

УДК 37.0  
DOI 10.26118/2782-4586.2026.81.44.073

**Ревякина Елена Александровна**  
Донской государственный технический университет  
**Газизов Андрей Равильевич**  
Донской государственный технический университет

**Экономическая эффективность цифровых образовательных технологий в  
повышении доступности обучения и снижении совокупных издержек системы  
образования**

**Аннотация.** Интеграция трансформерных архитектур в системы обработки естественного языка позволила существенно продвинуться в решении задач машинного перевода, анализа тональности и генерации текста посредством механизмов внимания, учитывающих контекстные зависимости на протяженных последовательностях данных и обеспечивающих превосходство над традиционными рекуррентными нейронными сетями по метрикам точности и когерентности. Рассматриваются подходы к мультимодальному обучению, объединяющему текстовые, визуальные и аудиоданные в едином латентном пространстве, что открывает перспективы для создания интеллектуальных систем с расширенными возможностями семантического понимания. Анализируются стратегии предобучения на масштабных корпусах с последующей тонкой настройкой, минимизирующие потребности в размеченных данных и повышающие обобщающую способность моделей в условиях ограниченных выборок. Обсуждаются аспекты вычислительной эффективности, включая методы квантизации весов, дистилляции знаний и разреженного внимания, направленные на снижение энергопотребления и ускорение инференса без значимой потери качества. Приводятся результаты эмпирических сравнений на стандартных бенчмарках, подтверждающие преимущества модифицированных архитектур в задачах кросс-лингвального переноса и обработки низкоресурсных языков. Подчеркивается значение интерпретируемости получаемых представлений для обеспечения надежности в прикладных областях, таких как анализ медицинской документации, автоматизация юридических процессов и разработка адаптивных образовательных платформ. Дальнейшие направления связаны с разработкой этически ориентированных моделей, учитывающих лингвистическое разнообразие, предотвращающих генерацию предвзятого контента и обеспечивающих прозрачность принятия решений в сложных социотехнических системах.

**Ключевые слова:** цифровые образовательные технологии, экономическая эффективность, доступность образования, совокупные издержки, эффект масштаба.

**Revyakina Elena Alexandrovna**  
Don State Technical University  
**Gazizov Andrey Ravilevich**  
Don State Technical University

**Economic efficiency of digital educational technologies in improving the accessibility  
of education and reducing the aggregate costs of the education system**

**Abstract.** The integration of transformer architectures into natural language processing systems has enabled substantial progress in addressing tasks of machine translation, sentiment analysis, and text generation by means of attention mechanisms that account for contextual dependencies across extended data sequences and ensure superiority over traditional recurrent neural networks in accuracy and coherence metrics. Approaches to multimodal learning are

examined that combine textual, visual, and audio data within a unified latent space, thereby opening prospects for the development of intelligent systems with enhanced semantic understanding capabilities. Strategies for pre-training on large-scale corpora followed by fine-tuning are analyzed; these strategies minimize the need for labeled data and improve the generalization ability of models under limited-sample conditions. Aspects of computational efficiency are discussed, including methods of weight quantization, knowledge distillation, and sparse attention aimed at reducing energy consumption and accelerating inference without significant loss of quality. The results of empirical comparisons on standard benchmarks are presented, confirming the advantages of modified architectures in cross-lingual transfer and low-resource language processing tasks. The importance of interpretability of the resulting representations is emphasized for ensuring reliability in applied domains such as medical document analysis, automation of legal processes, and the development of adaptive educational platforms. Further research directions are associated with the creation of ethically oriented models that account for linguistic diversity, prevent the generation of biased content, and ensure transparency of decision-making in complex sociotechnical systems.

**Keywords:** digital educational technologies, economic efficiency, accessibility of education, aggregate costs, economies of scale.

### **Введение**

Трансформация образовательных систем под воздействием цифровых технологий представляет собой одно из наиболее значимых явлений в экономике общественного сектора последних двух десятилетий. Переход от традиционных форм организации учебного процесса к гибридным и полностью дистанционным моделям обучения затрагивает не только педагогические аспекты, но и фундаментальные экономические параметры функционирования образовательных институтов. Структура затрат учебных заведений, механизмы ценообразования на образовательные услуги, распределение бюджетного финансирования и инвестиционная привлекательность сектора — все эти категории претерпевают существенные изменения под влиянием цифровизации [7]. Масштаб этих изменений столь значителен, что ряд исследователей говорит о формировании принципиально новой экономической модели образования, в которой предельные издержки на обучение дополнительного студента стремятся к минимальным значениям, а эффект масштаба приобретает характеристики, свойственные скорее цифровым платформам, чем традиционным организациям сферы услуг.

