

РАЗРАБОТКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ С ГРАДИЕНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Войку И.П.

Псковский государственный университет, Псков

Ключевые слова: градиентные покрытия, техническое зрение, программное обеспечение, аддитивные технологии, анализ рынка, импортозамещение, искусственный интеллект, конкурентоспособность.

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования рынка для разработки конкурентоспособного программного обеспечения, предназначенного для формирования функциональных покрытий с градиентными свойствами на основе систем технического зрения. Проведен анализ глобального и российского рынков, выявлен устойчивый перспективный рост спроса. Определен целевой сегмент потребителей – технологически продвинутые предприятия авиационно-космической, медицинской и энергетической отраслей. Систематизированы ключевые технологические и экономические преимущества предлагаемого решения, включая прецизионный контроль, интеграцию ИИ-алгоритмов для оптимизации параметров напыления и снижение себестоимости процессов. Доказана высокая востребованность решения на российском рынке, обусловленная программами импортозамещения и цифровизации промышленности.

DEVELOPMENT OF COMPETITIVE SOFTWARE FOR FORMING COATINGS WITH GRADIENT PROPERTIES BASED ON MACHINE VISION

Voiku I.P.

Pskov State University, Pskov

Keywords: gradient coatings, machine vision, software, additive technologies, market analysis, import substitution, artificial intelligence, competitiveness.

Abstract. The article presents the results of a comprehensive market research for the development of competitive software designed for forming functional coatings with gradient properties based on machine vision systems. The global and Russian markets were analyzed, revealing sustained prospective demand growth. The target consumer segment was identified as technologically advanced enterprises in the aerospace, medical, and energy industries. The key technological and economic advantages of the proposed solution are systematized, including precision control, integration of AI algorithms for optimizing deposition parameters, and reduction of process costs. The high demand for the solution in the Russian market, driven by import substitution programs and industrial digitalization, is substantiated.

Программное обеспечение для формирования градиентных покрытий на основе технического зрения предназначено для выполнения следующих ключевых функций: анализ поверхности в реальном времени, автоматическая коррекция параметров напыления, формирование градиентных структур.

Мировой рынок высокоэффективных покрытий оценивался в 12,7 млрд. долл. в 2023 году с оптимистичным прогнозируемым ростом до 21,3 млрд. долл. к 2032 году (совокупный годовой темп роста 6,2%) [1].

Объем мирового рынка специализированного программного обеспечения для формирования градиентных покрытий характеризуется стадией активного роста и высокой динамикой: на 2024 год рынок оценивается в 850 млн. долл., а к 2026 году прогнозируется увеличение до 1,2 млрд. долл., что соответствует совокупному годовому темпу роста на уровне 18%.

Географическая структура мирового спроса: здесь лидируют США (35%), Германия (22%) и Китай (18%) (табл. 1). Прогноз показывает, что к 2033 году мировой рынок достигнет 3,7 млрд. долл. при сохранении положительной динамики, с постепенным смещением центра роста в азиатский регион и увеличением доли российского сегмента до 8%.

Табл. 1. Прогнозируемая динамика рынка программного обеспечения для формирования градиентных покрытий

Регион	2023 г.	2026 г.	2030 г.	2033 г.
Северная Америка	38%	35%	32%	30%
Европа	29%	27%	26%	25%
Азия	25%	30%	33%	35%
Россия/СНГ	5%	6%	7%	8%
Другие	3%	2%	2%	2%

Российский сегмент рынка, заслуживающий особого внимания, демонстрирует опережающее развитие: если в 2024 году его объем оценивался в 3,2 млрд. руб., то к 2026 году он, согласно прогнозам, достигнет 5,5 млрд. руб. при годовом темпе роста на в 30% [2].

Структура российского рынка по отраслевому признаку имеет выраженную специфику: почти половина (45%) спроса формируется предприятиями оборонно-промышленного комплекса, 30% приходится на авиастроение и 15% – на производителей медицинской техники [3].

Среди ключевых технологических трендов, определяющих развитие рынка в среднесрочной перспективе, можно выделить активное внедрение цифровых двойников процессов напыления, использование алгоритмов искусственного интеллекта и квантовых вычислений для оптимизации градиентных структур, а также устойчивый переход от традиционных лицензий к облачным SaaS-моделям, доля которых, по прогнозам, увеличится с 15% в 2024 году до 45% к 2030 году (рис. 1).

На основе проведенного анализа спроса и конкурентной среды сформирован детализированный портрет потенциального потребителя разрабатываемого программного обеспечения. В качестве типичного клиента рассматривается инженерно-производственное предприятие среднего или крупного размера, работающее в высокотехнологичных отраслях. Отраслевая сегментация рынка показывает, что наибольший потенциал сосредоточен в авиакосмической промышленности (40%), где к покрытиям предъявляются экстремальные требования по термостойкости и точности, и в биомедицине (25%), где критически важна биосовместимость и возможность создания градиентов пористости для имплантов. Также к значимым, и не менее

перспективным сегментам можно отнести энергетическое машиностроение (20%) и премиальный автопром (10%).

