УДК 539.213.2:539.25; 539.213.26

**ОТ ЦИФРОВОГО ПАСПОРТА МАТЕРИАЛА К ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ**

**А.М. Фролов1, В.С. Плотников1, Е. В. Пустовалов1, Г. С. Крайнова1,**

**Д.А. Полянский1, С.В. Должиков1**

*1Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)*

*froloff5@yandex.ru*

*В работе представлены результаты анализа концепции разработки и создания цифровых паспортов материалов. Предложено не ограничиваться только организацией баз данных цифровых паспортов, а создавать полноценные цифровые платформы для производства и конструирования современных наукоемких конструкционных и функциональных материалов с заданными служебными и коммерческими свойствами.*

В настоящее время широко обсуждается создание цифровых паспортов материалов (ЦПМ). ЦПМ представляет собой набор данных о материале, гарантирующий его точное воспроизведение и достаточный дляего применения в изделии. Концепция ЦПМ была разработана Центром компетенций национальной технологической инициативы (НТИ) по Новым функциональным материалам на базе Новосибирского государственного университета совместно с инжиниринговым центром «ИК ЦТО». ЦПМ нужны для стандартизации хранения и представления данных о материалах на государственном уровне в России. В этом заключается основная идея и основное отличие от уже существующих в мире баз данных материалов. Разработка "Цифрового паспорта материала" – это инновационный подход к управлению данными о материалах, который позволяет систематизировать, хранить и анализировать информацию о свойствах, составе, методах получения и применения материалов. Такой паспорт может быть полезен для научных исследований, промышленного производства и контроля качества разрабатываемых материалов с заданными служебными свойствами. Подобная стандартизация позволит инженерам и конструкторам в разных организациях применять ЦПМ с минимальными требованиями к испытаниям материалов и с максимальной уверенностью в надежности данных. Проект по созданию отечественной базы цифровых паспортов для материалов планируется завершить в конце 2026 – начале 2027 года [1].

В цифровом паспорте материала должна отражаться известная точная технология изготовления материала. Она может содержаться в ЦПМ явно или находиться в собственности компании производителя, который предоставляет гарантии. За материалом, получившим ЦПМ, производится контроль – должно быть известно состояние поставки материала, произведены проверки с помощью телеметрии на производстве, тестирование, неразрушающий контроль. Кроме того, в ЦПМ необходимо представить область применения и чётко определить те свойства материала, которые необходимо знатьдля его соответствующего применения. Отметим, что целеполагание создания и реализация ЦПМ лежит в русле мирового научного направления Materials Genome Initiative (MGI). MGI – это масштабная инициатива, запущенная правительством США в 2011 году и поддержанная мировым научным сообществом с целью ускорения открытия, разработки и внедрения новых перспективных материалов. Основная цель MGI заключается в использовании современных вычислительных методов, данных и экспериментальных технологий и коммерческой привлекательности для сокращения времени, и затрат, необходимых для создания новых перспективных материалов.

Чтобы удовлетворить запросы всех, заинтересованных в применении ЦПМ, необходимо включать в них знания разработчиков материалов,производителей, технологов, конструкторов, инженеров, химиков,испытателей, а также учитывать коммерческиеинтересы потребителей, менеджеров ит.д. Следует собрать всю необходимую информацию и представить её вудобной для всех форме.

Проведенные исследования аморфных и аморфно-нанокристаллических металлических сплавов (ААНКМС), включая высокоэнтропийные ААНКМС, которые обладают уникальными механическими, физическими и химическими свойствами [2, 3, 4], позволили выработать некоторые рекомендации по созданию цифрового паспорта материалов.

Выделенытри составляющих цифрового паспорта:

1. Служебные (эксплуатационные) характеристики – полностью открытая часть для общего доступа. В ней перечисляются свойства (например, электрические, магнитные, прочностные и т.д.), которыми обладает тот или иной материал, сплав, а также режим эксплуатации материала (например, температурный диапазон, давление и т.д.). В этой составляющей должны быть перечислены и изделия, которые производятся из данного материала или в которые он входит как компонент.

Актуальнойдля первой составляющей является информация о производителях деталей, механизмов из данных материалов (сплавов). Необходимо учитывать стандарты, по которым работают производители, в каком виде им необходимо предоставлять сплавы (порошки, ленты и т.д.).

2. Научные исследования материала – частично закрытая для общего доступа составляющая. Полностью отражаются исследования или ссылки на них, уже опубликованные в открытой печати. Это позволит обеспечить, с одной стороны, незыблемость авторских прав, а с другой надежность результатов, прошедших различный уровень рецензирования.

Немаловажен и учет сведений, которые могут быть не предназначенными для открытого доступа. Следует отметить, что данные могут быть скрыты не намерено (полузакрытые данные), например, входящие в цифровой формат электронно-микроскопических изображений.

3. Технологические характеристики – полностью закрытая для общего доступасоставляющая, которая находится у производителя материала. В открытой части (первая составляющая) даются, перечисляются производители материала и способы связи с ними. Производитель сам определяет, на каких условиях он может передать технологию заинтересованным лицам или организациям.

Проведенный анализ позволяет предложит структуру открытой части цифрового паспорта материала, рис.1. Необходимо отметить, что данная структура может быть дополнена, с учетом мнения заинтересованных сторон. В целом создание цифрового паспорта материала достаточно непростая задача, ввиду отсутствия как стандартов в этой области, так и простых договоренностей между всеми участниками процесса.