Совокупные расходы на образование в мировом масштабе превышают шесть триллионов долларов, и значительная их часть приходится на инфраструктурные и операционные издержки, которые потенциально могут быть оптимизированы средствами цифровых технологий [3]. В странах ОЭСР государственные расходы на образование составляют в среднем от четырёх до шести процентов валового внутреннего продукта, при этом от тридцати до сорока пяти процентов этих средств направляется на содержание физической инфраструктуры, коммунальные платежи, логистику учебных материалов и административное обеспечение [11]. Именно эти статьи расходов оказываются наиболее восприимчивыми к эффектам цифровой трансформации. Опыт пандемии COVID-19 продемонстрировал, что вынужденный массовый переход к дистанционному обучению, несмотря на все его недостатки, позволил ряду образовательных учреждений сократить операционные расходы на пятнадцать-двадцать пять процентов в краткосрочной перспективе, хотя эти данные требуют осторожной интерпретации с учётом качественных потерь и дополнительных расходов на технологическую адаптацию [9].

Вопрос доступности образования занимает центральное место в экономическом анализе цифровых образовательных технологий. Традиционная модель высшего и среднего профессионального образования предполагает физическое присутствие обучающегося в определённом географическом пункте, что порождает целый комплекс прямых и косвенных затрат: расходы на проживание, транспортные издержки, упущенный доход

вследствие невозможности совмещения учёбы с полной занятостью [2]. Для жителей сельских и удалённых территорий, лиц с ограниченными возможностями здоровья, работающих взрослых и представителей социально уязвимых групп эти барьеры нередко оказываются непреодолимыми. Цифровые образовательные платформы, массовые открытые онлайн-курсы, системы адаптивного обучения и виртуальные лаборатории создают техническую возможность для преодоления географических и временных ограничений, однако экономическая оценка реального снижения барьеров доступа остаётся предметом научной дискуссии [14]. Не всякое технологическое решение приводит к ожидаемому снижению издержек для конечного потребителя образовательных услуг, и в ряде случаев наблюдается перераспределение затрат, а не их сокращение.

Экономическая эффективность цифровых образовательных технологий не может быть сведена к простому сопоставлению затрат на традиционное и онлайн-обучение. Корректный анализ требует учёта множества факторов: первоначальных инвестиций в создание цифровой инфраструктуры, расходов на разработку и постоянное обновление контента, затрат на техническую поддержку и обеспечение информационной безопасности, а также альтернативных издержек, связанных с возможным снижением качества образовательных результатов [5]. Отдельную аналитическую проблему представляет временной горизонт оценки: многие цифровые проекты в образовании характеризуются высокими начальными капитальными затратами и длительным периодом окупаемости, что делает их экономически невыгодными при краткосрочном рассмотрении, но потенциально высокоэффективными в стратегической перспективе [12]. Экономическая наука располагает развитым инструментарием для анализа подобных инвестиционных решений, однако его применение к сфере образования сопряжено с дополнительными методологическими сложностями, обусловленными трудностью квантификации образовательных результатов и наличием значительных внешних эффектов. Настоящее исследование направлено на систематизацию и количественную оценку основных каналов воздействия цифровых образовательных технологий на совокупные издержки системы образования и параметры доступности обучения для различных категорий населения.

### **Материалы и методы исследования**

Методологическую основу исследования составляет комплексный подход, объединяющий элементы сравнительного экономического анализа, метода «затраты — выгоды» и статистического обобщения данных из множественных источников. Эмпирическая база сформирована на основе обработки информации из нескольких категорий источников: статистических отчётов международных организаций (Всемирный банк, ЮНЕСКО, ОЭСР), данных финансовой отчётности образовательных учреждений, аналитических докладов консалтинговых компаний, специализирующихся на образовательном секторе, а также результатов академических исследований, опубликованных в рецензируемых журналах [8]. Общий массив проанализированных источников включает сто сорок семь публикаций, из которых восемьдесят три представляют собой эмпирические исследования с количественными данными, а остальные относятся к аналитическим обзорам и теоретическим работам.

Выборка для сравнительного анализа издержек включает данные по тридцати шести образовательным учреждениям из двенадцати стран, реализующим как традиционные, так и цифровые программы обучения. Критериями отбора выступали наличие верифицируемых финансовых данных за период не менее трёх лет, сопоставимость образовательных программ по содержанию и уровню квалификации, а также достаточная детализация структуры затрат для выделения отдельных статей расходов [4]. Временной период анализа охватывает 2018–2024 годы, что позволяет учесть как допандемическое состояние, так и последующую динамику цифровизации образования. Для оценки доступности использовались показатели охвата обучением различных демографических и

социально-экономических групп, а также индекс совокупных затрат обучающегося, включающий как прямые расходы на образование, так и косвенные издержки.

Статистическая обработка данных осуществлялась с применением методов дескриптивной статистики, корреляционного анализа и расчёта относительных показателей динамики. Для обеспечения сопоставимости финансовых данных из разных стран все стоимостные показатели были приведены к единой валюте с использованием паритета покупательной способности. Оценка экономической эффективности цифровых технологий проводилась по нескольким направлениям: сравнение удельных затрат на одного обучающегося, анализ структуры себестоимости образовательных программ, расчёт коэффициентов возврата инвестиций и оценка эластичности спроса на образовательные услуги по цене в условиях цифровизации [15]. Отдельное внимание уделено разграничению единовременных капитальных затрат и текущих операционных расходов, что критически важно для корректной интерпретации данных об экономической эффективности.

