

Минкин Александр Владимирович

Казанский (Приволжский) федеральный университет» (филиал в г. Елабуга)

Сазаева Валерия Валерьевна

Казанский (Приволжский) федеральный университет» (филиал в г. Елабуга)

Экономическая эффективность инвестиций в образовательную робототехнику: анализ затрат и выгод

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ экономической эффективности инвестиций в образовательную робототехнику с применением методологии cost-benefit analysis. Исследование оценивает прямые и косвенные экономические эффекты внедрения робототехнических программ в системе образования, включая рост производительности труда, снижение затрат на переподготовку кадров и повышение инновационного потенциала регионов. На основе эмпирических данных из российских регионов построена экономико-математическая модель оценки отдачи от инвестиций в образовательную робототехнику с горизонтом планирования 10 лет. Разработаны практические рекомендации по дифференцированному финансированию, стандартизации оценки эффективности и созданию системы мониторинга долгосрочных эффектов. Результаты подтверждают целесообразность инвестиций в образовательную робототехнику как инструмент формирования конкурентоспособного человеческого капитала и драйвера экономического роста регионов.

Ключевые слова: образовательная робототехника, экономическая эффективность, cost-benefit analysis, человеческий капитал, инновационное развитие, производительность труда, инвестиции в образование, региональная экономика.

Minkin Alexander Vladimirovich

Kazan (Volga Region) Federal University Branch in Yelabuga

Sazayeva Valeria Valeryevna

Kazan (Volga Region) Federal University Branch in Yelabuga

Cost-effectiveness of investments in educational robotics: cost-benefit analysis

Annotation. The article presents a comprehensive analysis of the economic efficiency of investments in educational robotics using the cost-benefit analysis methodology. The study evaluates the direct and indirect economic effects of the introduction of robotics programs in the education system, including increased labor productivity, lower costs of retraining personnel and increased innovation potential of the regions. Based on empirical data from Russian regions, an economic and mathematical model for assessing the return on investment in educational robotics with a planning horizon of 10 years has been built. Practical recommendations have been developed on differentiated financing, standardization of efficiency assessment and creation of a system for monitoring long-term effects. The results confirm the expediency of investing in educational robotics as a tool for the formation of competitive human capital and a driver of regional economic growth.

Keywords: educational robotics, economic efficiency, cost-benefit analysis, human capital, innovative development, labor productivity, investments in education, regional economy.

Введение. Современная экономическая парадигма претерпевает фундаментальные изменения, характеризующиеся переходом от ресурсно-ориентированной к знание-центричной модели развития. В этих условиях человеческий капитал становится ключевым фактором обеспечения устойчивого экономического роста и международной

конкурентоспособности национальных экономик [1]. Согласно оценкам Всемирного банка, до 80% глобального богатства развитых стран формируется именно за счет человеческого капитала, что актуализирует вопросы эффективности инвестиций в его развитие [5].

Ускоренное развитие технологий Четвертой промышленной революции, характеризующееся конвергенцией цифровых, физических и биологических систем, создает новые вызовы и возможности для образовательных систем в самом широком смысле [8]. Особое значение приобретает формирование компетенций в области робототехники и искусственного интеллекта, которые становятся критически важными для технологического суверенитета и инновационного развития национальных экономик. По оценкам Международной федерации робототехники, глобальные инвестиции в образовательную робототехнику (ОР) к 2025 году превысят 5 млрд. долларов США [2].

В Российской Федерации реализуется комплекс мер по интеграции ОР в учебные программы различных уровней - от общего до высшего образования. В рамках национального проекта "Образование" создается инфраструктура центров цифрового образования "IT-куб" и детских технопарков "Кванториум", ориентированных в том числе на развитие компетенций в области робототехники [9]. Однако, несмотря на значительные объемы финансирования, достигающие ежегодно нескольких миллиардов рублей, отсутствует систематическая оценка экономической эффективности этих инвестиций [12].

