

УДК 687.03:004.89

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_3\_183

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ  
ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

**MULTIFUNCTIONAL DIGITAL MODEL OF TEXTILE MATERIAL**

*Е.Ю. ДОЛГОВА, М.А. ЧИЖИК,*

*E.YU. DOLGOVA, M.A. CHIZHIK*

**(Омский государственный технический университет)**

**(Omsk State Technical University)**

E-mail: dolgova13@rambler.ru, margarita-chizhik@rambler.ru

*Статья посвящена разработке алгоритма создания многофункциональной цифровой модели текстильного материала. Цифровая модель реализуется взаимосвязанными функциональными модулями, отвечающими за определение характеристик, прогнозирование значений показателей свойств, выдачу рекомендаций по целевому применению, визуализацию поведения текстильного материала при формообразовании. Цифровая модель построена на основе авторской методики определения свойств материала с помощью разработанных математических моделей, использующих данные о строении материала и его сырьевом составе. В качестве основных инструментов для разработки цифровой модели использованы технологии искусственного интеллекта: компьютерное зрение, различные виды машинного обучения и нейросети.*

*The article proposes an algorithm for creating a multifunctional digital model of textile material. The digital model is presented in the form of interconnected modules responsible for the following functions: identification of the material, predicting the values of property indicators, issuing recommendations for the intended use and visualization of the behavior of textile material during shaping. The digital model is based on the author's methodology for determining the properties of the material with the help of the developed mathematical models using data on the structure of the material and its raw material composition. Artificial intelligence technologies are used as the main tools for developing a digital model: computer vision, various types of machine learning and neural networks.*

**Ключевые слова:** цифровая модель, текстильный материал, искусственный интеллект, алгоритм, идентификация, прогнозирование свойств, визуализация.

**Keywords:** digital model, textile material, artificial intelligence, algorithm, identification, prediction of properties, visualization.

В настоящее время все этапы проектирования швейного изделия или предмета одежды можно осуществлять в цифровой среде, обеспечивающей существенное сокращение времени на разработку продукта, снижение потребности в физических образцах материалов, повышение эффективности бизнеса и управленческих процессов, высокий уровень гибкости компаний и способность реагировать на меняющиеся потребности рынка. В свою очередь, точное удовлетворение запросов потребителей влечет за собой сокращение отходов, возникающих в результате нерезализованной продукции. Соответственно уменьшается неблагоприятное воздействие на экологию, сокращается углеродный след.

В индустрии моды уже сегодня широко применяются цифровые модели человеческого тела (аватары), технологии трехмерной визуализации, виртуальные примерки одежды. Однако без создания цифровой модели (ЦМ) материала невозможно получить реалистичный виртуальный 3D-образец изделия, спрогнозировать поведение материала и изделия при обработке и эксплуатации. Создание технологии оцифровки текстильного материала (ТМ) позволит осуществить полную цифровую трансформацию процессов производства и реализации одежды.

Определение свойств и поведения материалов в процессе производства и эксплуатации традиционно проводится экспериментальным методом. В производственных условиях это сложно реализуемо, так как требуются существенные материальные и временные затраты на проведение исследований, реальные образцы материалов, испытательное оборудование, опытные специалисты. Даже простой выбор и закупка материалов требуют личного присутствия покупателя, потому что предусматривают визуальный и тактильный контакт с ними.

Необходимость создания ЦМ материалов обострилась в период пандемии, когда многие виды деятельности и процессы перешли в онлайн-формат, что повысило потребность в разработке цифровых продуктов.

Цель данного исследования – разработка алгоритма создания ЦМТМ, которая позволит определять характеристики, прогнозировать значения показателей свойств, поведение материала при изготовлении и эксплуатации изделий без физического контакта с ним и без инструментальных исследований.

Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021 "цифровая модель изделия – это система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям".

В настоящее время работы по созданию ЦМТМ ведутся российскими и зарубежными научно-исследовательскими коллективами, но готового решения пока не создано. Следует отметить, что в статьях [1...5] авторами рассматриваются отдельные аспекты, подходы, касающиеся технологии создания ЦМТМ.