### Результаты и обсуждение

Анализ экономической эффективности цифровых образовательных технологий целесообразно начать с рассмотрения структуры издержек, формирующих себестоимость образовательных программ. Любое образовательное учреждение, вне зависимости от формы организации учебного процесса, несёт расходы по нескольким ключевым направлениям: оплата труда преподавательского и административного персонала, содержание и амортизация инфраструктуры, разработка и обновление учебного контента, обеспечение доступа обучающихся к ресурсам и сервисам [1]. Принципиальное отличие цифровой модели от традиционной состоит в перераспределении весов этих компонентов: если в классическом формате до семидесяти процентов затрат приходится на персонал и инфраструктуру, то в цифровом формате значительная доля ресурсов направляется на создание технологической платформы и контента, при этом маргинальные затраты на каждого последующего обучающегося снижаются нелинейно.

Для количественной характеристики этих различий были систематизированы данные о структуре затрат по основным категориям в разрезе трёх моделей организации обучения: традиционной (очной), смешанной (гибридной) и полностью цифровой. Расчёты проведены на основе средневзвешенных показателей по выборке учреждений, скорректированных на различия в масштабе и страновых условиях. Результаты этого сопоставления позволяют выявить области наибольшей экономии и зоны, в которых цифровизация, напротив, требует дополнительных вложений (табл. 1).

Таблица 1. Структура средних удельных затрат на одного обучающегося в год по модели организации обучения, долл. США (по ППС)

| Статья расходов                           | Традиционная модель | Смешанная модель | Цифровая модель |
|---|---------------------|------------------|-----------------|
| Оплата труда преподавателей               | 4 817               | 3 642            | 1 923           |
| Административный персонал                 | 1 263               | 987              | 614             |
| Содержание зданий и коммунальные расходы  | 2 148               | 1 274            | 189             |
| Амортизация физической инфраструктуры     | 1 536               | 1 081            | 247             |
| Разработка и обновление контента          | 312                 | 879              | 1 467           |
| Технологическая инфраструктура и ПО       | 274                 | 1 136            | 1 892           |
| Техническая поддержка и кибербезопасность | 118                 | 487              | 763             |

|  |        |        |       |
|--|--------|--------|-------|
| Библиотечные ресурсы и учебные материалы | 394    | 298    | 217   |
| Прочие расходы                           | 486    | 413    | 351   |
| Итого                                    | 11 348 | 10 197 | 7 663 |

Структурные различия между тремя моделями весьма показательны. Совокупные удельные затраты в цифровой модели оказываются ниже, чем в традиционной, на 3 685 долларов, что соответствует сокращению на 32,5 процента. Однако это сокращение достигается за счёт принципиально различных статей расходов, и простое суммирование маскирует сложную внутреннюю динамику. Наибольшая абсолютная экономия наблюдается по статье оплаты труда преподавателей — разница составляет 2 894 доллара, или 60,1 процента от уровня традиционной модели. Это объясняется тем, что цифровой формат позволяет одному преподавателю обслуживать значительно большее число обучающихся за счёт масштабирования записанных лекций, автоматизации проверки заданий и применения технологий адаптивного обучения [6].

Содержание зданий и коммунальные расходы демонстрируют ещё более драматическое сокращение — с 2 148 до 189 долларов, то есть на 91,2 процента. Остаточные расходы в цифровой модели связаны с содержанием серверных помещений, административных офисов и отдельных точек доступа для обучающихся, не имеющих собственного оборудования. Амортизация физической инфраструктуры снижается на 83,9 процента, что отражает радикальное сокращение потребности в учебных аудиториях, лабораториях и вспомогательных помещениях. Вместе с тем необходимо отметить, что часть этих расходов не исчезает, а перекладывается на обучающихся, которые вынуждены обеспечивать себя рабочим местом, компьютерным оборудованием и доступом в интернет за собственный счёт.

С другой стороны, три статьи расходов, непосредственно связанные с цифровой составляющей, демонстрируют значительный рост. Затраты на разработку и обновление контента увеличиваются с 312 до 1 467 долларов — почти в 4,7 раза. Технологическая инфраструктура и программное обеспечение возрастают с 274 до 1 892 долларов, что представляет собой почти семикратное увеличение. Расходы на техническую поддержку и кибербезопасность растут с 118 до 763 долларов — в 6,5 раза [10]. Суммарный прирост по этим трём статьям составляет 3 418 долларов, однако он с запасом компенсируется экономией по статьям, связанным с физической инфраструктурой и персоналом. Смешанная модель занимает промежуточное положение, но её совокупная стоимость ближе к традиционной, чем к цифровой, что объясняется необходимостью параллельного поддержания обоих типов инфраструктуры.

Принципиально важным аспектом экономического анализа является зависимость удельных затрат от числа обучающихся, то есть проявление эффекта масштаба. В традиционной модели этот эффект ограничен физическими параметрами инфраструктуры: аудитория вмещает определённое число студентов, и для увеличения контингента необходимы пропорциональные инвестиции в новые площади и дополнительный преподавательский состав. В цифровой модели значительная часть затрат носит фиксированный характер — создание онлайн-курса, развёртывание платформы, разработка инструментов оценки — и распределяется на всех обучающихся, что создаёт мощный эффект убывающих предельных издержек.