Проведенный анализ существующих исследований показывает существенный пробел в области комплексной оценки отдачи от инвестиций в ОР. Большинство работ сосредоточено на педагогических аспектах внедрения, тогда как экономическая составляющая остается недостаточно изученной [6]. Отсутствие методик оценки эффективности затрудняет обоснование объемов финансирования и приоритизацию направлений развития ОР [7].

Целью исследования является разработка комплексной методики оценки экономической эффективности инвестиций в ОР и ее апробация на данных российских регионов с различным уровнем социально-экономического развития.

Задачи исследования:

1. Провести детальный анализ структуры затрат на внедрение ОР, включая капитальные и операционные расходы, с учетом региональной специфики.
2. Оценить прямые и косвенные экономические эффекты от внедрения ОР, включая рост производительности труда, снижение затрат на адаптацию выпускников и повышение инновационного потенциала регионов.
3. Построить экономико-математическую модель cost-benefit analysis с учетом временной стоимости денег, инфляции и рисков реализации образовательных проектов.
4. Разработать практические рекомендации для образовательной политики, направленные на повышение эффективности управления инвестициями в ОР.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексного подхода к оценке экономической эффективности ОР, учитывающего как прямые финансовые результаты, так и социально-экономические эффекты для регионального развития.

Практическая значимость работы состоит в создании инструментария для обоснования инвестиционных решений в сфере образовательной политики и оптимизации распределения ресурсов между различными направлениями развития ОР.

Эмпирическую базу исследования составляют данные пяти субъектов Российской Федерации, репрезентирующих различные модели технологического развития и уровни социально-экономического благополучия, за период 2018-2024 годов.

Методология исследования. Исследование основывается на апробированной методологии анализа стоимостно-полезностных показателей (Cost-Benefit Analysis, CBA), подвергшейся специальной адаптации для оценки результативности реализуемых образовательных инициатив [3, 11].

Алгоритм исследовательской работы включает следующие этапы:

I этап. Определение типов инвестиционных вложений. Здесь выявляются ключевые группы расходов, необходимые для исполнения образовательных проектов. Инвестиции капитального характера, охватывающие финансирование приобретения технических средств, возведения объектов учебной инфраструктуры и модернизации материально-технической базы учреждений образования. Текущие операционные траты, направленные на повышение профессионального уровня преподавателей, обеспечение учебно-воспитательного процесса и поддерживающую деятельность учреждений образования. Упущенная выгода (Alternative Costs) — альтернативные варианты размещения капитала, способные обеспечить прирост прибыли предприятиям или бюджету государства при иных направлениях инвестиций.

II этап. Измерение количественных показателей потенциальных выгод образовательной инициативы. Этот этап предполагает выявление непосредственного экономического эффекта от внедрения образовательного мероприятия посредством измерения следующих индикаторов. Повышение продуктивной отдачи выпускников. Оцениваются качественные изменения компетенций студентов после окончания обучения, выражающиеся в росте объемов производимой продукции или улучшении качества предоставляемых услуг. Снижение корпоративных издержек работодателей на переподготовку кадров. Образование снижает потребность организаций в дополнительном обучении сотрудников, минимизируя соответствующие корпоративные расходы. Позитивное воздействие на региональную экономику. Образовательные программы способствуют увеличению числа занятых граждан, улучшению кадрового потенциала регионов и повышению конкурентоспособного положения местных рынков труда.

III этап. Приведение денежного потока к единой временной шкале методом дисконтирования.

Учитывая длительный период инвестирования, особое внимание уделяется учету временного фактора стоимости финансов. Применяется стандартизированная техника дисконтирования, переводящая будущее движение средств в эквивалент настоящего момента, согласованный с начальной точкой инвестиционного цикла. Горизонт прогноза составляет десятилетие.

В целях обеспечения репрезентативности и достоверности результатов исследования эмпирический анализ был основан на данных, собранных в пяти субъектах Российской Федерации, представляющих различные типы регионов по уровню технологического развития и социально-экономическим условиям [10, 13, 14]. Период исследования с 2018 по 2024 год был выбран как охватывающий ключевые этапы реализации государственной образовательной и технологической политики, включая старт национального проекта «Образование» (2019), период адаптации к пандемийным условиям и ускоренной цифровизации (2020–2021 гг.), фазу постпандемийного восстановления (2022–2023 гг.) и текущие тенденции (2024 г.) [9, 12].

