановна Самсонова (ORCID 0009-0007-7537-038X), Иван Александрович Суворов (ORCID 0000-0002-1824-0737), Марат Фаридович Зимнуров (ORCID 0000-0002-3115-0912)

Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский проспект, 7, Иваново, 153000, Россия

E-mail: alenyshka.2016.samsonova@mail.ru, unsuorov@gmail.com, zimtir@mail.ru

*В научной статье представлены исследование, необходимые разработке и оптимизации дисплея Брайля на основе ферромагнитной жидкости (ФМЖ) а также пленок поливинилхлорида (ПВХ). Основная цель работы заключается в анализе структурных параметров дисплея и определении ключевых свойств, влияющих на формирование тактильных ячеек знакомест. В начале статьи подробно рассмотрено применение ФМЖ в дисплеях Брайля и её свойства, включая устойчивость к слипанию и возможность формирования структур на поверхности под воздействием магнитного поля. Особое внимание уделяется на необходимость защитной оболочки над ФМЖ для обеспечения долгосрочной надежности и эффективности устройства. В статье показан выбор материала для оболочки, где было решено использовать ПВХ пленку. Обосновывается преимущества этого материала, включая его способность сохранять свойства ФМЖ, обеспечивать точность и надежность тактильного восприятия. Рассмотрены также стандартные и технические параметры ячейки знакоместа, такие как размеры и шрифт Брайля. Данное исследование также включает детальное изучение классификации и свойств пленок ПВХ, подчеркивая их важность для успешной реализации проекта дисплея для незрячих под разнообразные требования и потребности пользователей.*

**Ключевые слова:** ферромагнитная жидкость, поверхностно-активные вещества, дисплей Брайля, брайлевская ячейка, свойства, параметры, магнитное поле, ПВХ пленка.

## INVESTIGATION OF THE A BRAILLE DISPLAY STRUCTURAL PARAMETERS BASED ON FERROFLUID AND DETERMINATION OF PROPERTIES AFFECTING THE FORMATION OF TACTILE CHARACTERISTICS

A.I. Samsonova, I.A. Suvorov, M.F. Zimnurov

Alena I. Samsonova (ORCID 0009-0007-7537-038X), Ivan A. Suvorov (ORCID 0000-0002-1824-0737), Marat F. Zimnurov (ORCID 0000-0002-3115-0912)

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevsky Avenue, 7, Ivanovo, 153000, Russia  
E-mail: alenyshka.2016.samsonova@mail.ru, unsuorov@gmail.com, zimtir@mail.ru

*The scientific article presents the research necessary for the development and optimization of a Braille display based on ferrofluid as well as polyvinyl chloride (PVC) film. The main purpose of the research is to analyze the structural parameters of the display and determine the key properties that affect the formation of tactile character cells. At the beginning the article considers the application of ferrofluid in Braille displays and its properties, including resistance to adhesion and the possibility of forming structures on the surface under the influence of a magnetic field. Special attention is paid to the need for a protective shell over the ferrofluid to ensure long-term reliability and efficiency of the device. The article illustrates the choice of material for the shell, with the final decision of using PVC film. The advantages of this material are substantiated, including its ability to preserve the properties of ferrofluid, to ensure the accuracy and reliability of tactile perception. The standard and technical parameters of the character cell, such as*

sizes and the specifics of the Braille system, are also considered. This research also includes a detailed study of the classification and properties of PVC films, emphasizing their importance for the successful implementation of a display project for the blind for a variety of user requirements and needs.

