EDN: IXKDNY DOI: https://doi.org/10.65912/2782-5507.2026.22.3.003
УДК 681.586 *2.2.6*

ПАТЕНТНЫЙ ЛАНДШАФТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЕЛЫ В ОБЛАСТИ ГИБКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ СЕНСОРОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ

М.А. Хисматуллов, А.Л.Овчинников

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Проведён патентный анализ 10 документов за 2011–2026 гг., посвящённых гибкой электронике, интегрированной в текстиль для распознавания движений человека. Цель работы – систематизировать существующие технические решения по трём критериям (способ измерения, тип сенсора, метод интеграции) и выявить неразработанные направления для последующего патентования. Использованы базы данных Google Patents, Espacenet, Patentscope и ФИПС, глубина поиска – 15 лет. Выявлены четыре основных физических принципа работы датчиков (резистивный, ёмкостный, пьезоэлектрический, оптоволоконный), пять конструктивных типов сенсоров и четыре метода интеграции в текстильную основу. Установлено, что основные патентообладатели – зарубежные корпорации (Google, Meta, Adidas) и университет (ETH Zurich), в то время как патентная активность Российской Федерации крайне низка (единичные патенты). Сформулированы пять технологических «белых пятен»: комбинированные резистивно-ёмкостные датчики, алгоритмы автоматической калибровки и компенсации дрейфа, методы различения движений человека и внешних деформаций одежды, адаптация к контактным видам спорта, стандартизация интерфейсов. Предложены рекомендации для российских разработчиков, направленные на импортозамещение и создание конкурентоспособных систем «умной одежды».

Ключевые слова: гибкая электроника, текстильный сенсор, распознавание движений, патентный анализ, умная одежда, белые пятна.

Введение

В последнее десятилетие наблюдается бурное развитие гибкой и носимой электроники, что обусловлено как прогрессом в области материаловедения (появление проводящих полимеров, нанокомпозитов, эластичных подложек), так и растущим спросом на системы непрерывного мониторинга биомеханических параметров человека. Такие системы востребованы в спорте высших достижений (анализ техники движений, профилактика травм), медицинской реабилитации (объективная оценка восстановления после инсульта или эндопротезирования), эргономике и человеко-машинных интерфейсах [1, 2].

Однако существующие решения – оптические системы захвата движения (Vicon, OptiTrack) и инерциальные измерительные модули (Xsens MVN) – обладают существенными ограничениями: высокая стоимость (от 800 тыс. руб. до 5 млн руб.), необходимость специально оборудованных лабораторий, чувствительность к электромагнитным полям и жёсткие элементы, затрудняющие интеграцию в одежду [3, 4].

Наиболее перспективным направлением является использование гибких датчиков деформации, интегрированных непосредственно в текстильную оболочку («умная одежда»). Такой подход позволяет сохранить естественную эргономику, не ограничивать движения и проводить мониторинг в реальных условиях – на тренировочном поле, во время реабилитационных упражнений дома или в обычной жизни [5].

Несмотря на большое количество публикаций и патентов, отсутствует систематизация существующих технических решений, что затрудняет выбор оптимальной конструкции и выявление направлений для новых разработок. Особенно остро эта проблема стоит в Российской Федерации, где патентная активность в данной области крайне низка, а потребность в импортозамещении высока.

Цель настоящей работы – провести патентный анализ в области гибкой электроники, интегрированной в текстиль для распознавания движений, классифицировать выявленные решения по способу измерения, типу сенсора и методу интеграции, а также определить технологические «белые пятна» и перспективные направления для патентования и коммерциализации.

Материалы и методы

Патентные исследования проводились в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2022 . Поиск осуществлялся по следующим международным и национальным патентным базам данных: Google Patents, Freepatentsonline, Justia Patents, Patentscope (WIPO), Espacenet, ФИПС. Глубина поиска составила 15 лет (2011–2026 гг.), поскольку именно в этот период наблюдался наиболее интенсивный рост патентной активности в области электротекстиля.

