

ПРЕДИКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МЕЖОТРАСЛЕВЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

PREDICTIVE ANALYSIS OF CROSS-SECTOR INNOVATION PROJECTS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES IN HIGH-TECH INDUSTRIES

A. Kozhiev
V. Teslyuk

Summary. The article is devoted to the analysis of inter-industry innovation projects, which focus on additive technologies (hereinafter referred to as «AT») as a key element of transformation of production processes in high-tech industries. The article considers the essence of inter-industry cooperation as a form of cooperation that provides accelerated implementation of innovations within the framework of the open innovation concept. The paper emphasizes the importance of additive technologies for such industries as aerospace, automotive and medical instrumentation, as well as their role in the formation of new business models. The use of predictive analytical methods has allowed the development of the AT Adoption Potential Index (AAPI), which takes into account industry characteristics such as market size, growth rate, scale of adoption and competitive saturation. Based on the analysis of data from 50 projects, the most promising industries for large-scale AT deployment were identified. The results obtained can be used for strategic planning, prioritization of state support and formation of technological development roadmaps.

Keywords: predictive analysis, additive technologies, cross-industry innovation projects, integrated approach, prospectivity index for the introduction of additive technologies, strategic industry planning.

Кожиев Александр Юрьевич

Аспирант, Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», г. Москва
lion_1998@inbox.ru

Теслюк Владислав Сергеевич

Аспирант, Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», г. Москва
vladislav260100@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу межотраслевых инновационных проектов, в фокусе которых находятся аддитивные технологии (далее — AT) как ключевой элемент трансформации производственных процессов в высокотехнологичных отраслях. Рассматривается сущность межотраслевого взаимодействия как формы кооперации, обеспечивающей ускоренное внедрение инноваций в рамках концепции открытых инноваций. Подчеркивается значимость аддитивных технологий для таких отраслей, как аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение и медицинское приборостроение, а также их роль в формировании новых бизнес-моделей. Использование методов предиктивного анализа позволило разработать индекс перспективности внедрения AT (AAPI), учитывающий отраслевые характеристики, такие как объем рынка, темпы роста, масштаб внедрения и конкурентную насыщенность. На основе анализа данных 340 проектов выделены наиболее перспективные отрасли для масштабного внедрения AT. Полученные результаты могут быть использованы для стратегического планирования, определения приоритетов государственной поддержки и формирования дорожных карт технологического развития.

Ключевые слова: предиктивный анализ, аддитивные технологии, межотраслевые инновационные проекты, комплексный подход, индекс перспективности внедрения аддитивных технологий, стратегическое отраслевое планирование.

Современной тенденцией развития экономики является необходимость внедрения инноваций, имплементируемых на стыке отраслей, что обуславливает возникновение межотраслевых инновационных проектов. Межотраслевые инновационные проекты — форма кооперации, обеспечивающая взаимодействие субъектов из различных отраслей промышленности с целью создания синергетического эффекта, что впоследствии выражается в ускоренном развитии и внедрении технологических решений. Согласно концепции открытых инноваций, предполагается, что предприятия, задействованные в межотраслевых инновационных проектах, способны создавать инновации посредством

внутренних и внешних источников знаний и ресурсов, что приводит к более быстрому внедрению новых технологий, а также позволяет увеличить гибкость и адаптивность к изменениям на рынке [6].

Аддитивные технологии (далее — AT), как совокупность методов послойного производства изделий, представляют собой ключевое направление развития индустрии в рамках Индустрии 4.0. Использование аддитивных технологий существенно сокращает производственный цикл, снижает транзакционные издержки и предоставляет возможность кастомизации продукции. Авиакосмическая промышленность, робототехни-

ка и иные высокотехнологичные отрасли в настоящее время интегрируют аддитивные технологии в производственные процессы [8]. Данные трансформации традиционных производственных цепочек неизбежно ведут к появлению новых бизнес-моделей, что позволяет сделать вывод о том, что аддитивные технологии являются собой один из ключевых элементов новой волны технологического развития и трансформации производственной парадигмы.