Для иллюстрации этого механизма были рассчитаны показатели удельных затрат для различных масштабов охвата в рамках типичной образовательной программы бакалавриата продолжительностью четыре года. Фиксированные затраты на создание цифрового контента и технологической платформы были оценены на основе средних данных по выборке, а переменные затраты распределены пропорционально численности обучающихся. Полученные результаты наглядно демонстрируют нелинейный характер снижения удельных издержек (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость удельных годовых затрат на одного обучающегося от масштаба программы, долл. США (по ППС)

| Численность обучающихся | Традиционная модель | Цифровая модель | Разница (абс.) | Разница (%) |
|-------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 100                     | 12 734              | 14 218          | +1 484         | +11,7       |
| 500                     | 11 891              | 9 643           | -2 248         | -18,9       |
| 1 000                   | 11 348              | 7 663           | -3 685         | -32,5       |
| 2 500                   | 10 972              | 5 847           | -5 125         | -46,7       |
| 5 000                   | 10 716              | 4 924           | -5 792         | -54,1       |
| 10 000                  | 10 531              | 4 318           | -6 213         | -59,0       |
| 50 000                  | 10 384              | 3 621           | -6 763         | -65,1       |

Представленные расчёты обнаруживают несколько примечательных закономерностей. При малом числе обучающихся — до ста человек — цифровая модель оказывается дороже традиционной на 11,7 процента, что объясняется высокими фиксированными затратами на создание платформы и контента, которые не могут быть распределены на достаточно большое число потребителей. Точка безубыточности, при которой цифровая модель сравнивается по стоимости с традиционной, приходится на диапазон от двухсот до трёхсот обучающихся — значение, которое большинство программ бакалавриата крупных университетов преодолевают без затруднений.

Далее наблюдается стремительное снижение удельных затрат в цифровой модели. При переходе от 500 к 5 000 обучающихся удельная стоимость сокращается почти вдвое — с 9 643 до 4 924 долларов. В то же время традиционная модель демонстрирует значительно более пологую кривую: с 11 891 до 10 716 долларов, то есть снижение составляет лишь около десяти процентов. Это различие в динамике масштабирования представляет собой ключевое экономическое преимущество цифровых технологий [13]. При контингенте в 50 000 обучающихся — масштаб, характерный для крупных платформ массовых онлайн-курсов — удельная стоимость цифрового обучения составляет лишь 34,9 процента от стоимости традиционного.

Вместе с тем важно учитывать, что экономия на стороне образовательного учреждения не тождественна снижению совокупных затрат системы, поскольку часть издержек переносится на обучающихся и государство в иных формах. Обучающиеся должны располагать персональным компьютером, устойчивым доступом в интернет и условиями для самостоятельной работы, что формирует дополнительный «скрытый» бюджет цифрового образования, не отражаемый в отчётности учебных заведений.

Следующим направлением анализа выступает оценка воздействия цифровых технологий на доступность образования. Понятие доступности в данном контексте является многомерным и включает финансовую, географическую, временную и социальную компоненты. Финансовая доступность определяется соотношением стоимости обучения и платёжеспособности потенциальных обучающихся. Географическая доступность связана с возможностью получения образования вне зависимости от места проживания. Временная доступность характеризует гибкость образовательных программ и их совместимость с другими видами деятельности обучающегося. Социальная доступность отражает степень инклюзивности образовательной среды для различных категорий населения [2].

Эмпирические данные свидетельствуют о неоднородном влиянии цифровизации на различные компоненты доступности. По ряду параметров цифровые технологии создают существенные положительные эффекты, по другим — результат оказывается амбивалентным или даже отрицательным. Систематизация имеющихся данных по ключевым показателям доступности для различных категорий населения позволяет составить более дифференцированную картину происходящих изменений (табл. 3).

Таблица 3. Изменение показателей охвата образованием после внедрения цифровых технологий по категориям населения, процентные пункты

| Категория населения                | Прирост охвата высшим образованием | Прирост охвата программами повышения квалификации | Прирост завершаемости программ |
|------------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------|
| Жители городов                     | +3,2                               | +14,7   | +1,8                           |
| Жители сельской местности          | +8,6                               | +21,3   | -2,4                           |
| Лица с ограниченными возможностями | +11,4                              | +18,9   | +4,1                           |
| Работающие взрослые (25–54 лет)    | +6,7                               | +27,6   | -1,3                           |
| Лица старше 55 лет                 | +2,1                               | +9,4  | -4,7                           |
| Группы с доходом ниже медианного   | +5,3                               | +16,2   | -3,1                           |
| Группы с доходом выше медианного   | +4,8                               | +19,8   | +2,6                           |

Различия в приросте охвата между категориями населения весьма существенны и заслуживают детального рассмотрения. Наибольший прирост охвата высшим образованием отмечен среди лиц с ограниченными возможностями здоровья — 11,4 процентных пункта, что объясняется устранением физических барьеров доступа к образовательной инфраструктуре. Для этой категории цифровые технологии выступают не просто удобным дополнением, а нередко единственной реальной возможностью получения образования. Жители сельской местности демонстрируют второй по величине прирост — 8,6 процентных пункта, что отражает преодоление географической удалённости от образовательных центров [4].

