

РАЗРАБОТКА СТАНДАРТА ПРОВЕДЕНИЯ ТИПОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Зотов В.А.^{1,2}, Май С.¹, Зулаева Г.В.¹, Евдокимов Д.В.^{1,2}

¹Самарский университет, г. Самара, vlad198189@gmail.com

²СамНЦ РАН, г. Самара

Ключевые слова: цифровое производство, FAIR-данные, технологическая наследственность, машиностроение, искусственный интеллект, механическая обработка, аддитивные технологии, цифровые двойники.

Введение. Развитие авиационной, энергетической и аэрокосмической техники сопровождается постоянным ростом объёмов экспериментальных данных, получаемых при исследованиях процессов механической обработки, аддитивного производства, лазерной обработки и формирования свойств поверхностного слоя. Одновременно возрастает роль методов искусственного интеллекта и цифровых двойников, эффективность которых напрямую зависит от доступности качественных и сопоставимых данных.

В последние годы широкое распространение получила концепция FAIR-данных, согласно которой научная информация должна быть доступной, совместимой и пригодной для повторного использования [1]. Развитием данного подхода являются цифровые пространства данных (Data Spaces), обеспечивающие контролируемый обмен информацией между научными организациями и промышленными предприятиями [2]. Вместе с тем существующие научные платформы ориентированы преимущественно на публикацию статей, результатов вычислительного моделирования либо отдельных наборов данных. Вопросы накопления и стандартизации экспериментальных данных по технологическим процессам остаются проработанными в значительно меньшей степени.

Предмет. Подходы к организации международного обмена экспериментальными данными в области технологий обработки материалов и производства высокотехнологичной продукции.

Цель работы. Обосновать необходимость создания цифровой платформы для накопления, стандартизации и повторного использования экспериментальных данных при разработке расчётных моделей технологических процессов, систем искусственного интеллекта и цифровых двойников.

Метод и методология. Выполнен анализ публикаций в области механической обработки и аддитивных технологий с точки зрения полноты представления экспериментальных данных и возможности их последующего использования в задачах статистического анализа и машинного обучения. Особое внимание уделено воспроизводимости исследований и полноте описания условий проведения экспериментов.

Результаты и обсуждение. Анализ работ [3–5] показывает, что исследования даже близких по тематике технологических процессов зачастую различаются по составу публикуемых параметров и структуре представления результатов. В ряде случаев подробно рассматриваются отдельные факторы процесса, однако часть технологически значимых параметров отсутствует либо приводится в неполном объёме. Например, в исследованиях процессов фрезерования основное внимание может уделяться параметрам инструмента, условиям охлаждения или составу смазочно-охлаждающей среды, тогда как сведения о ширине или глубине фрезерования могут отсутствовать, несмотря на их влияние на производительность процесса, тепловыделение и формирование качества поверхностного слоя.

Подобные ограничения существенно затрудняют повторное использование опубликованных данных. Даже при наличии большого количества исследований по обработке одного и того же материала их объединение в единую обучающую выборку часто

требует дополнительной обработки данных либо оказывается невозможным вследствие отсутствия части исходной информации. В результате значительная доля накопленных научных результатов остаётся пригодной преимущественно для решения локальных задач и не формирует единого пространства технологических знаний.

Для устранения данного ограничения предлагается создание цифровой платформы, основанной на использовании цифрового паспорта эксперимента. В отличие от традиционной публикации результатов исследований, такой подход предполагает сохранение полного набора сведений, необходимых для воспроизведения эксперимента и последующего повторного использования данных. Конкретный состав параметров определяется видом технологического процесса и может расширяться в зависимости от области применения, однако обязательным требованием является фиксация всех факторов, способных оказать влияние на полученный результат.

Для научных организаций и промышленных предприятий подобная система создаёт условия для формирования распределённой базы технологических знаний. Например, результаты исследований обработки титановых сплавов или жаропрочных никелевых сплавов, выполненные различными коллективами в разных диапазонах режимов обработки, смогут использоваться совместно как элементы единого массива данных. Это позволит строить более устойчивые зависимости между параметрами технологического процесса и характеристиками качества изделия, включая шероховатость поверхности, остаточные напряжения, износ инструмента и производительность обработки.

Особую значимость данный подход приобретает для задач искусственного интеллекта. Увеличение объёма стандартизированных данных позволит перейти от обучения моделей на отдельных локальных выборках к использованию значительно более представительных наборов данных, охватывающих широкий диапазон материалов, оборудования и технологических условий. Это создаёт предпосылки для разработки более надёжных цифровых двойников и систем поддержки принятия решений в технологической подготовке производства.