Предиктивный анализ — совокупность статистических, математических и алгоритмических методов, направленных на построение прогнозных моделей и принятие обоснованных управленческих решений в условиях неопределенности. На основании данных представляется возможным прогнозирование эффективности новых технологий, моделирование рисков и угроз, а также разработка альтернативных сценариев осуществления инновационных проектов [3]. Основные методы, используемые в рамках предиктивного подхода, включают в себя машинное обучение, нейросетевые алгоритмы, регрессионные и кластерные модели, методы деревьев решений и байесовские сети. Вышеуказанные методы обеспечивают выработку стратегических решений, основанных на данных, объективных показателях, в условиях изменчивости внешней среды.

Высокотехнологичные отрасли характеризуются высокой наукоёмкостью, значительной долей инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР), а также постоянной необходимостью обновления производственно-технологической базы. Эти отрасли находятся в авангарде научно-технического прогресса и играют ключевую роль в формировании национальной конкурентоспособности [9]. В связи с этим применение инновационных подходов к управлению проектами и оценке их эффективности приобретает особую актуальность. Теоретическая база анализа включает в себя положения теории жизненного цикла технологий, модели технологического прогнозирования, теории управления знаниями, а также концепции цифровой трансформации и устойчивого развития.

В условиях нарастающей технологической трансформации приоритетным направлением промышленной политики становится стимулирование внедрения аддитивных технологий (АТ) как ключевого элемента перехода к цифровому производству [7]. Учитывая значительные межотраслевые различия в темпах и эффективности адаптации АТ, актуальной задачей является проведение предиктивного анализа на макроуровне с целью выявления отраслей с наибольшим потенциалом масштабного внедрения данных технологий.

Анализ межотраслевых инновационных проектов с использованием аддитивных технологий в высоко-

технологичных отраслях требует интеграции теоретических и методологических основ из различных научных направлений — от стратегического управления инновациями до прикладной информатики и анализа больших данных. Применение предиктивных аналитических моделей в данной области позволяет не только повысить точность оценки перспективности проектов, но и формирует предпосылки для повышения эффективности инновационного развития экономики в целом. Комплексный подход, включающий количественные и качественные методы анализа, обеспечивает полноту научного обоснования принимаемых управленческих решений.

Данные собраны из 340 межотраслевых инновационных проектов, реализованных в таких высокотехнологичных отраслях, как аэрокосмическая промышленность, производство медицинского оборудования и автомобилестроение. Массив данных включает качественные и количественные показатели.

Для обоснования выбора целевых отраслей при анализе перспектив внедрения АТ проведён сравнительный анализ ключевых промышленных секторов. В основу легли количественные и качественные параметры, отражающие текущий масштаб развития отраслей, а также уровень их технологической зрелости в контексте интеграции аддитивного производства.

В таблице 1 представлены агрегированные данные по шести отраслям промышленности, включая объём соответствующих рынков, среднегодовой темп роста, количество внедрённых единиц аддитивных технологий, а также оценку степени конкурентного насыщения. Эти параметры позволяют провести предварительную оценку привлекательности отраслей с точки зрения дальнейшего распространения АТ и выявить направления с наибольшим потенциалом для технологического роста.

Объём и структура актуальных данных в рамках настоящего исследования сформированы на основе сведений, доступных по состоянию на 2023 год. В качестве источников использованы аналитические материалы ведущих исследовательских и консалтинговых организаций в области рыночной аналитики (Data Horizon Research [5], Research Nester, International Information and Engineering Technology Association), а также публикации в профильных научных журналах (Ain Shams Engineering Journal [1], Additive Manufacturing and the Construction Industry Journal, Research and Markets [2]).

Целью практической части является разработка и тестирование прогностической модели для оценки вероятности успеха межотраслевых инновационных проектов с использованием аддитивных технологий в высокотехнологичных отраслях.

Таблица 1.