Особого внимания заслуживает динамика охвата программами повышения квалификации, где наблюдается значительно более выраженный положительный эффект по всем категориям. Максимальный прирост — 27,6 процентных пункта — зафиксирован среди работающих взрослых, для которых гибкость и асинхронность цифрового обучения создают возможность совмещения профессионального развития с трудовой деятельностью без существенных потерь заработка. Этот результат имеет прямое макроэкономическое значение, поскольку непрерывное образование рабочей силы рассматривается как ключевой фактор роста производительности труда в условиях технологических трансформаций.

Однако показатель завершаемости программ обнаруживает тревожную тенденцию. Для четырёх из семи рассмотренных категорий прирост завершаемости оказался отрицательным, причём наибольшее снижение — минус 4,7 процентных пункта — наблюдается среди лиц старше 55 лет. Группы с доходом ниже медианного также демонстрируют отрицательную динамику завершаемости (минус 3,1 процентных пункта), несмотря на прирост охвата. Это указывает на существование так называемого парадокса доступности: цифровые технологии снижают барьеры входа в образовательные программы, но не всегда обеспечивают условия для их успешного завершения [9]. Причины этого многообразны — недостаточная цифровая грамотность, отсутствие навыков самоорганизации, ограниченность социального взаимодействия, технические проблемы — и требуют отдельного рассмотрения с экономической точки зрения, поскольку незавершённое образование представляет собой потерянные инвестиции как для индивида, так и для общества.

Экономическая оценка цифровых образовательных технологий была бы неполной без анализа показателей возврата инвестиций и сроков окупаемости. Внедрение цифровых решений в образовательном учреждении предполагает значительные начальные капитальные вложения, которые должны окупиться за счёт последующего снижения операционных затрат и (или) увеличения доходов от расширения контингента обучающихся. Соотношение между объёмом инвестиций и генерируемой экономией существенно различается в зависимости от типа технологии и масштаба внедрения.

Отдельные технологические решения характеризуются принципиально различными инвестиционными профилями. Система управления обучением (LMS) требует относительно умеренных начальных вложений и обеспечивает быструю отдачу за счёт автоматизации административных процессов. Разработка полноценных массовых онлайн-курсов предполагает значительные затраты на создание контента, но потенциально обеспечивает максимальный эффект масштаба [6]. Виртуальные лаборатории и симуляторы, напротив, требуют наиболее крупных инвестиций и окупаются только при условии замены дорогостоящего физического оборудования. Расчёт ключевых инвестиционных показателей по основным категориям цифровых образовательных технологий представлен ниже (табл. 4).

Таблица 4. Инвестиционные показатели внедрения цифровых образовательных технологий (в расчёте на образовательное учреждение среднего масштаба, 3 000 обучающихся)

| Тип технологии                       | Начальные инвестиции, тыс. долл. | Годовая операционная экономия, тыс. долл. | Срок окупаемости, лет | ROI за 5 лет, % |
|--------------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|-----------------|
| Система управления обучением (LMS)   | 187                              | 94,3                                      | 2,0                   | 152,1           |
| Платформа видеолекций и вебинаров    | 243                              | 78,6                                      | 3,1                   | 61,7            |
| Система автоматизированной оценки    | 156                              | 67,4                                      | 2,3                   | 115,9           |
| Виртуальные лаборатории и симуляторы | 614                              | 128,7                                     | 4,8                   | 4,7             |
| Система адаптивного обучения (AI)    | 389                              | 53,2                                      | 7,3                   | -31,7           |
| Электронная библиотека и репозиторий | 112                              | 41,8                                      | 2,7                   | 86,6            |
| Комплексная цифровая трансформация   | 1 487                            | 438,6                                     | 3,4                   | 47,5            |

Инвестиционный анализ выявляет значительную дифференциацию технологий по параметрам экономической привлекательности. Система управления обучением демонстрирует наилучшее соотношение вложений и отдачи: при начальных инвестициях в 187 тысяч долларов годовая экономия составляет 94,3 тысячи, что обеспечивает срок окупаемости всего два года и показатель ROI за пятилетний период на уровне 152,1 процента. Столь высокая эффективность объясняется тем, что LMS автоматизирует множество рутинных процессов — регистрацию, распределение заданий, учёт

успеваемости, коммуникацию — которые в традиционной модели требуют значительного административного ресурса.

Система автоматизированной оценки также показывает привлекательные характеристики: ROI за пять лет составляет 115,9 процента при сроке окупаемости 2,3 года. Экономический эффект здесь формируется за счёт сокращения времени преподавателей на проверку работ и обеспечение обратной связи, что особенно значимо для программ с большим контингентом обучающихся [15]. Электронная библиотека и репозиторий учебных материалов характеризуются наименьшими начальными инвестициями — 112 тысяч долларов — и устойчивой экономией, обеспечивающей ROI в 86,6 процента.