Вместе с тем решение задачи получения ЦМ материалов должно быть: во-первых, комплексным, учитывающим визуальные и физико-химические свойства материалов; во-вторых, универсальным, применимым для различных целей (определение значений показателей свойств, визуализация внешнего вида материала, поведения его в процессе изготовления и пр.); в-третьих, по возможности обеспечиваю-

щим интеграцию и коммуникацию между разными интернет-сервисами, например, встраиваемым в программы 3D визуализации одежды.

В работе ЦМТМ построена на основе авторской методики определения свойств

материала с помощью разработанных математических моделей, использующих данные о строении материала и его сырьевом составе. ЦМТМ представлена в виде взаимосвязанных модулей, отвечающих за определенные функции (рис. 1).

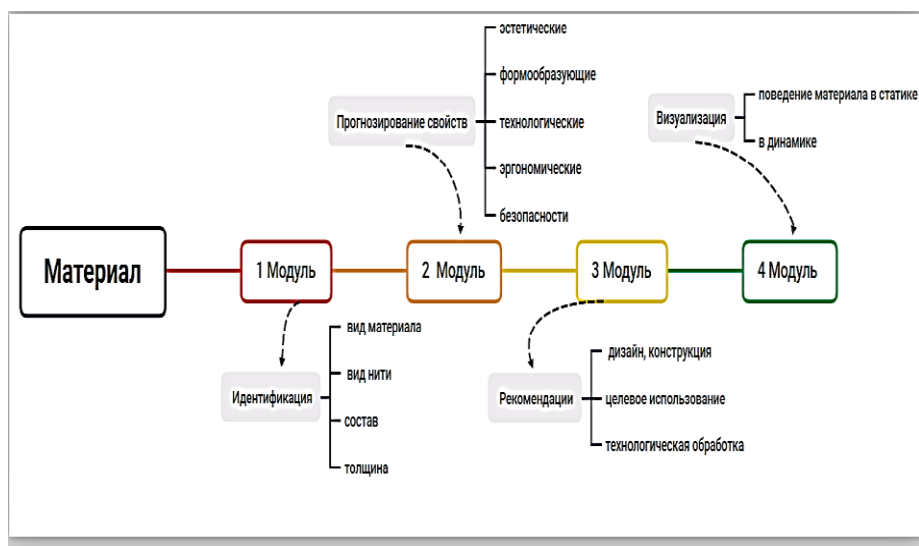


Рис. 1

Данную схему можно рассматривать и как алгоритм создания ЦМТМ, основные этапы которого представлены ниже.

1. Подготовка данных для идентификации ТМ (определение характеристик строения, сырьевого состава, внешнего вида); анализ и отбор архитектур нейронных сетей, наилучшим образом подходящих для решения данной задачи; анализ моделей, полученных в итоге машинного обучения (модуль 1).

2. Разработка алгоритмов прогнозирования значений отдельных свойств ТМ. Подготовка данных для определения (прогнозирования) свойств ТМ. Отбор алгоритмов и моделей машинного обучения, наилучшим образом подходящих для решения данной задачи; анализ полученных моделей и разработанных алгоритмов (модуль 2).

3. В рамках модуля 3 осуществляется сопоставление полученных показателей с нормативными требованиями и формирование рекомендаций по использованию ТМ.

4. Модуль 4 отвечает за визуализацию поведения материала в изделии как в статике, так и в динамике.

Цифровая модель также предусматривает создание базы знаний, хранящей в себе весь накопленный опыт исследований различных ТМ и их подбора для решения конкретных прикладных задач.

При разработке ЦМ используются такие технологии искусственного интеллекта, как компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети.