Ключевые слова (на русском и английском): «wearable textile strain sensor», «conductive fabric motion recognition», «e-textile gesture detection», «гибкая электроника текстиль распознавание движений», «интеллектуальная ткань сенсор деформации», «умный текстиль мониторинг», «ёмкостный текстильный датчик жест».

Классы Международной патентной классификации (МПК): A61B 5/11 (измерение движений тела человека), G01B 7/16 (измерение деформации), D03D 1/00 (ткани специального назначения), H05K 1/03 (гибкие печатные платы), G06F 3/01 (интерфейсы ввода/вывода).

Отбор релевантных патентных документов производился по следующим критериям: (1) раскрытие технического решения, связанного с измерением деформации ткани или тела человека с помощью гибких датчиков, интегрированных в текстиль; (2) наличие описания конкретного конструктивного исполнения сенсорного элемента или способа его интеграции; (3) соответствие теме распознавания движений человека (в том числе в спортивных и реабилитационных приложениях); (4) дата публикации не ранее 2010 года.

Всего было проанализировано 10 релевантных патентных документов, все приняты к детальному рассмотрению. Классификация проводилась по трём ключевым критериям: способу измерения (физическому принципу), типу сенсора (конструктивному исполнению) и методу интеграции в текстильную оболочку.

Результаты

Классификация по способу измерения

По физическому принципу преобразования механической деформации в электрический сигнал все проанализированные патентные решения разделяются на четыре основные группы: резистивные, ёмкостные, оптоволоконные и гибридные (табл. 1).

Таблица 1. Классификация патентов по способам измерения

Способ измерения	Пример патента	Сущность решения
1	2	3
Резистивный	US20170176167A1 (Oculus, 2017)	Вышитый тензочувствительный элемент из проводящей эластичной нити, регистрирующий изменение сопротивления при деформации [5]

1	2	3
Резистивный	US20200338868A1 (Тайвань, 2019)	Эластичный проводящий композитный текстиль с линейной или экспоненциальной зависимостью сопротивления от деформации [6]
Ёмкостный	WO2024104938A1 (ETH Zurich, 2024)	Текстильный емкостный датчик с LC-резонатором для беспроводного считывания деформации без встроенных батарей [7]
Ёмкостный	US9983747B2 (Google, 2018) – Project Jacquard	Тканый ёмкостный сенсор из двух слоёв с токопроводящими нитями для распознавания касаний [8]
Оптоволоконный	FR2949850A1 (2010)	Армированный тканым оптоволокном сенсор с волоконными решётками Брэгга (FBG)1 [9]
Гибридный	US20240000383A1	Комбинирование инерциальных датчиков с датчиками растяжения на основе электрической или оптической энергии [10]

Наибольшее количество патентов относится к ёмкостным датчикам (5 из 10, 50%), резистивные датчики также широко представлены (3 из 10, 30%). Резистивные датчики обеспечивают высокую чувствительность (фактор тензочувствительности GF = 8–20), широкий диапазон деформаций (до 100%) и низкую стоимость при простоте интеграции. Основные недостатки – гистерезис, дрейф и нелинейность отклика [2, 4].

Классификация по типу сенсора и методу интеграции

По конструктивному исполнению выделены пять типов сенсоров: интегральные проводящие нити, многослойные структуры, вышитые сенсоры, печатные сенсоры, оптоволоконные структуры. По методу интеграции – вплетение (weaving), вышивка (embroidery), печать (printing), ламинирование (laminating).

Наиболее технологичными и коммерчески успешными решениями являются:

— вплетение проводящих нитей на этапе ткачества (Project Jacquard от Google);
— ламинирование многослойных сенсорных структур (Adidas, Meta);
— вышивка проводящих нитей на готовую ткань (Oculus).

Для спортивной экипировки, подвергающейся интенсивным механическим нагрузкам и воздействию влаги, оптимален гибридный подход: в зонах суставов – вышитые сенсоры, а для электронных модулей – вшиваемые герметичные карманы с силиконовой инкапсуляцией.