Не менее важным является использование накопленных данных на этапе проектирования изделий. Формирование количественных зависимостей между параметрами технологического процесса, состоянием поверхностного слоя и эксплуатационными характеристиками деталей позволит перейти от преимущественно эмпирического назначения требований к шероховатости поверхности, остаточным напряжениям и другим характеристикам качества к более обоснованному проектированию ответственных изделий авиационной, энергетической и аэрокосмической техники.

Выводы. Проведённый анализ показывает, что одной из ключевых проблем современного технологического знания является ограниченная возможность повторного использования экспериментальных данных вследствие различий в полноте и структуре их представления. Создание цифровой платформы, основанной на принципах FAIR и концепции цифрового паспорта эксперимента, позволит обеспечить сохранение технологической наследственности знаний, повысить эффективность использования результатов исследований и сформировать основу для построения более надёжных расчётных моделей, цифровых двойников и интеллектуальных систем поддержки инженерных решений. В долгосрочной перспективе это создаст условия для установления количественных связей между технологией изготовления и эксплуатационными характеристиками изделий, что имеет особое значение для разработки перспективных двигателей, энергетических установок и другой высокотехнологичной продукции.

Благодарности:

Работа выполнена сотрудниками лаборатории «Инженерии поверхности» в рамках государственного задания Минобрнауки России для СамНЦ РАН по теме № FMRW-2025-0052.

Список литературы

1. Wilkinson M. D., Dumontier M., Aalbersberg I. J. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship // *Scientific Data*. – 2016. – Vol. 3. – P. 1–9. – DOI: 10.1038/sdata.2016.18.
2. Glombiewski N., Boukhers Z., Beilschmidt C., et al. From Theory to Practice: Demonstrators of FAIR Data Spaces Across Different Sectors // *Proceedings of the 40th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC '25)*. – 2025. – P. 509–513. – DOI: 10.1145/3672608.3707987.
3. Amin A. K. M. N., Khatun S., Saba T., Iqbal M., Rumi M. J. U. High-speed machining of INCONEL 718: enhancing surface roughness and tool life using TiN-coated carbide tools // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2025. – Vol. 138, iss. 5. – P. 1965–1994. – DOI: 10.1007/s00170-025-15558-z.
4. Nguyen V.C., Nguyen T.D., Tien D.H. Cutting Parameter Optimization in Finishing Milling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy under MQL Condition using TOPSIS and ANOVA Analysis // *Engineering, Technology & Applied Science Research*. – 2021. – Vol. 11, no. 1. – P. 6775–6780. – DOI: 10.48084/etasr.4015
5. Коберник Н.В., Филимонов А.С., Голубев Е.С., Галиновский А.Л. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники. – 2-е изд., пер. и доп. – Учебное пособие для вузов: Юрайт, 2023 – 145с.

Сведения об авторах

Зотов Владислав Александрович – студент ПИАШ; лаборант лаборатории «Инженерия поверхности».

Май Сяожуй – студент института двигателей и энергетических установок.

Зулаева Галина Владиславовна – студент ПИАШ.

Евдокимов Дмитрий Викторович – к.т.н., доцент кафедры технологий производства двигателей; с.н.с. лаборатории «Инженерия поверхности».

DEVELOPMENT OF A STANDARD FOR CONDUCTING STANDARD EXPERIMENTS AND DIGITAL DATA STORAGE PLATFORMS

Zotov V.A.^{1,2}, Mai Xiaorui¹, Zulaeva G.V.¹, Evdokimov D.V.^{1,2},

¹Samara University, Samara, Russia, vlad198189@gmail.com

²Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

Keywords: digital manufacturing, FAIR data, technological heredity, mechanical engineering, artificial intelligence, machining, additive manufacturing, digital twins

The paper substantiates the creation of a digital platform for accumulating, standardising, and reusing experimental data in materials processing technologies. An analysis of published studies reveals that existing research addresses local tasks with incompatible data formats, preventing the formation of a unified technological knowledge base. The proposed platform relies on a digital experiment passport that mandates recording the full set of parameters influencing the result, thereby ensuring reproducibility and data interoperability. Aggregating data from different sources (e.g., titanium and superalloy machining) will enable large, FAIR-compliant datasets for AI training and digital twins, as well as quantitative relationships between process parameters, surface integrity, and component performance. This supports evidence-based design of critical parts for aerospace, power, and energy systems, while preserving technological knowledge inheritance across research communities.