**Keywords:** ferrofluid, surfactants, Braille display, braille cell, properties, parameters, magnetic field, PVC film.

#### Для цитирования:

Самсонова А.И., Суворов И.А., Зимнуров М.Ф. Исследование структурных параметров дисплея Брайля на основе ферромагнитной жидкости и определение свойств, влияющих на формирование тактильных характеристик. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2024. № 02(60). С.46-52. DOI: 10.6060/ivecofin.2024602.683

#### For citation:

Samsonova A.I., Suvorov I.A., Zimnurov M.F. Investigation of the a Braille display structural parameters based on ferrofluid and determination of properties affecting the formation of tactile characteristics. *Ivecofin*. 2024. N 02(60). С.46-52. DOI: 10.6060/ivecofin.2024602.683 (in Russian)

### ВВЕДЕНИЕ

В современном мире доступ к информации играет ключевую роль как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности, и создание технологий, способных обеспечить доступность и удобство использования для всего общества, является одной из важнейших задач [1-4]. Особенно важно обеспечение доступа к информации для людей с ограниченными возможностями зрения. Существующие на данный момент технологии дисплеев Брайля имеют как преимущества, так и недостатки, что подталкивает к поиску новых решений. Одним из перспективных решений является использование ферромагнитной жидкости (ФМЖ) в дисплее Брайля.

ФМЖ обладает рядом уникальных свойств, таких как высокая магнитная чувствительность и возможность изменения своей формы под воздействием магнитного поля. Именно на основе применения ФМЖ проводится исследование структурных параметров устройства для незрячих с целью выявления тех свойств ФМЖ, которые оказывают наибольшее влияние на формирование тактильных характеристик. Кроме того, в данном исследовании рассматривается применение пленок поливинилхлорида (ПВХ) для формирования защитной оболочки над ФМЖ, что дополнительно повышает устойчивость и долговечность создаваемых дисплеев Брайля.

Целью данного исследования является анализ возможностей использования ФМЖ и ПВХ в дисплеях Брайля с целью улучшения их функциональности и качества восприятия информации. Результаты исследования и анализа структурных параметров дисплея Брайля на основе ФМЖ и ПВХ будут полезными для дальнейшей эффективной разработки и совершенствования технологий тактильной коммуникации и создания

более доступного надежного устройства для людей с нарушениями функции зрения.

### МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для исследования структурных параметров дисплея Брайля, основанного на применении ферромагнитной жидкости (ФМЖ), и определения ключевых свойств влияющих на формирование тактильных характеристик, был использован комплекс методов и материалов:

- проведен анализ существующих технологий и материалов, применяемых в дисплеях Брайля.

- выполнены испытания ФМЖ для оценки его свойств, включая устойчивость к слипанию и способность формирования структур при воздействии магнитного поля.

- осуществлены исследования размеров и параметров ячеек знакомест, включая шрифт Брайля, для полного охвата всех аспектов исследуемой системы.

В результате сформировано комплексное представление о взаимодействии различных элементов и определить оптимальные условия для создания дисплея Брайля с наилучшими тактильными свойствами.

### АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Анализ предметной области включал в себя исследование существующих технологий и материалов, применяемых в дисплеях Брайля, а также их преимуществ и недостатков. В процессе исследований были рассмотрены технические характеристики стандартных ячеек знакоместа, такие как размеры и шрифт Брайля, с целью определения оптимальных параметров для создания устройства с максимальной эффективностью и комфортом для пользователей.

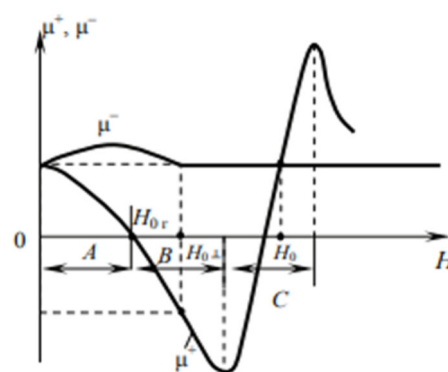
Особое внимание уделено исследованию свойств ФМЖ и их возможного взаимодействия с другими компонентами дисплея, в том числе с за-

щитной оболочкой из ПВХ пленки. Это позволило выявить необходимость выбора подходящего материала для оболочки, обеспечивающего сохранение свойств ФМЖ и обеспечение точности тактильного восприятия. В результате анализа был сделан вывод о возможности использования ПВХ пленок в качестве защитной оболочки, что было обосновано ее преимуществами и соответствием требованиям проекта.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИИ

Исследования по разработке ферромагнитных жидкостей приходится на 60-е года двадцатого века. Над технологией независимо друг от друга работали С.С. Пайпелл (США) и Д.В. Орлов (СССР). Благодаря уникальным свойствам ФМЖ получила широкое практическое применение, ее быстро поставили на коммерческое производство. В настоящее время магнитные жидкости используются при изготовлении многих технических устройств, а их свойства активно исследуются [5-8]. Ферромагнитные жидкости (ФМЖ) представляют собой коллоидные системы, в которых мельчайшие частицы ферромагнитного или ферримагнитного материала находятся во взвешенном состоянии в жидкости, как правило, органическом растворителе или воде. Устойчивость ФМЖ достигается за счет связывания частиц с поверхностно-активным веществом (ПАВ), что приводит к созданию защитной оболочки, которая необходима для предотвращения слипания и разделения частиц под воздействием ван-дер-ваальсовых или магнитных сил [9]. ПАВ формируют на поверхности частиц двойной электрический слой, что приводит к возникновению кулоновских сил отталкивания между частицами, и жидкость дольше остается стабильной. Чем больше сила магнитного поля, при котором не происходит расслоение жидкости, тем лучше качество ФМЖ. При воздействии сильного вертикально направленного магнитного поля на ФМЖ можно наблюдать такой эффект как «неустойчивость в нормально направленном поле». Подобный эффект проявляется в образовании однородной структуры из складок на поверхности жидкости. Это увеличивает свободную энергию поверхности и гравитационную энергию жидкости, но уменьшает энергию магнитного поля. Однако для того чтобы это произошло, магнитное поле должно превысить определенное критическое значение, при котором уменьшение его энергии становится определяющим фактором по сравнению с увеличением энергии поверхности и гравитационной энергии жидкости. Для ФМЖ достаточно маленького стержневого магнита, так как они обладают высокой магнитной восприимчивостью [10].

Как показали экспериментальные исследования [11], методы реализующее устройство позволяют повысить точность определения диэлектрической проницаемости ФМЖ 15–20% и концентрации частиц 16–21% за счет учета в измерениях мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости ФМЖ, взаимодействие линейно поляризованной жидкости происходит в присутствии постоянного магнитного поля, направление вектора напряженности которого совпадает с направлением распространения электромагнитных волн. В результате такого взаимодействия при  $H_0$  в зоне А (рис. 1) наблюдается явление поворота плоскости поляризации (эффект Фарадея) электромагнитной волны.



**Рисунок 1. Зависимости нормированных магнитных проницаемостей левополяризованной и правополяризованной волн  $\mu^+$  и  $\mu^-$  от напряженности постоянного магнитного поля  $H_0$**

**Figure 1. Dependences of the normalized magnetic permeability of the left-polarized and right-polarized waves  $\mu^+$  and  $\mu^-$  on the strength of the constant magnetic field  $H_0$**

Эксплуатационные свойства ферромагнитной жидкости, такие как скорость испарения, зависят от её концентрации: увеличение концентрации на 5% приводит к увеличению скорости испарения примерно в два раза. При хранении в герметичной стеклянной таре ферромагнитная жидкость способна сохранять свои свойства в течение десяти лет, что стоит учитывать при создании устройств на ее основе.

В контексте разработки таких устройств следует учитывать эти характеристики для обеспечения их долговечности и эффективности. Одним из примеров устройств, которые могут использовать ферромагнитную жидкость, является система шрифта Брайля. Система шрифта брайля, разработанная Луи Брайлем в 1824 году, представляет собой способ общения и чтения для людей с нарушением зрения. Этот систематический