Основные патентообладатели и региональная структура

Крупнейшими патентообладателями являются:

— Google LLC – Project Jacquard (ёмкостные тканые сенсоры) [8] и другие разработки [11];
— Meta Platforms – вязаные ёмкостные сенсоры с подавлением артефактов [12];
— Adidas AG – сенсорные гарнитуры с текстильной частью [13];
— ETH Zurich – текстильные емкостные датчики с LC-резонатором для беспроводного считывания деформации [7].

Российская Федерация представлена единичными патентами:

— RU 2015102835 A [14] – устройство с эластичным проводящим треком на ткани.

Патентная активность российских заявителей значительно ниже, чем зарубежных, а имеющиеся единичные решения не относятся к законченным системам распознавания движений на основе гибкой электроники, что указывает на высокий потенциал для импортозамещения.

Выявленные технологические пробелы («белые пятна»)

На основе анализа 10 патентных документов сформулированы пять направлений, слабо проработанных в существующих решениях и перспективных для дальнейшего патентования.

1. Комбинированные резистивно-ёмкостные датчики в одном текстильном элементе. Отдельные патенты описывают либо резистивные, либо ёмкостные конструкции. Объединение обоих принципов позволило бы взаимно компенсировать недостатки: резистивный канал обеспечивает высокую чувствительность к статическим деформациям, ёмкостный – быстрый динамический отклик и меньший дрейф.
2. Методы автоматической калибровки и компенсации дрейфа параметров. Большинство патентов описывают конструкцию датчиков, но не раскрывают алгоритмы автоматической компенсации дрейфа при стирках, циклических нагрузках, изменении температуры и влажности. Патент Meta [12] содержит элементы решения (полимерные патчи, ограничивающие деформацию электродов), однако универсальных алгоритмов не выявлено.
3. Алгоритмы различения движений человека от внешних деформаций одежды. В реальной эксплуатации текстиль подвергается не только деформациям от движений тела, но и внешним воздействиям (ветер, зацепления, надевание/снятие). Разработка алгоритмов фильтрации таких артефактов на основе анализа временных рядов с нескольких датчиков остаётся открытой задачей.
4. Адаптация систем к контактным видам спорта (хоккей, футбол, регби). Существующие патенты ориентированы на фитнес, медицинскую реабилитацию или бытовое использование. Решения, адаптированные к ударным нагрузкам, вибрациям, низким температурам, воздействию пота и многократным стиркам, практически отсутствуют.
5. Стандартизация интерфейсов и протоколов передачи данных. Подавляющее большинство патентов описывают частные решения, не совместимые друг с другом. Отсутствуют патенты на стандартизированные интерфейсы подключения текстильных сенсоров к универсальным вычислительным модулям, что затрудняет создание модульных, взаимозаменяемых систем.

Обсуждение

Полученные результаты позволяют утверждать, что в области гибкой электроники, интегрированной в текстиль для распознавания движений, сформирована плотная патентная среда за рубежом при крайне низкой активности в Российской Федерации. Это создаёт благоприятные условия для импортозамещения и разработки отечественных конкурентоспособных решений.

Наиболее перспективными для российских разработчиков являются следующие направления:

- создание комбинированных резистивно-ёмкостных датчиков с использованием доступных материалов (Ag/PDMS, углеродные нанотрубки, графен);
- разработка алгоритмов автоматической калибровки и компенсации дрейфа, реализуемых на маломощных микроконтроллерах (ESP32, STM32);
- проектирование текстильной экипировки для контактных видов спорта с влагозащитой и ударопрочностью;

− предложение стандартизованных протоколов передачи данных от текстильных сенсоров к периферийным устройствам (смартфон, планшет, облачный сервер).