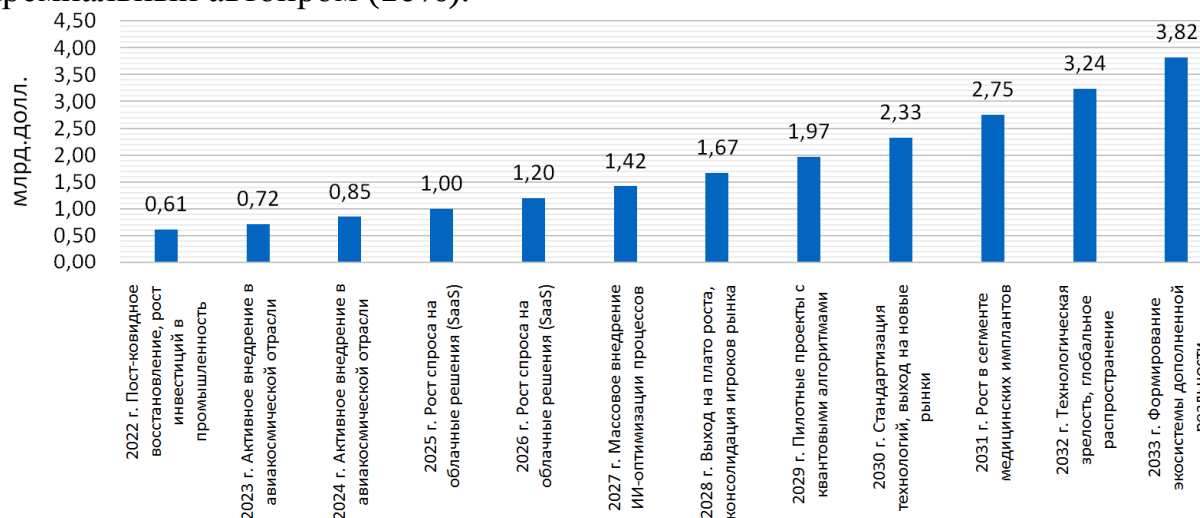


Рис. 1. Прогнозируемые тенденции развития рынка специализированного программного обеспечения

Процесс принятия решения о закупке такого сложного программного продукта является многоэтапным: Согласно данным Fraunhofer IPA (2024) инициаторами внедрения, как правило, выступают главные технологи (60% случаев) и начальники производственных подразделений (25%). Согласно результатам проведенных опросов, ключевыми критериями выбора программного обеспечения являются точность формирования покрытий (приоритет для 95% респондентов), совместимость с имеющимся парком оборудования (88%) и возможности интеграции в существующие ERP-системы предприятия (82%) [4]. Для российских потребителей дополнительными критически важными факторами являются адаптация решения под требования национальных стандартов ГОСТ и ОСТ (актуально для 79% респондентов) и наличие полноценной технической и консультационной постпродажной поддержки (72%).

Разрабатываемое научными сотрудниками ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» программное обеспечение обладает сформированным комплексом уникальных преимуществ, которые обеспечивают ему не только конкурентоспособность на внутреннем рынке, но и потенциал для выхода на глобальную арену:

- в области технологий ключевыми преимуществами являются прецизионный контроль параметров напыления в реальном времени с точностью до $\pm 1-3$ мкм, обеспечиваемый за счет интеграции мультиспектральных систем анализа, включающих 3D-сканирование, тепловые и гиперспектральные камеры;

- использование встроенных физических моделей и алгоритмов искусственного интеллекта, позволяющих прогнозировать напряжения, термическое поведение и износостойкость многослойных структур еще до начала физического процесса нанесения. Это позволяет радикально сократить время разработки новых покрытий – с 3-6 месяцев при использовании традиционных методов до 2-4 недель.

Экономические преимущества решения носят выраженный и измеримый характер. Его внедрение обеспечивает значительное снижение операционных

затрат: сокращение расхода материалов на 25-30%, снижение энергопотребления на 15-20% и уменьшение трудозатрат на 40-50% за счет высокой степени автоматизации [5]. Расчеты показывают, что срок окупаемости приобретения предлагаемого программного обеспечения для среднего предприятия составляет от 6 до 18 месяцев, что делает инвестиции высокоэффективными.

Сравнительный анализ с существующими аналогами, представленными на рынке, демонстрирует превосходство предлагаемого ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» продукта. Если традиционные решения обеспечивают точность контроля на уровне $\pm 10-15$ мкм, то новое – позволяет достичь точности $\pm 1-3$ мкм. Время переналадки технологического оборудования сокращается с 4-8 часов до 15-30 минут, а принципиально новой возможностью, отсутствующей у аналогов, является ИИ-предсказание свойств покрытия и возможных дефектов.

Факторы востребованности решения на российском рынке усиливаются действием государственных программ, таких как национальный проект «Экономика данных» и специальные инвестиционные контракты (СПИК), которые предусматривают компенсацию значительной части затрат на внедрение [6]. Курс на технологический суверенитет и импортозамещение в критических отраслях, таких как оборонно-промышленный комплекс и авиастроение, создает устойчивый стратегический спрос на подобные отечественные разработки, не зависящие от иностранных поставок и санкционных рисков.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках реализации Программы развития Псковского государственного университета по программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Об утверждении комплексной программы развития авиационной отрасли Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 25.06.2022 № 1693-р (ред. от 04.05.2024).
2. О промышленной политике в Российской Федерации: федеральный закон от 31.12.2014 №488-ФЗ (ред. от 24.04.2024).
3. ПО автоматизации – анализ рынка и прогноз на 2024-2029 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mzta.ru/o-kompanii/stati/po-avtomatizatsii-analiz-rynka-i-prognoz-na-2024-2029-gody>.
4. Экономические эффекты от цифровизации и внедрения IoT в машиностроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nesmol.ru/ekonomicheskie-effekty-ot-tsifrovizatsii-i-vnedreniya-iot-v-mashinostroenii/>
5. «Физический ИИ», Индустрия 5.0 и робототехника – Германия имеет лучшие возможности и предпосылки в области физического ИИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xpert.digital/ru/%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%B8%D0%B8/>
6. High-performance coatings market size by type, coating technology, end-use industry analysis and segment forecasts, 2024-2032 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/high-performance-coatings-market>.

Сведения об авторе:

Войку Иван Петрович – старший преподаватель кафедры «Управление».