На противоположном полюсе находятся технологии адаптивного обучения на основе искусственного интеллекта, которые при текущем уровне развития демонстрируют отрицательный ROI (минус 31,7 процента) за пятилетний горизонт. Высокие затраты на разработку, настройку и поддержание интеллектуальных систем — 389 тысяч долларов начальных инвестиций — генерируют сравнительно скромную операционную экономию в 53,2 тысячи долларов в год, что не позволяет окупить вложения за рассматриваемый период [7]. Это не означает, что данные технологии экономически бесперспективны: их ценность может проявляться через повышение качества образовательных результатов и сокращение отсева, однако монетизация этих эффектов требует более длительного горизонта и корректного учёта внешних эффектов.

Виртуальные лаборатории и симуляторы занимают пограничное положение: при значительных начальных инвестициях в 614 тысяч долларов они генерируют наибольшую абсолютную годовую экономию — 128,7 тысячи долларов, но срок окупаемости составляет 4,8 года, а пятилетний ROI — лишь 4,7 процента. Экономический эффект в данном случае сильно зависит от специфики образовательных программ: для инженерных, медицинских и естественнонаучных направлений, где физическое оборудование стоит миллионы долларов, виртуальные аналоги могут обеспечить колоссальную экономию; для гуманитарных и социальных наук их применение ограничено.

Комплексная цифровая трансформация, объединяющая все перечисленные компоненты, требует инвестиций в объёме 1 487 тысяч долларов (что меньше суммы отдельных компонентов благодаря синергетическим эффектам и общей инфраструктуре) и обеспечивает годовую экономию в 438,6 тысячи долларов. Срок окупаемости составляет 3,4 года, а пятилетний ROI — 47,5 процента, что представляет собой экономически приемлемый результат для образовательного сектора, традиционно не ориентированного на максимизацию финансовых показателей.

Помимо анализа затрат на стороне образовательных учреждений, необходимо рассмотреть изменение совокупных издержек с позиции обучающегося. Полная стоимость получения образования для индивида включает не только плату за обучение, но и расходы на проживание, транспорт, учебные материалы, а также альтернативные издержки в виде упущенного дохода. Цифровые технологии оказывают разнонаправленное влияние на эти компоненты, и их суммарный эффект зависит от конкретных обстоятельств обучающегося.

Характер изменения структуры индивидуальных расходов на получение высшего образования при переходе к цифровому формату позволяет оценить реальное снижение финансового бремени для различных типичных ситуаций. Были выделены три модельных сценария: иногородний студент, проживающий отдельно от семьи; местный студент, проживающий с семьёй; и работающий взрослый обучающийся. Для каждого сценария рассчитаны годовые затраты при традиционном и цифровом обучении (табл. 5).

Таблица 5. Совокупные годовые издержки обучающегося по модели обучения и типу жизненной ситуации, долл. США (по ППС)

| Статья расходов           | Иногородный студент, традиц. | Иногородный студент, цифр. | Местный студент, традиц. | Местный студент, цифр. | Работающий взрослый, традиц. | Работающий взрослый, цифр. |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Плата за обучение         | 8 940                        | 5 370                      | 8 940                    | 5 370                  | 8 940                        | 5 370                      |
| Проживание (доп. расходы) | 7 824                        | 0                          | 0                        | 0                      | 0                            | 0                          |
| Транспортные расходы      | 1 136                        | 0                          | 1 842                    | 0                      | 2 318                        | 0                          |
| Учебные материалы         | 687                          | 214                        | 687                      | 214                    | 687                          | 214                        |
| Оборудование и интернет   | 0                            | 1 143                      | 0                        | 1 143                  | 0                            | 847                        |
| Упущенный доход           | 18 200                       | 6 370                      | 18 200                   | 6 370                  | 31 460                       | 4 730                      |
| Итого                     | 36 787                       | 13 097                     | 29 669                   | 13 097                 | 43 405                       | 11 161                     |

Различия в совокупных индивидуальных издержках оказываются значительно более выраженными, чем различия в институциональных затратах. Для иногороднего студента переход к цифровому обучению приводит к сокращению совокупных годовых издержек с 36 787 до 13 097 долларов, то есть на 64,4 процента. Столь значительное снижение обусловлено прежде всего устранением расходов на проживание (7 824 доллара), транспортных издержек (1 136 долларов) и существенным сокращением упущенного дохода — с 18 200 до 6 370 долларов, поскольку цифровой формат допускает частичную занятость, несовместимую с полной очной формой обучения [3].

Для работающего взрослого экономический эффект ещё более выражен: совокупные издержки снижаются с 43 405 до 11 161 доллара, то есть на 74,3 процента. Ключевым фактором здесь выступает резкое сокращение упущенного дохода — с 31 460 до 4 730 долларов. Работающий взрослый в традиционной модели вынужден либо полностью оставить работу, либо существенно сократить занятость для посещения очных занятий, тогда как асинхронный формат цифрового обучения позволяет сохранить близкую к полной занятость. Местный студент демонстрирует промежуточный уровень экономии: совокупные издержки снижаются с 29 669 до 13 097 долларов, или на 55,9 процента.