При создании ЦПМ необходимо развитие междисциплинарного подхода, включающего научные исследования, материаловедение, информационные технологии и инженерию. Например, при использовании ААНКМС в медицине (трансплантология, создание медицинских изделий) необходимы данные на стыке наук – химии, физики, биологии и медицины. С другой стороны, постоянно создаются новые материалы и уже существующие ЦПМ должны способствовать более быстрому их созданию и внедрению. Так, в медицине практически под каждого пациента необходимо изготовить материалы, точно воспроизводящие свойства его персонализированных тканей [5]. К ЦПМ (или отдельным его частям) должен быть доступ и у исследователей. Они могут создавать различные модели (как расчетные, так и описательные), которые будут способствовать улучшению технологии производства, изменению служебных свойств и созданию новых материалов. Например, для ААНКМС это могут быть модели, описанные в [6 – 8], позволяющие дать конкретные рекомендации технологам и производителям сплавов.



*Рис.1*. Пример характеристик, отражаемых в открытой части цифрового паспорта материала.

При разработке и создании ЦПМ необходимо учитывать возможность машинного обучения (ML – Machine Learning) и связанных с ним -искусственного интеллекта, нейронных сетей [9] и метода расчёта фазовых диаграмм [10] CALPHAD (CALculation of PHAse Diagrams) для проектирования новых конструкционных и функциональных материалов. Таким образом, целесообразно рассматривать организацию не отдельной базы данных ЦПМ, а информационной платформы, на базе которой возможно создание не только самих ЦПМ, но и новых материалов. Исследования в области ААНКМС позволили предложить схему такой платформы, рис.2.

**Единая информационная платформа РФ**

**Платформа НТИ «Цифровое материаловедение» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана**

**Единая**

**информационная платформа**

**(по отраслям)**

**ЦПМ ААНКМС**

**Производители ААНКМС**

**Производители ААНКМС**

**Производители продукции**

**Производители продукции**

**Исследователи**

**ААНКМС**

*Рис. 2*. Структурная схема цифровой платформы (по отраслям).

Предлагается, рис.2, создание отдельных платформ для разных видов материалов (ААНКМС, полимерные материалы и т.д.), которые объединяются в рамках единой информационной платформы РФ. О создании такой платформы было заявлено в НТИ «Цифровое материаловедение» Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

Создание информационных платформ по видам материалов (по отраслям) позволит упорядочить и структурировать столь объемную область знания как наука о материалах, а с учетом междисциплинарного подхода, получать необходимые данные о материалах без трудоемких изыскательских работ. Например, рис.2, производители ААНКМС, производители изделий из ААНКМС, а также производители конечной продукции из этих изделий (деталей) имеют возможность координации действий в рамках единого информационного пространства, экономя время и ресурсы, удешевляя конечный продукт.

Таким образом, создание ЦПМ по видам материалов в рамках единой информационной платформы РФ позволит оптимизировать производство и осуществлять доступ к передовым функциональным и конструкционным материалам с заданными служебными и коммерческими свойствами, что в свою очередь повысит экономическую конкурентоспособность Российской Федерации и обеспечит национальную безопасность для таких секторов экономики, как здравоохранение, связь, энергетика, электроника, транспорт и обороноспособность.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов развития ДВФУ по направлению «Искусственный интеллект и большие данные» (№ ДВФУ-ФЦК-25-02-1.02-0046).

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Разработана концепция цифровых паспортов материалов// URL: <https://new.ras.ru/activities/news/razrabotana-kontseptsiya-tsifrovykh-pasportov-materialov/>(дата обращения 05.05.2025).

2. Jiang L., Bao M., Dong Y., Yuan Y., Zhou X., Meng X. Processing, production and anticorrosion behavior of metallic glasses: A critical review // Journal of Non-Crystalline Solids. –2023. – V.612. –C.122355.

# 3. Zhang S., Ma D., Liang X., Chen C. Influence of Al addition on the microstructure and properties of Fe25Co25Ni25(Si0.3B0.7)25 high entropy metallic glass // Intermetallics.– 2024. – V.169. –C/108304.

# 4.Ilin N.V., Komogortsev S.V., Kraynova G.S., Davydenko A.V., Tkachenko I.A., Kozlov A.G., Tkachev V.V., Plotnikov V.S. Magnetic correlations peculiarities in amorphous Fe-Cu-Nb-Si-B alloy ribbons // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2022. –V.541.V.168525.

# 5. Дмитрий Иванов: у новых материалов должен быть цифровой паспорт // URL: <https://radiosputnik.ru/20240920/1973677103.html> (дата обращения 05.05.2025).

# 6. Фролов А.М., Крайнова Г.С., Ансович А.В., Ткачев В.В., Ильин Н.В., Должиков С.В., Плотников В.С. Корреляция морфологии и магнитных характеристик лент типа файнмет в зависимости от состава // труды XVIII рег. науч. конф. Физика: Фундаментальные и прикладные исследования, образование. – 2020 – С.151-155.

7. Фролов А.М., Крайнова Г.С., Должиков С.В.Анизотропия структурных неоднородностей быстрозакаленных сплавов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2018. – № 4. – С. 84-90.

8. ГрудинБ.Н., ПлотниковВ.С. Обработкаимоделированиемикроскопическихизображений: монография - Владивосток: Дальнаука. – 2010. – 350 с.

9. Long T., Zhilin Long Z., Pang B.An end-to-end explainable graph neural networks-based composition to mechanical properties prediction framework for bulk metallic glasses // Mechanics of Materials.– 2024. – № 191. –С.104945.

10. Kattner U.R.The CALPHAD method and its role in material and process development // Tecnol. Metal. Mater. Min. – 2016. –V.13. – № 1. – P. 3-15.