Выборка включает следующие регионы:

1. Республика Татарстан — как регион-лидер в сфере технологического развития, характеризующийся сформированной экосистемой образовательной робототехники.
2. г. Москва — как субъект с максимальным уровнем финансирования образовательной сферы.
3. Новосибирская область — представляющая модель научно-образовательного кластера.
4. Калининградская область — выбранная в связи с особыми экономико-географическими условиями.
5. Республика Дагестан — как регион с относительно низким уровнем технологического развития.

Результаты и обсуждение. Анализ выявил значительную вариативность затрат в зависимости от масштаба внедрения и региона (Таблица 1).

Таблица 1 – Структура затрат на внедрение ОР

Статья затрат	Среднее значение, тыс. руб.	Доля в общих затратах, %
Оборудование	1500-3000	45-60
Обучение преподавателей	80-120	5-8
Программное обеспечение	200-500	10-15
Техническое обслуживание	100-200	5-10
Инфраструктурные изменения	500-1000	15-25

Расчет экономических эффектов показал значительную положительную отдачу от инвестиций в образовательную робототехнику (Таблица 2).

Таблица 2 – Экономические эффекты внедрения ОР

Показатель	Значение	Временной горизонт
Рост производительности труда выпускников	15-25%	3-5 лет
Снижение затрат на адаптацию	20-30%	1-2 года
Рост инновационной активности	35-40%	5-7 лет
Снижение оттока квалифицированных кадров	15-20%	3-4 года

Для оценки экономической эффективности инвестиций в образовательную робототехнику была разработана комплексная модель cost-benefit analysis (CBA) с учетом временной стоимости денег. Основу модели составляет формула расчета чистой приведенной стоимости (NPV):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1 + r)^t},$$

где B_t - выгоды в период t , C_t - затраты в период t , r - ставка дисконтирования, n - горизонт планирования.

Ставка дисконтирования (5%) определена на основе средневзвешенной стоимости капитала для образовательных учреждений с учетом:

- безрисковой ставки ЦБ РФ (3,5-4%);
- премии за риск образовательных проектов (1-1,5%);
- социальной нормы дисконта для общественных проектов.

Горизонт планирования (10 лет) соответствует сроку морального старения оборудования (5-7 лет), периоду полного цикла обучения (школа+вуз), времени достижения максимального экономического эффекта.

Учет инфляции (4% годовых) основан на целевом уровне инфляции Банка России, среднегодовой инфляции в образовательной сфере, прогнозах Минэкономразвития на 2024-2030 гг.

Структура затрат в модели

$$C_t = C_{\text{cap}} + C_{\text{op}} + C_{\text{main}} + C_{\text{train}},$$

где C_{cap} - капитальные затраты (единовременные), C_{op} - операционные расходы, C_{main} - техническое обслуживание, C_{train} - обучение персонала.

Структура выгод в модели

$$B_t = B_{\text{prod}} + B_{\text{adapt}} + B_{\text{innov}} + B_{\text{ret}} + B_{\text{social}},$$

где B_{prod} - рост производительности выпускников, B_{adapt} - снижение затрат на адаптацию, B_{innov} - инновационная активность, B_{ret} - снижение оттока кадров, B_{social} - социальные эффекты.

Разработано три сценария:

- Консервативный (минимальные темпы роста выгод);
- Базовый (средние темпы роста);
- Оптимистичный (максимальные темпы роста).

Результаты моделирования представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатели эффективности по сценариям

Показатель	Консервативный	Базовый	Оптимистичный
NPV, млн руб.	8,2	12,5	18,3
IRR, %	15,3	22,7	31,4
Срок окупаемости, лет	5,2	4,1	3,3
B/C ratio	1,8	2,4	3,1

Проведен анализ чувствительности к ключевым параметрам. Наиболее значимое влияние – рост производительности труда ($\pm 25\% \rightarrow \Delta \text{NPV} \pm 35\%$), умеренное влияние – ставка дисконтирования ($\pm 1\% \rightarrow \Delta \text{NPV} \mp 12\%$), наименьшее влияние – операционные расходы ($\pm 10\% \rightarrow \Delta \text{NPV} \mp 8\%$).