Описание массива данных

№ п.п.	Отрасль промышленности	Объем рынка	Темп роста отрасли (% в год)	Кол-во внедрённых единиц АТ	Конкурентное насыщение рынка
1	Аэрокосмическая промышленность	6.24 млрд долл. США	18.6 %	200 000	7 %
2	Автомобилестроительная промышленность	9.245	6.2 %	135 000	3 %
3	Медицинское приборостроение	8.5	18.1 %	43 000	14 %
4	Строительство	35.3	7.0 %	550 000	22 %
5	Робототехника	100.25	12.3 %	584 000	43 %
6	Энергетика	2.6	9.4 %	30 000	5 %

Для целей анализа разработан интегральный Индекс перспективности внедрения аддитивных технологий (АТ Adoption Potential Index, AAPI), рассчитываемый на основе нормализованных отраслевых показателей:

- объём рынка (млрд долл. США),
- среднегодовой темп роста отрасли (%),
- количество внедрённых единиц АТ (ед.),
- уровень конкурентного насыщения рынка (% компаний, действующих в отрасли).

Каждому показателю присвоены весовые коэффициенты, отражающие их относительное влияние на успех внедрения АТ:

рост отрасли — 35 %, масштаб текущего внедрения — 30 %, объём рынка — 20 %, уровень конкуренции (инвертированный) — 15 %.

Нормализуем значения так, чтобы лучшие значения по росту, внедрению АТ и объёму рынка увеличивали итоговый балл, а конкурентное насыщение — уменьшало.

Таблица 2.

Расчет нормализованных значений (min-max scaling)

Отрасль	Norm: Рынок	Norm: Рост	Norm: Внедр. АТ	Norm: Конкуренция (инверсия)
Аэрокосмическая промышленность	0.037	1.000	0.305	0.872
Автомобилестроение	0.067	0.119	0.203	0.953
Медицинское приборостроение	0.059	0.968	0.032	0.767
Строительство	0.329	0.156	0.955	0.558
Робототехника	1.000	0.602	1.000	0.000
Энергетика	0.000	0.370	0.000	0.907

Для получения интегральной оценки потенциала отрасли в контексте внедрения аддитивных технологий был разработан агрегированный индекс, учитывающий как позитивные, так и сдерживающие факторы. В качестве положительно влияющих показателей были выбраны темпы роста, уровень внедрения аддитивных технологий и объём рынка, тогда как уровень конкурентного насыщения был инвертирован ввиду его потенциально ограничивающего воздействия. Все показатели предварительно были нормализованы по методу min-max scaling, что позволило привести значения к единой шкале [0–1] и обеспечить корректность дальнейшего агрегирования.

С учетом экспертной оценки значимости каждого из критериев, агрегированный индекс отраслевого потенциала (AAPI — Additive Adoption Potential Index) рассчитывался по следующей формуле:

$$AAPI = 0.35 * \text{Norm(Рост)} + 0.30 * \text{Norm(Внедрения)} + 0.20 * \text{Norm(Рынок)} + 0.15 * (1 - \text{Norm(Конкуренция)}) \quad (1)$$

Полученное значение AAPI отражает совокупную оценку потенциала каждой отрасли для активного освоения аддитивных технологий и может использоваться для сравнительного анализа и стратегического планирования.

На основе расчётов значений индекса AAPI отрасли были ранжированы по уровню перспективности внедрения аддитивных технологий (см. табл. 3).

Более наглядно данные представлены на графике ниже (см. рис. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о наиболее благоприятных условиях для развития АТ в робототехнике и аэрокосмической промышленности, что обусловлено высокой динамикой роста, масштабом рынка

Таблица 3.
Результаты предиктивного анализа

Отрасль	AAP1 (0–1)	Качественная оценка
Робототехника	0.612	Очень высокая перспективность
Аэрокосмическая промышленность	0.539	Высокая
Строительство	0.477	Умеренная
Медицинское приборостроение	0.445	Средняя
Автомобилестроение	0.235	Низкая
Энергетика	0.147	Очень низкая

и умеренным уровнем конкурентной насыщенности. Сектор строительства демонстрирует высокий уровень текущего внедрения, но страдает от конкурентной фрагментации, что снижает потенциал монетизации внедряемых решений. Медицинское приборостроение обладает высоким темпом роста, однако пока отстаёт по масштабу применения АТ.