метод основан на использовании стопки выпуклых точек, которые представляют отдельные символы, буквы и числа. Однако, чтобы эффективно использовать шрифт брайля, необходимо учитывать размер ячейки шрифта и шаблоны его применения [12]. Стандартные размеры ячейки шрифта брайля (обновляемые ячейки) имеют общепризнанные нормы и меры. Для более удобного использования и восприятия, каждая ячейка состоит из двух вертикально расположенных столбцов, имеющих по три точки в каждом. В общей сложности, каждая ячейка содержит шесть таких точек, что позволяет кодировать до 63 комбинаций для представления алфавита, чисел, знаков препинания и других символов [13]. Ячейки шрифта брайля используются в широком спектре приложений для облегчения повседневной жизни людей с нарушениями зрения. Они широко применяются для создания брайлевских книг, журналов, текстовых документов и навигационных инструкций. Кроме того, ячейки шрифта брайля также используются в брайлевских дисплеях на компьютерах и других электронных устройствах, что обеспечивает доступность информации для пользователей с нарушением зрения [12].

Стандартные размеры ячейки шрифта брайля используются во всем мире и являются универсальными для всех устройств, печатающих шрифт брайля. Это позволяет слепым и слабовидящим людям использовать шрифт брайля на различных устройствах и материалах.

#### 1. Основные размеры ячеек шрифта брайля:

- Ширина ячейки: 2.5 мм.
- Высота ячейки: 2.5 мм.
- Диаметр точки: 1.5 мм.
- Расстояние между центрами соседних точек: 2.5 мм.

Существует несколько размеров ячейки шрифта брайля:

- Стандартный размер — ячейка занимает площадь около 6,8 мм<sup>2</sup>, данный размер является наиболее распространенным и используется в большинстве учебных материалов и компьютерной технике.
- Маленький размер — ячейка занимает площадь около 4,8 мм<sup>2</sup>, данный размер используется в некоторых технических устройствах, где есть ограничения по объему.
- Большой размер — ячейка занимает площадь около 9,6 мм<sup>2</sup>, данный размер используется, когда требуется увеличенная ячейка для улучшения комфорта чтения.

2. Глубина приподнятой точки: когда точка приподнимается, она создает осязаемый рельефный символ. Глубина приподнятой точки обычно составляет от 0.25 до 0.5 мм.

3. Коническая форма точки: точки на ячейке шрифта брайля обычно имеют коническую форму с плоской вершиной. Это позволяет точкам быть удобно воспринимаемыми при пальцевом чтении и обеспечивает более стойкую структуру ячейки.

4. Цвет и отражающие свойства: обычно ячейки шрифта брайля имеют однородный цвет и отражающие свойства для улучшения видимости и восприятия символов [14].

В дисплее Брайля каждая ячейка состоит из 8 брайлевских точек, нумерующихся с верхнего левого угла по часовой стрелке. Эти точки объединяются в ячейки таким образом, что образуются определенные символы брайля. Каждая точка может быть либо выпуклой (точка поднята), либо впуклой (точка опущена) [14]. В зависимости от возраста, уровня физической активности и зрительных возможностей, размер ячейки может различаться. Для детей обычно используется меньший размер ячейки, поскольку их пальцы нежнее и моторика рук еще не полностью развита. У детей также меньше места между линиями в рамках одной строки, чтобы облегчить чтение. Для взрослых людей, у которых есть опыт использования системы Шрифта Брайля, размер ячейки может быть чуть больше, что позволяет им быстрее и точнее считывать текст, особенно при чтении на скорости. У пожилых людей размер ячейки может зависеть от их зрительных возможностей. Если зрение сильно ослабло, размер ячейки может быть увеличен, чтобы облегчить чтение текста. Также существуют специальные размеры ячейки для людей с ограниченными физическими возможностями. Некоторые люди могут иметь ограничения в движении рук или пальцев, поэтому им требуется более крупный размер ячейки для удобного использования [15-17].