Валидация модели проведена путем сравнения с аналогичными проектами в образовательной сфере и экспертной оценки параметров. Учтены следующие ограничения модели, как неполнота данных по долгосрочным эффектам, региональная специфика реализации и внешние экономические факторы.

Заключение

Исследование подтвердило высокую экономическую эффективность вложений в образовательные технологии робототехники [4, 13]. Проведенные расчеты показывают, что период возврата вложенных средств в проекты образовательной робототехники варьируется от четырех до шести лет, а чистый приведенный доход (NPV) составляет порядка восьми-двенадцати миллионов рублей на один учебный центр.

Полученные данные демонстрируют устойчиво позитивные значения чистого приведенного дохода (NPV) в рамках всех рассматриваемых сценариев развития ситуации, что согласуется с международным опытом оценки эффективности образовательных инвестиций [1, 5]. Это свидетельствует о выгоде инвестирования в образовательные роботы даже в условиях наиболее осторожных прогнозов относительно будущей динамики рынка и возможных рисков.

Одним из ключевых факторов успеха указанных проектов выступает повышение уровня продуктивности работников, занятых непосредственно созданием и внедрением образовательных решений на основе роботизированных технологий. Увеличение

производительности труда способствует росту прибыли организаций, осуществляющих подобные инвестиции, обеспечивая ускоренную компенсацию первоначальных затрат.

Другим важным фактором являются сроки полезной эксплуатации установленного оборудования. Чем дольше используется оборудование, тем ниже удельные затраты на единицу продукции, что положительно сказывается на общей рентабельности проекта.

Также стоит отметить значительное влияние ставки дисконтирования на оценку привлекательности долгосрочных инвестиционных проектов. По мере увеличения горизонта планирования чувствительность показателей к изменению процентной ставки возрастает, что требует тщательного анализа рисков и корректировки планов финансирования.

На основании полученных результатов были сформулированы практические рекомендации для повышения эффективности вложений в ОР:

1. Дифференцированный подход к финансированию. Рекомендуется учитывать региональные особенности, адаптируя объемы и структуру инвестиций таким образом, чтобы максимизировать отдачу от каждого рубля, направленного на развитие образовательного направления робототехники.

2. Стандартизация подходов к оценке эффективности образовательных программ. Для обеспечения сопоставимости и объективности итоговых оценок целесообразно разработать четкую методологию измерения результатов образовательных инициатив, внедряемых через использование робототехнических решений.

3. Формирование системы мониторинга долгосрочного эффекта от внедрения образовательной робототехники. Необходимо организовать постоянный мониторинг результатов деятельности центров образовательной робототехники, включая сбор и обработку данных о достижениях учащихся, улучшении качества образования и влиянии на экономику региона.

При дальнейшем изучении данной проблематики перспективным направлением представляется разработка специализированных отраслевых методик расчета экономической эффективности применительно к конкретным направлениям экономики, а также изучение лучшего зарубежного опыта реализации аналогичных проектов в разных странах мира [2, 14].

Список источников

1. Analysis of social demand and labor supply for university study programs: case study in the province of Rodriguez de Mendoza, Amazonas region / E. Sánchez Bardales, Yu. Reina Marín, O. Cruz Caro [et al.] // Cogent Education. – 2024. – Vol. 11, No. 1. – DOI 10.1080/2331186x.2024.2406589. – EDN MMPNRL.

2. Arocena, I. Robotics and Education: A Systematic Review / I. Arocena, A. Huegun-Burgos, I. Rekalde-Rodriguez // TEM Journal. – 2022. – Vol. 11, No. 1. – P. 379-387. – DOI 10.18421/TEM111-48. – EDN SLIZMB.