Отрасли с наименьшими значениями индекса (энергетика, автомобилестроение) демонстрируют структурную инерцию и слабо адаптированы к быстрому внедрению АТ, несмотря на общий технологический прогресс.

Разработанный подход может использоваться в качестве инструмента стратегического отраслевого планирования, в том числе для:

- приоритизации государственных программ поддержки (гранты, субсидии);
- стратегической оценки точек роста для венчурных и промышленных инвестиций;
- формирования дорожных карт технологического развития отраслей;
- мониторинга цифровой зрелости отраслей в рамках реализации программ НТИ и «Цифровой экономики».

В дальнейших исследованиях предполагается расширение перечня отраслей, добавление временного аспекта (динамика за 3–5 лет), а также включение институциональных факторов, таких как участие в кластерах, уровень локализации производства и наличие целевых государственных программ.

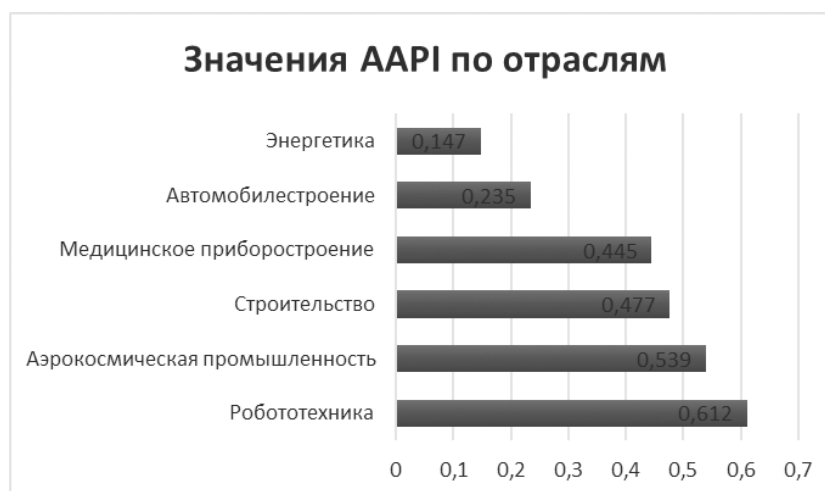


Рис. 1. Значения индекса AAP1 по отраслям

ЛИТЕРАТУРА

1. Abdul Hai Alami, Abdul Ghani Olabi, Adnan Alashkar, Shamma Alasad, Haya Aljaghoub, Hegazy Rezk, Mohammad Ali Abdelkareem. Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals // Ain Shams Engineering Journal. 2023. Vol. 14, Issue 11. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447923004057>.
2. Additive Manufacturing Market: Global Industry Size, Share, Trends, Opportunity & Forecast, 2019–2029 // Research and Markets. 2024. P. 1–186.
3. Adesina A., Iyelolu T., Paul P. Leveraging predictive analytics for strategic decision-making: Enhancing business performance through data-driven insights // World Journal of Advanced Research and Reviews. 2024. Vol. 22. P. 1927–1934.
4. Al-Kheetan M., Ghaffar S. Additive Manufacturing and the Construction Industry. 2023. Chapter 7. P. 97–109.
5. Machinery & Equipment. Market research report // Data Horizon Research. 2024. P. 1–145.
6. Shi J., Xiao Z. Research on the Impact of Inter-Industry Innovation Networks on Collaborative Innovation Performance: A Case Study of Strategic Emerging Industries // Systems. 2024. Vol. 12, No. 6. P. 211.
7. Горин Е.А. Современная промышленная политика: факторы трансформации // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 9. С. 218–227.
8. Соколова П.Н., Дегтерев Д.В. Аддитивные технологии: новационный эффект в промышленности // Вестник ВГУИТ. 2020. № 4 (86). С. 347–353.
9. Соколенко В.Э. Опыт развития инновационной деятельности в странах ОЭСР // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8. № 9А. С. 293–308.

© Кожиев Александр Юрьевич (lion_1998@inbox.ru); Теслюк Владислав Сергеевич (vladislav260100@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»