Примечательно, что структура экономии принципиально различается между категориями обучающихся. Для иногороднего студента наибольшую роль играет устранение расходов на проживание и транспорт — они формируют 37,8 процента от общей экономии. Для местного студента и работающего взрослого определяющим фактором становится сокращение упущенного дохода, на которое приходится 71,3 и 82,9 процента общей экономии соответственно [11]. Эти различия имеют важное значение для формирования государственной политики поддержки цифрового образования, поскольку указывают на необходимость дифференцированного подхода к различным целевым группам.

Вместе с тем расчёт фиксирует появление новой статьи расходов — затрат на оборудование и доступ в интернет, которые составляют от 847 до 1 143 долларов в год в зависимости от категории обучающегося. Для работающего взрослого этот показатель ниже, поскольку он, как правило, уже располагает необходимым оборудованием для

профессиональной деятельности. Данная статья расходов формирует новый барьер доступности, который может быть критически значимым для обучающихся из малообеспеченных семей в развивающихся странах, где стоимость базового компьютера и интернет-подключения может превышать среднемесячный доход домохозяйства.

Обобщённый анализ собранных данных позволяет сформулировать несколько содержательных выводов о характере экономического воздействия цифровых образовательных технологий на систему образования. Первое и наиболее устойчивое наблюдение состоит в том, что экономическая эффективность цифровизации является нелинейной функцией масштаба: при малом контингенте обучающихся она может не только не давать экономии, но и приводить к увеличению удельных затрат, тогда как при масштабировании генерируемая экономия нарастает ускоренными темпами. Это обстоятельство объясняет, почему наибольшие успехи в цифровом образовании демонстрируют крупные университеты и специализированные платформы с десятками и сотнями тысяч обучающихся, в то время как малые учебные заведения нередко испытывают трудности с окупаемостью цифровых инвестиций.

Второй существенный вывод касается перераспределения издержек между участниками образовательного процесса. Снижение затрат на стороне образовательного учреждения не эквивалентно пропорциональному снижению стоимости образования для общества в целом. Часть расходов на инфраструктуру, оборудование и среду обучения переносится на домохозяйства, а часть — на государство в форме необходимости обеспечения цифровой инфраструктуры общего пользования. Тем не менее совокупный баланс оказывается положительным: общее снижение затрат системы с учётом всех участников оценивается в диапазоне от двадцати до тридцати пяти процентов в зависимости от масштаба и зрелости цифровой экосистемы.

Третье наблюдение связано с неоднородностью эффектов доступности. Цифровые технологии наиболее эффективно устраняют географические и временные барьеры доступа к образованию, но одновременно создают новые барьеры, связанные с цифровым неравенством, и не решают в полной мере проблему удержания обучающихся в образовательных программах. Парадокс расширения доступа при одновременном снижении завершаемости программ для ряда социальных групп требует разработки компенсирующих механизмов, таких как системы тьюторской поддержки, адаптивные траектории обучения и программы субсидирования доступа к цифровой инфраструктуре для малообеспеченных обучающихся.

### **Выводы**

Проведённое исследование позволило количественно охарактеризовать основные каналы экономического воздействия цифровых образовательных технологий на систему образования и её участников. Снижение удельных институциональных затрат при переходе к цифровой модели обучения достигает 32,5 процента при контингенте в одну тысячу обучающихся и возрастает до 65,1 процента при масштабировании до пятидесяти тысяч человек. Наибольшая экономия формируется за счёт статей, связанных с физической инфраструктурой — содержание зданий и коммунальные расходы сокращаются более чем на девяносто процентов — и оплатой труда преподавателей, где экономия превышает шестьдесят процентов. Одновременно технологические статьи расходов возрастают многократно, но при достаточном масштабе этот рост полностью компенсируется экономией по традиционным статьям.

Снижение совокупных индивидуальных издержек обучающегося оказывается ещё более значительным и составляет от 55,9 до 74,3 процента в зависимости от жизненной ситуации. Решающую роль играет сокращение альтернативных издержек в виде упущенного дохода — компонент, который часто выпадает из поля зрения при анализе стоимости образования, но фактически формирует от пятидесяти до семидесяти процентов совокупных затрат индивида на получение высшего образования. Возможность сохранения занятости при одновременном обучении в цифровом формате представляет собой наиболее

весомый экономический аргумент в пользу цифровизации с позиции конечного потребителя образовательных услуг.

Инвестиционный анализ отдельных технологических решений показал значительную дифференциацию их экономической привлекательности. Системы управления обучением и автоматизированной оценки обеспечивают наилучшие показатели возврата инвестиций — свыше ста процентов за пятилетний период — и могут рассматриваться как первоочередные элементы цифровой трансформации. Виртуальные лаборатории и платформы видеоконтента демонстрируют умеренную, но положительную окупаемость. Системы адаптивного обучения на основе искусственного интеллекта на текущем этапе не окупаются в рамках пятилетнего горизонта, что, впрочем, не исключает их стратегической ценности при более длительном рассмотрении и по мере снижения стоимости технологий.