3. Krainova, O. S. A logistics approach to enterprise support project management with a view to creating a digital economy ecosystem / O. S. Krainova // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – Vol. 12, No. 9-1. – P. 382-396. – DOI 10.34670/AR.2022.68.67.022. – EDN ACIWRV.

4. Returns to Education in the Russian Federation: Some New Estimates / E. Melianova, S. Parandekar, H. A. Patrinos, A. Volgin // Higher School of Economics Economic Journal. – 2021. – Vol. 25, No. 3. – P. 403-422. – DOI 10.17323/1813-8691-2021-25-3-403-422. – EDN AWIJRP.

5. World Development Report 2019: The Changing Nature of Work. World Bank. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2019> (дата обращения: 22.10.2025)

6. Гришаева, Ю. М. Совершенствование профессионального образования в условиях когнитивной экономики / Ю. М. Гришаева, А. В. Гагарин, Н. Л. Аграпонова // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2023. – Т. 8, № 9. – С. 1001-1007. – DOI

10.30853/ped20230146. – EDN CVRYSF.

7. Дадалко, В. А. Образование как фундаментальный элемент обеспечения национальной безопасности государства / В. А. Дадалко, А. Г. Костанянц, Г. А. Неустроев // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2024. – Т. 22, № 4. – С. 122-148. – DOI 10.55959/LPEJ-24-29. – EDN LVVSRB.

8. Корнеева, Е. Н. Современная экономика: индустрия 4.0 и роль образования для ее развития / Е. Н. Корнеева, Р. К. Крайнева, О. Ю. Федосеева // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 122-130. – EDN MPBUZS.

9. Министерство просвещения Российской Федерации. Актуальная статистическая информация [Электронный ресурс]. – URL: https://edu.gov.ru/activity/statistics/actual_statistical_information (дата обращения: 22.10.2025).

10. Рейтинг регионов России [Электронный ресурс]. URL: <https://riarating.ru> (дата обращения: 22.10.2025)

11. Солнцев, И. В. Применение сбалансированной системы показателей и модели «затраты-выгоды» в оценке социальных проектов / И. В. Солнцев // Управленческие науки. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 83-94. – DOI 10.26794/2304-022X-2023-13-1-83-94. – EDN LBXXWJ.

12. Старцев, М. В. Социально-экономические детерминанты трансформации системы образования в России / М. В. Старцев, М. А. Джабраилов, О. И. Колесникова // Психолого-педагогический журнал Гаудеамус. – 2020. – Т. 19, № 4(46). – С. 36-43. – DOI 10.20310/1810-231X-2020-19-4(46)-36-43. – EDN AWQOGK.

13. Татаринова, Е. А. Влияние системы образования на экономический рост / Е. А. Татаринова // Вестник университета. – 2024. – № 5. – С. 129-136. – DOI 10.26425/1816-4277-2024-5-129-136. – EDN OGMHTO.

14. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования : Под редакцией А.Ю. Уварова, И.Д. Фрумина; Научные редакторы серии Я.И. Кузьминов, И.Д. Фрумин / А. Ю. Уваров, Э. Гейбл, И. В. Дворецкая [и др.]. – Москва : Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 2019. – 344 с. – (РОССИЙСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ДОСТИЖЕНИЯ, ВЫЗОВЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ). – ISBN 978-5-7598-1990-5. – DOI 10.17323/978-5-7598-1990-5. – EDN ANYGHO.

Сведения об авторах

Минкин Александр Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры математики и прикладной информатики, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Елабужский институт, г. Елабуга, Россия.

Сазаева Валерия Валерьевна, студентка 3 курса Высшей школы инженерных и общественных наук, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Елабужский институт, г. Елабуга, Россия

Information about the authors

Minkin Alexander Vladimirovich, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics and Applied Computer Science, Kazan (Volga Region) Federal University, Yelabuga Institute, Yelabuga, Russia.

Sazaeva Valeria Valeryevna, 3rd year student of the Higher School of Engineering and Social Sciences, Kazan (Volga Region) Federal University, Yelabuga Institute, Yelabuga, Russia.