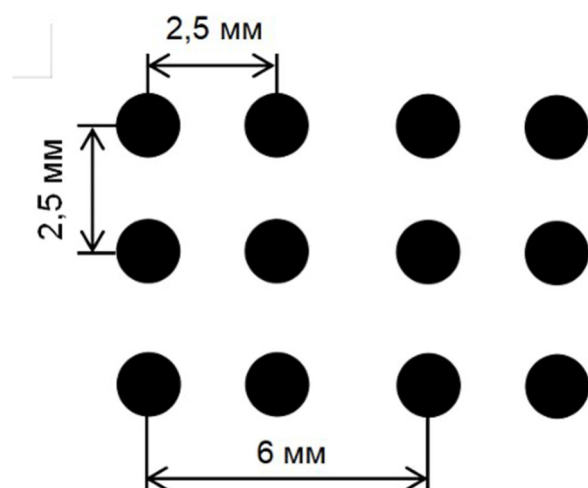
Технические параметры ячеек шрифта брайля играют ключевую роль в обеспечении доступности для людей с ограниченными возможностями зрения. Благодаря стандартизированным размерам и свойствам ячеек, люди, использующие рельефное пальцевое чтение, могут эффективно и точно воспринимать информацию, представленную в брайлевском шрифте. Слишком маленький размер ячейки может привести к трудностям в чтении текста, так как пальцам будет сложно точно различать и транслировать шрифт. Также, слишком маленькая ячейка может затруднить точность нажатия на нужную клетку, что может привести к ошибкам в печати. С другой стороны, слишком большой размер ячейки может ухудшить скорость чтения. Большие ячейки требуют большего количества движений пальцев,

что замедляет процесс чтения текста. Более трудные движения могут привести к снижению скорости чтения и, возможно, утомлению руки [15].

При выборе размера ячейки шрифта брайля необходимо учитывать индивидуальные потребности пользователя. Поэтому разработчики и производители учебных материалов и устройств с шрифтом брайля предлагают разные варианты размеров для обеспечения наилучшей комфортности чтения.

Для моделирования прототипа за основу взяты стандартные (ГОСТ Р 50918) параметры Ячейки Брайля (рис. 2):

- Количество точек – 8 шт.
- Диаметр точки: 1,2 мм.
- Расстояние между точками в ячейке: 2,5 мм.
- Расстояние между центрами первых точек соседних ячеек: 6 мм. [13].



**Рисунок 2. Расстояния между точками обновляемых ячеек**  
**Figure 2. Distances between points of updated cells**

Для формирования оболочки вокруг ферромагнитной жидкости - которая является основным компонентом обновляемых ячеек дисплея Брайля, планируется использовать пленку из поливинилхлорида (ПВХ пленка). Использование материала позволит не только сохранить свойства ферромагнитной жидкости, но и обеспечить долгосрочную надежность и эффективность разрабатываемых устройств. Потенциальное применение пленочного материала из поливинилхлорида (ПВХ), обеспечит точность и надежность тактильного восприятия. В зависимости от целей использования, плёночный ПВХ материал можно классифицироваться:

1. Универсальная пластифицированная пленка. Используется для упаковки разнообразных товаров, производства надувных игрушек, созда-

ния окон в шатрах палатка. Имеет высокую плотность и толщину от 70 до 200 мкм. Она быстро упаковывает товары и предотвращает появление пыли на товарах. Ширина пленки до 1,37 метра.

2. Пленки для натяжных потолков, имеющие особую устойчивость к нагрузкам при разрыве.

3. Стрейч-пленка — это пленка с высокой плотностью и прочностью. Она обеспечивает качественную упаковку и хранение для скоропортящихся продуктов. А также защиту мебели и паллетов от повреждений. Такая пленка может быть пищевой или не пищевой. Ширина рулона достигает обычно 0,25-0,5 метра.

4. Термоусадочные (этикеточные) пленки ПВХ позволяющие плотно прилегать к различным изделиям и принимать их форму при нагревании, часто используются для упаковки пластиковой или стеклянной тары.

5. Пленки термоформовочные, используются для изготовления контейнеров, упаковки медицинских препаратов, одноразовой посуды и других изделий.

6. Пленки с твист-эффектом, необходимы для упаковки конфет в кондитерской промышленности. Обладают свойством фиксации в определенном положении и сохраняющие форму за счет эффекта памяти формы.

По физико-химическим свойствам ПВХ пленки имеют множество преимуществ:

- Гибкость. Материал легко форму принимается и не рвется;
- Высокая прозрачность обеспечивает удобство эксплуатации;
- Устойчивость к микроорганизмам, применяется в различных климатических условиях.
- Стойкость к механическому воздействию, делает материал долговечным;
- Высокий барьер к влаге позволяет сохранить качество продукции;
- Возможность контакта с химическими веществами;
- Легкость при обработке;
- Широкий диапазон толщины (от 70 до 200 мкм) помогает выбрать пленку под необходимую задачу.

Мягкие пленки ПВХ обладают эффективными эксплуатационными характеристиками, что дает возможность их применения в различных климатических и технических условиях [18].

В результате проведенного исследования и анализа материалов в качестве основы для создания брайлевских ячеек выделяются ПВХ пленки как наиболее оптимальный вариант, обеспечивающий точность и надежность тактильного восприятия при существенных пре-

имуществах. Главным достоинством использования ПВХ, является его экономическая доступность. Дешевизна материала делает его предпочтительным выбором для производства, особенно в условиях, где необходимо обеспечить высокое качество при ограниченных бюджетных ресурсах. Более того, простота механической обработки ПВХ пленки позволяет эффективно формировать брайлевские ячейки. Стойкость к ультрафиолетовому излучению делает этот полимер долговечным и подходящим для различных условий эксплуатации. Одной из важнейших характеристик ПВХ пленок является их безопасность, поскольку материал является нетоксичным полимером, это важное свойство дает возможность использования в технологиях, которые могут иметь контакт с пользователями, такими как брайлевские ячейки, обеспечивая высокий уровень безопасности для конечных потребителей.

Таким образом при выборе конкретной пленки для использования с ферромагнитной жидкостью в ячейках брайля важными характеристиками являются гибкость, стойкость к воздействию магнитных полей, прозрачность, и, конечно же, химическая совместимость. С учетом этих требований, лучшим вариантом является пластифицированная мягкая ПВХ-пленка. Пластифицированные мягкие ПВХ-пленки обладают высокой гибкостью, стойкостью к магнитным полям, прозрачностью и химической совместимости с ферромагнитной жидкостью, такие свойства позволяют точно адаптировать пленку к форме брайлевских ячеек, обеспечивая стабильное взаимодействие с магнитными материалами и предоставляют четкое тактильное восприятие контура ячеек. Таким образом, пластифицированные мягкие ПВХ-пленки пред-

ставляют собой наилучший выбор для эффективного и устойчивого использования в ячейках брайля с ферромагнитной жидкостью.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования свойств ферромагнитной жидкости для использования в ячейке знакомого дисплея Брайля показывают, что это новый и перспективный материал, который обладает рядом уникальных свойств. Применение ФМЖ в качестве основного материала для ячеек знакомого дисплея Брайля имеет высокий потенциал для достижения значительной экономической эффективности. Кроме того, использование ФМЖ позволяет создавать более компактные ячейки знакомого, что также снижает стоимость производства и транспортировки устройств. Также использование ФМЖ позволяет уменьшить количество деталей, необходимых для производства дисплея Брайля, что снижает затраты на производство и сборку. Проведен анализ основных свойств материала и выполнено определение влияющих на него параметров, созданы трехмерные модели брайлевских ячеек. Кроме того, для обеспечения высокой точности и надежности тактильного восприятия проведен выбор подходящих материалов для ячеек знакомого. Полученные результаты дают возможность перейти к дальнейшей проработке инновационных дисплеев, которые могут эффективно служить инструментом облегчения повседневной жизни людей с нарушениями зрения, предоставляя им доступ к информации и коммуникации.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflict of interest.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астраханцева И.А., Горев С.В., Астраханцев Р.Г. Фрактальный анализ в оценке эффективности и надежности сложных технических систем. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2023. №4(76). С. 60-68. DOI: 10.6060/snt.20237604.0008. EDN NBDYHR.
2. Миролюбова А.А., Балакин М.А., Милославский М.Ю. Прогнозирование курса китайского юаня на основе генетического алгоритма нейросетей. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством [Ивэкофин]*. 2023. № 4(58). С. 62-70. DOI: 10.6060/ivecofin.2023584.665. EDN RHZBMO.
3. Ксенофонтова О.Л., Миролюбова А.А., Фокин С.А. Использование методов интеллектуального анализа данных в банковской сфере. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2023. № 4(76). С. 76-83. DOI: 10.6060/snt.20237604.00010. EDN ZDZZAO.
4. Морозов Е.Н., Горев С.В. Математические модели для оптимизации машиночитаемых регулятивных систем. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством [Ивэкофин]*. 2023. № 4(58). С. 71-78. DOI: 10.6060/ivecofin.2023584.666. EDN LLSUGG.

#### REFERENCES

1. Astrakhanitseva I.A., Gorev S.V., Astrakhansev R.G. Fractal analysis in assessing the efficiency and reliability of complex technical systems. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2023. N 4(76). P. 60-68. DOI: 10.6060/snt.20237604.0008. EDN NBDYHR. (in Russian).
2. Miroyubova A.A., Balakin M.A., Miloslavsky M.Yu. Forecasting the china rmb ratebased on genetic algorithm of neural networks. *Ivecofin*. 2023. N 04(58). С.62-70. DOI: 10.6060/ivecofin.2023584.665. EDN RHZBMO. (in Russian).
3. Ksenofontova O.L., Miroyubova A.A., Fokin S.A. Using data mining methods in the banking sector. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2023. N 4(76). P. 76-83. DOI: 10.6060/snt.20237604.00010. EDN ZDZZAO. (in Russian).
4. Morozov E.N., Gorev S.V. Mathematical models for optimization of machine-readable regulation. *Ivecofin*. 2023. N04(58). С.71-78. DOI: 10.6060/ivecofin.2023584.666. EDN LLSUGG. (in Russian).
5. Friedrichsberg D.A. Course of colloidal chemistry: textbook for universities. Leningrad: Chemistry. 1984. 369 p. (in Russian).

5. **Фридрихсберг Д.А.** Курс коллоидной химии: учеб. для вузов. Л.: Химия. 1984. 369 с.
6. **Каганов М.И., Цукерник В.М.** Природа магнетизма. М.: Наука. 1982. 192 с.
7. ScienceDirect website. <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/ferrofluid/>.
8. **Лабутин А.Н., Алексеев Е.А.** Синтез алгоритмов управления температурой в реакторе твердофазного дополиамидирования. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 3(67). С. 63-69. DOI: 10.6060/snt.20216703.0009. EDN KHMVSO.
9. **Брук Э.Т., Фертман В.Е.** «Ёж» в стакане. Магнитные материалы: от твёрдого тела к жидкости. Минск: Вышэйшая школа. 1983. 253 с.
10. **Ванин А.А.** От ионов и молекул к магнитным наночастицам и далее к функциональным материалам на их основе. Методические материалы к проекту. 2019. <https://sochi-sirius.ru/obuchenie/nauka/smena348/1736>.
11. **Котов И.О., Чернышов В.Н.** СВЧ-метод и устройство определения электрофизических параметров ферромагнитных жидкостей на базе критичного волновода. *Вестник ТГТУ*. 2010. Т. 16. № 2. С.303-313.
12. **Барabanова Е.А., Гранкин С.С., Шапошникова Н.И.** Многоязычное устройство вывода информации для людей с проблемами зрения. *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. 2016. № 4 (65). С. 110-120.
13. ГОСТ Р 50918. Государственный стандарт Российской Федерации. Устройства отображения информации по системе Брайля. Общие технические условия. <https://docs.cntd.ru/document/1200025869>.
14. **Крюкова Ю.А.** Реализация проекта «Мир на кончиках пальцев». В сб. *«Актуальные проблемы социокультурного образования»*. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет. 2016. С. 122-125.
15. **Гуторова Н.В., Дашкевич И.П., Зелинская В.А.** Азбука Брайля для незрячих – ключ к грамотности и независимости. В сб. *научных публикаций «Актуальные проблемы инклюзии: качество жизни, безбарьерная среда, образование без границ»*. М.: Московский государственный университет дизайна и технологии. 2016. С. 127-130.
16. **Суворов И.А.** Разработка автоматизированной системы для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с использованием систем обработки изображений. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством [Ивэкофин]*. 2022. № 3(53). С. 101-108. DOI: 10.6060/ivecofin.2022533.619. EDN XJIJSA.
17. **Макшанова А.О., Зимнуров М.Ф.** Мемоизация и агрегация в визуализации построения химических соединений. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством [Ивэкофин]*. 2022. № 2(52). С. 106-111. DOI: 10.6060/ivecofin.2022522.607. EDN YSSNPT.
18. Сайт «ООО «Факел-БК». <https://fkfd.ru/news/vidy-pvkh-plyenki-i-eye-primenenie/>.
6. **Kaganov M.I., Tsukernik V.M.** The nature of magnetism. M.: Nauka. 1982. 192 p. (in Russian).
7. ScienceDirect website. <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/ferrofluid/>.
8. **Labutin A.N., Alekseev E.A.** Synthesis of temperature control algorithms in a solid-phase dopolyamidation reactor. *Modern high technology. Regional application*. 2021. N3(67). P. 63-69. DOI: 10.6060/snt.20216703.0009. EDN KHMVSO. (in Russian).
9. **Brooke E.T., Fertman V.E.** "Hedgehog" in a glass. Magnetic materials: from solid to liquid. Minsk: Higher School. 1983. 253 p. (in Russian).
10. **Vanin A.A.** From ions and molecules to magnetic nanoparticles and further to functional materials based on them. Methodological materials for the project. 2019. <https://sochi-sirius.ru/obuchenie/nauka/smena348/1736>. (in Russian).
11. **Kotov I.O., Chernyshov V.N.** Microwave method and device for measuring electro-physical parameters of ferromagnetic liquids based on sensitive waveguide. *Bulletin of TSTU*. 2010. Vol. 16. N 2. P.303-313. (in Russian).
12. **Barabanova E.A., Grankin S.S., Shaposhnikova N.I.** A multilingual output device for people with eyesight problems. *Scientific Bulletin of Novosibirsk State Technical University*. 2016. N 4 (65). P. 110-120. (in Russian).
13. GOST R 50918. The state standard of the Russian Federation. Devices for displaying information in the Braille system. General technical specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200025869>. (in Russian).
14. **Kryukova Yu.A.** Implementation of the project "The World at Your Fingertips". *Materials of the conference «Actual problems of socio-humanitarian education»*. Ekaterinburg: Ural State Pedagogical University. 2016. P. 122-125. (in Russian).
15. **Gutorova N.V., Dashkevich I.P., Zelinskaya V.A.** Braille alphabet for the blind – the key to literacy and independence. *Materials of scientific publications «Actual problems of inclusion: quality of life, barrier-free environment, education without borders»*. Moscow: Moscow State University of Design and Technology. 2016. P. 127-130. (in Russian).
16. **Suvorov I.A.** Development of an automated system for textile surface quality analysis of a fiber composite layer using image processing systems. *Ivecofin*. 2022. N 03(53). C.101-108. DOI: 10.6060/ivecofin.2022533.619. EDN XJIJSA. (in Russian).
17. **Makshanova A.O., Zimnurov M.F.** Memoization and aggregation in the visualization of the chemical compounds construction. *Ivecofin*. 2022. N 02(52). C.106-111. DOI: 10.6060/ivecofin.2022522.607. EDN YSSNPT. (in Russian).
18. The website of LLC "Fakel-BK". <https://fkfd.ru/news/vidy-pvkh-plyenki-i-eye-primenenie/>. (in Russian).

Поступила в редакцию 27.04.2024  
Принята к опубликованию 11.05.2024

Received 27.04.2024  
Accepted 11.05.2024