Проведённый патентный анализ также показал, что большинство зарубежных патентов используют либо резистивные, либо ёмкостные принципы изолированно, тогда как их комбинация практически не встречается. Это «белое пятно» может быть закрыто подачей заявки на полезную модель или изобретение в Роспатент.

Заключение

В результате патентного анализа 10 документов за 2011–2026 гг. впервые предложена многокритериальная классификация технических решений в области гибкой электроники для распознавания движений, интегрированной в текстильную оболочку. Классификация включает три оси: способ измерения (резистивный, ёмкостный, оптоволоконный, гибридный), тип сенсора (пять конструктивных типов) и метод интеграции (вплетение, вышивка, печать, ламинирование).

Выявлены основные патентообладатели (Google, Meta, Adidas, ETH Zurich) и установлена низкая патентная активность Российской Федерации. Сформулированы пять технологических «белых пятен», представляющих интерес для дальнейших исследований и патентования: комбинированные резистивно-ёмкостные датчики, автоматическая калибровка и компенсация дрейфа, фильтрация внешних деформаций, адаптация к контактным видам спорта, стандартизация интерфейсов.

Разработанные рекомендации могут быть использованы российскими научно-исследовательскими и промышленными организациями для выбора приоритетных направлений при создании систем «умной одежды» для спорта и реабилитации.

Дополнительные материалы

Благодарности

Благодарности. При подготовке данной рукописи авторы использовали DeepSeek (2026) для редактирования формулировок и генерации черновиков отдельных разделов. Авторы проверили и отредактировали полученный результат и несут полную ответственность за содержание

Доступность данных

Доступность данных. Исследование основано на анализе открытых патентных документов и опубликованных научных статей. Все источники указаны в списке литературы. Новых первичных данных не создавалось.

Список литературы

1. Yamada, T. A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection / T. Yamada, Y. Hayamizu, Y. Yamamoto, Y. Yomogida, A. Izadi-Najafabadi, D. N. Futaba, K. Hata // Nature Nanotechnology. – 2011. – Vol. 6. – № 5. – P. 296-301.
2. Amjadi, M. Stretchable, skin-mountable, and wearable strain sensors and their potential applications: a review / M. Amjadi, K. U. Kyung, I. Park, M. Sitti // Advanced Functional Materials. – 2016. – Vol. 26. – № 11. – P. 1678-1698.
3. Atalay, O. Textile-based strain sensors for wearable applications / O. Atalay, A. Atalay, J. Gafford, C. Walsh // Advanced Materials Technologies. – 2017. – Vol. 2. – № 9. – P. 1700136.
4. Roh, J. S. Textile-based wearable sensors for healthcare monitoring / J. S. Roh, Y. S. Chi, T. J. Kang // Textile Research Journal. – 2018. – Vol. 88. – № 12. – P. 1403-1420.

5. Патент US20170176167A1. Embroidered strain sensing elements / Keller S. J., Trutna T. T., Perek D. R. [et al.] ; патентообладатель Meta Platforms Technologies LLC, Oculus VR Inc. – № 14/975,465 ; заявл. 18.12.2015 ; опубл. 22.06.2017. – URL: https://patents.google.com/patent/US20170176167A1/ (дата обращения: 11.08.2026).
6. Патент US20200338868A1. Elastic conductive composite fabric capable of detecting and providing electrical signals according to reflections of limbs and body movements / Huang C.-F., Chung S.-F., Hsiang S.-J. ; патентообладатель Zhen Ding Technology Co. Ltd. – № 16/511,222 ; заявл. 15.07.2019 ; опубл. 29.10.2020. – URL: https://patents.google.com/patent/US20200338868A1/ (дата обращения: 11.08.2026).
7. Патент WO2024104938A1. Novel sensors suitable for monitoring movement and other biophysical parameters / Menon C., Cuthbert T., Galli V., Ahmadizadeh C., Roberjot P. ; патентообладатель Eidgenoessische Technische Hochschule Zurich (ETHZ). – № PCT/EP2023/081561 ; заявл. 13.11.2023 ; опубл. 23.05.2024. – URL: https://patents.google.com/patent/WO2024104938A1/ (дата обращения: 11.08.2026).
8. Патент US9983747B2. Two-layer interactive textiles / Poupyrev I. ; патентообладатель Google LLC. – № 14/959,730 ; заявл. 04.12.2015 ; опубл. 29.05.2018. – URL: https://patents.google.com/patent/US9983747B2/ (дата обращения: 11.08.2026).
9. Патент FR2949850A1. Capteur renforcé avec une fibre optique tissée dans un tissu / Ishibashi H., Susuki H., Oka K. [et al.] ; патентообладатели Japan Atomic Energy Agency, Kumagai Gumi Co Ltd, Fibex Co Ltd. – № 1056326 ; заявл. 30.07.2010 ; опубл. 11.03.2011. – URL: https://patents.google.com/patent/FR2949850A1/ (дата обращения: 11.08.2026)
10. Патент US20240000383A1. Motion Recognition Clothing™ with Inertial Sensors and Electrical or Optical Strain Sensors / Connor R. A. ; патентообладатель Medibotics LLC. – № 18/369,129 ; заявл. 15.09.2023 ; опубл. 04.01.2024. – URL: https://patents.google.com/patent/US20240000383A1/ (дата обращения: 11.08.2026).
11. Патент US10492302B2. Textile computing platform with capacitive touch and gesture sensing / Poupyrev I., Gong N.-W., Lee J., Parviz B. ; патентообладатель Google LLC. – № 15/469,133 ; заявл. 24.03.2017 ; опубл. 26.11.2019. – URL: https://patents.google.com/patent/US10492302B2/ (дата обращения: 11.08.2026).
12. Патент US20250306718A1. Knitted capacitive sensor with artifact suppression / Keller S. J., Perek D. R., Trutna T. T. [et al.] ; патентообладатель Meta Platforms Technologies, LLC. – № 18/826,996 ; заявл. 11.07.2024 ; опубл. 02.10.2025. – URL: https://patents.google.com/patent/US20250306718A1/ (дата обращения: 11.08.2026).
13. Патент US12207691B2. Textile-based sensor harness for motion capture / Adidas AG. – № 17/840,155 ; заявл. 14.06.2022 ; опубл. 28.01.2025. – URL: https://patents.google.com/patent/US12207691B2/ (дата обращения: 11.08.2026).
14. Патент RU 2015102835 A. Устройство с эластичным проводящим треком на ткани / [автор не указан]. – № 2015102835 ; заявл. 22.01.2015 ; опубл. 27.06.2016. – URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2015102835 (дата обращения 11.08.2026).

PATENT LANDSCAPE AND TECHNOLOGY GAPS IN FLEXIBLE TEXTILE SENSORS FOR MOTION RECOGNITION

M.A. Khismatullov, A.L.Ovchinnikov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

Absrtact. A patent analysis of 10 documents for 2011–2026 on flexible electronics integrated into textiles for human motion recognition is carried out. The aim is to systematise existing technical solutions according to three criteria (measurement principle, sensor type, integration method) and to identify underdeveloped areas for further patenting. Databases Google Patents, Espacenet, Patentscope and FIPS are used; search depth – 15 years. Four main physical principles (resistive, capacitive, piezoelectric, fibre-optic), five sensor design types and four integration methods are identified. Major patent holders are foreign corporations (Google, Meta, Adidas) and a university (ETH Zurich), while patent activity of the Russian Federation is extremely low. Five technology "white spots" are formulated: combined resistive-capacitive sensors, auto-calibration and drift compensation algorithms, methods for distinguishing human movements from external clothing deformations, adaptation to contact sports, interface standardisation. Recommendations for Russian developers aimed at import substitution and creation of competitive smart clothing systems are given.

Keywords: flexible electronics, textile sensor, motion recognition, patent analysis, smart clothing, white spots.

Статья представлена в редакцию 11 августа 2026г.