Текстильные материалы – сложные объекты, обладающие комплексом свойств, зависящих от их строения, состава, структуры. Поэтому в первую очередь необходимо получить информацию о виде и строении материала, химическом составе, визуальных показателях (цвет, рисунок, характер поверхности), геометрических характеристиках (толщина). В работе для получения основных характеристик используются фотоизображения материала, нитей и волокон, составляющих материал, получаемые при помощи смартфона с разрешением камеры от 8МП и выше, портативного USB микроскопа с увеличением 200 крат. Для прогнозирования отдельных свойств ТМ (жесткости, драпируемости) требуются

значения толщины, которые определяются измерительным методом.

Затем необходимо обучить алгоритм выбирать и интерпретировать считанные признаки, преобразуя их в формат модели материала. В качестве методов решения задачи используются компьютерное зрение и искусственные нейронные сети.

Ранее авторами построены математические модели, подтверждающие возможность прогнозирования значений отдельных свойств ТМ [6]. С помощью информационных технологий и искусственного интеллекта на основе разработанных математических моделей создаются алгоритмы, обучающие модели для прогнозирования свойств. Машинное обучение как класс методов искусственного интеллекта, для которого характерна возможность контролируемого или неконтролируемого обучения на определенных наборах данных, позволяет решать различные задачи качественно и быстро, делать точные прогнозы. Конкретный метод машинного обучения, зависящий от способа обучения и алгоритма, выбирается с учетом его возможности и трудоемкости, требуемых ресурсов и точности достижения цели. Вначале апробируются более простые, но достаточно эффективные методы. При необходимости задействуются более сложные (глубокое обучение – нейронные сети и др.). Методы глубокого обучения требуют большого количества данных и большой вычислительной мощности, этому их применение оправдано в случаях, когда простые методы машинного обучения показывают низкую точность.

Для эффективного и качественного обучения алгоритмов необходимо правильно сформировать обучающую выборку. Ошибки в формировании обучающего множества могут оказываться критичными и способны свести на нет эффективность самих алгоритмов обучения. Поэтому большое внимание уделяется подготовке обучающей сбалансированной репрезентативной выборки, включающей образцы различных текстильных материалов, отличающихся способом получения, сырьевым составом, строением [7]. Кроме того, для получения высокой точности модели дата-

сет должен содержать большое количество вводимых данных, которые размечаются вручную путем кодирования. Часть из них используется для обучения, часть – для тестирования.

Далее по прогнозируемым значениям свойств и полученным характеристикам материала (данные модулей 1 и 2) разрабатываются рекомендации по целевому использованию материала, конструктивным особенностям изделий, изготавливаемых из данного материала, и методам обработки, выдаются рекомендации по уходу (модуль 3).

В модуле 4 ЦМТМ заложена функция визуализации для реалистичной передачи поведения материала в изделии, для чего используются значения показателей свойств, полученных ранее (модуль 2). Многие существующие программы (модули) 3D проектирования и визуализации одежды моделируют поведение материала при формообразовании, используя определенный набор свойств и их значений, а также банк материалов с уже установленными показателями свойств. Но применение этих программ сдерживается рядом факторов: иностранные программы (модули) 3D визуализации не адаптированы под российского пользователя, используют показатели свойств материала и методы их оценки, установленные по стандартам страны-разработчика программы, а также имеются сложности с переводом и терминологией.

После разработки каждого модуля проводится тестирование и валидация полученных алгоритмов и моделей на контрольной части выборки. При необходимости будет проходить дообучение модели.

В настоящее время в результате проведенных процедур получены модели и алгоритмы, позволяющие с точностью 96,5 % идентифицировать вид материала по его фотоизображению, прогнозировать жесткость и драпируемость по вводимым характеристикам материалов (максимальная погрешность составила 14 %).

С целью уменьшения погрешности и повышения точности в перспективе авторами планируется провести дообучение мо-

делей на большем количестве данных. Также будут разрабатываться новые модели и алгоритмы для идентификации других характеристик и прогнозирования свойств ТМ.

## ВЫВОДЫ

1. Обоснована необходимость создания цифровой модели текстильного материала с точки зрения цифровой трансформации проектирования, производства и реализации швейных изделий.

2. Разработан алгоритм реализации цифровой модели, который представлен совокупностью взаимосвязанных функциональных модулей.

3. Предложен комплекс входных данных, методы и технологии, позволяющие осуществить идентификацию материала, прогнозирование показателей отдельных его свойств без применения инструментальных методов.

4. Получены модели и алгоритмы, позволяющие идентифицировать вид материала по его фотоизображению с точностью 96,5 %, а также прогнозировать значения жесткости и драпируемости по вводимым характеристикам материалов (максимальная погрешность составила 14 %).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang J., Xin B., Wu X. A. Review of Fabric Identification Based on Image Analysis // *Technology Textiles and Light Industrial Science and Technology*. 2013. Vol. 2. № 3. P. 120...130.

2. Kuijpers A.M., Luible-Bär C., Gong R.H. The measurement of fabric properties or virtual simulation – a critical review. 2020. [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/content/dam/ieeestandards/standards/web/governance/iccom/3DBP-Measurement\\_of\\_fabric\\_properties.pdf](https://standards.ieee.org/content/dam/ieeestandards/standards/web/governance/iccom/3DBP-Measurement_of_fabric_properties.pdf) (accessed 22.12.2020).

3. The Future of Fabrics. Digital Fabric Roadmap [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://modint.nl/?file=5515&m=1626269470&action=file.download> (дата обращения 12.10.2021).

4. REPORT: Digital Fabric Physics Interoperability [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://3drc.pi.tv> (дата обращения 10.10.2021).

5. Moskvina A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E. Digital twins of textile materials for visualization of

historical costumes // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 2 (398). С. 86...93. DOI: 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_86

6. Chizhik M. A., Yurkov V.Yu., Dolgova E.Yu. Predictive geometric models for some hygienic properties of multi-component fabrics // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1901. No. 1. P. 012059-1...012059-6. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012059

7. Долгова Е.Ю., Чижик М.А., Найманханова Ж.М., Иванцова Т.М. Формирование обучающей выборки для создания цифровых двойников текстильных материалов // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности*. 2021. № 3. С. 39...42. DOI: 10.46418/0021-3489\_2021\_53\_03\_09

## REFERENCES

1. Zhang J., Xin B., Wu X. A. Review of Fabric Identification Based on Image Analysis // *Technology Textiles and Light Industrial Science and Technology*. 2013. Vol. 2. № 3. P. 120...130.

2. Kuijpers A. M., Luible-Bär C., Gong R. H. The measurement of fabric properties or virtual simulation – a critical review. 2020. [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/content/dam/ieeestandards/standards/web/governance/iccom/3DBP-Measurement\\_of\\_fabric\\_properties.pdf](https://standards.ieee.org/content/dam/ieeestandards/standards/web/governance/iccom/3DBP-Measurement_of_fabric_properties.pdf) (accessed 22.12.2020).

3. The Future of Fabrics. Digital Fabric Roadmap [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://modint.nl/?file=5515&m=1626269470&action=file.download> (data obrashcheniya 12.10.2021).

4. REPORT: Digital Fabric Physics Interoperability [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://3drc.pi.tv> (data obrashcheniya 10.10.2021).

5. Moskvina A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E. Digital twins of textile materials for visualization of historical costumes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. № 2 (398). P. 86...93. DOI: 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_86

6. Chizhik M.A., Yurkov V.Yu., Dolgova E.Yu. Predictive geometric models for some hygienic properties of multi-component fabrics // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1901. № 1. P. 012059-1...012059-6. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012059

7. Dolgova E.Yu., Chizhik M.A., Najmanhanova Zh.M., Ivancova T.M. Formirovanie obuchayushchej vyborki dly asozdaniya cifrovyh dvojnikov tekstil'nyh materialov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij, Tekhnologiya legkoj promyshlennosti*. 2021. № 3. P. 39...42. DOI: 10.46418/0021-3489\_2021\_53\_03\_09

Рекомендована кафедрой конструирования и технологий изделий легкой промышленности Омского государственного технического университета. Поступила 17.03.23.