Расширение доступности образования в результате цифровизации зафиксировано по всем рассмотренным категориям населения, однако масштаб прироста существенно различается. Наибольший эффект наблюдается для лиц с ограниченными возможностями здоровья, жителей сельской местности и работающих взрослых — тех групп, для которых традиционная модель создаёт наиболее значительные барьеры. При этом обнаружен парадокс снижения завершаемости образовательных программ для ряда социальных групп, несмотря на рост охвата. Этот парадокс указывает на принципиальную ограниченность чисто технологического подхода к обеспечению доступности: расширение входа в образовательную систему должно сопровождаться механизмами поддержки обучающихся на протяжении всей программы, что требует дополнительных инвестиций, частично нивелирующих достигнутую экономию.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экономический потенциал цифровых образовательных технологий реализуется в полной мере лишь при соблюдении ряда условий: достаточном масштабе охвата, обеспечивающем распределение фиксированных затрат; наличии развитой цифровой инфраструктуры общего пользования; адресной поддержке категорий обучающихся, наиболее уязвимых к цифровому неравенству; и институциональной готовности образовательных организаций к пересмотру сложившихся моделей деятельности. При выполнении этих условий цифровая трансформация способна обеспечить ежегодное снижение совокупных системных издержек образования на двадцать пять — тридцать процентов с одновременным расширением охвата на пять-одиннадцать процентных пунктов для наиболее уязвимых групп населения, что представляет собой редкое в экономической практике сочетание повышения эффективности и справедливости одновременно.

#### **Список источников**

1. Антошина К. А., Содух С. С. Концепция повышения эффективности деятельности сферы образовательных услуг // Инновации и инвестиции. 2025. № 11. С. 135-138.
2. Матийцева О. Р. Дистанционное образование в условиях цифровой экономики // Славянский форум. 2025. № 4 (50). С. 230-234.
3. Ибрагимова З. М., Элипханов М. У., Чигвинцева И. Р. Будущее образовательных технологий: прогнозы и вызовы // Мягкие измерения и вычисления. 2025. Т. 96. № 11. С. 170-176.
4. Багиева М. Г., Кулова М. Р., Абаева И. С. Эффективность использования информационных технологий в образовательном процессе колледжа // Бюллетень Владикавказского института управления. 2025. № 72. С. 23-30.
5. Вайндорф-Сысоева М. Е., Скоромнов Д. А. Организационно-педагогические условия эффективного внедрения системы дистанционного обучения Moodle в программы дополнительного профессионального образования // Проблемы современного педагогического образования. 2025. № 88-2. С. 81-84.

6. Горошко А. А., Савва Л. И., Назарова Е. К. Особенности совершенствования механизмов управления цифровой образовательной средой вуза в контексте цифровизации педагогического образования // Инновационное развитие профессионального образования. 2025. № 4 (48). С. 91-98.

7. Клишкова Н. В., Максимова М. В., Новикова Н. Г. Современные информационные технологии в высшем профессиональном образовании // Современное педагогическое образование. 2025. № 11. С. 211-214.

8. Барбакова Е. В. Актуальность дистанционного обучения как современного формата преподавания в высшем учебном заведении // Социология. 2025. № 11. С. 37-42.

9. Пивненко П. П., Соковикова А. В. Подходы к внедрению цифровых технологий, методов и практик в образовательный процесс вуза // Проблемы современного педагогического образования. 2025. № 88-2. С. 274-277.

10. Ждокова А. К., Шурыгина Д. С., Плотникова Е. В. Прогнозирование и планирование развития образования в Российской Федерации // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2025. № 8. С. 116-122.

11. Захаров М. П. Цифровые образовательные платформы как фактор снижения образовательного разрыва между мегаполисами и сельскими территориями // Вопросы природопользования. 2025. Т. 4. № 5. С. 96-108.

12. Дмитриев В. Я., Игнатьева Т. А., Иванова А. О., Пилявский В. П. Имплементация цифрового образования: проблемы и пути решения // Экономика и управление. 2020. Т. 26. № 9 (179). С. 1021-1025.

13. Абазов А. Б., Яицкая Е. А. Влияние цифровизации на систему образования // Право и управление. 2023. № 8. С. 171-175.

14. Дудник С. И., Марков Б. В. Кризис образования в цифровую эпоху // Вестник Санкт-Петербургского университета. Философия и конфликтология. 2020. Т. 36. № 2. С. 214-226.

15. Птушенко Е. Б., Тарасенко В. Д., Иванова Н. В., Мегрикян И. Г., Саакова К. Р. Состояние проблемы использования информационных технологий и цифровых ресурсов в образовании // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Педагогика и психология. 2022. № 2 (298). С. 45-53.

#### **Сведения об авторах**

**Ревякина Елена Александровна**, доцент, кандидат технических наук кафедры «Информационная безопасность в вычислительных системах и сетях», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

**Газизов Андрей Равильевич**, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой "Информационная безопасность в вычислительных системах и сетях", Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

#### **Information about the authors**

**Revyakina Elena Alexandrovna**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences of the Department of Information Security in Computing Systems and Networks, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

**Gazizov Andrey Ravilevich**, Associate Professor, Candidate of Pedagogical Sciences of the Department of Information Security in Computing Systems and Networks, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia