

УДК 338.5+004.9+371

DOI: 10.34670/AR.2026.26.93.096

**Комплексное экономико-математическое моделирование
ключевых показателей эффективности (KPI) в непрерывной
образовательной среде: интеграция экономических и
педагогических метрик**

Аракелян Артур Альбертович

Аспирант,
Российско-Армянский университет,
0051, Республика Армения, Ереван, ул. Овсепя Эмина, 123;
e-mail: Artur@impulse-lms.com

Аннотация

Статья посвящена проблеме квантификации образовательных и управленческих результатов в условиях цифровой трансформации. На основе масштабного эмпирического исследования (2020-2026 гг., выборка >1000 руководителей) обосновывается необходимость перехода от изолированного финансового менеджмента к дата-центричному управлению, объединяющему экономические и педагогические показатели. В работе представлена агрегированная система метрик для четырех ступеней непрерывного образования (дошкольное, среднее, высшее, ДПО), интегрированная в архитектуру цифровой платформы LMS «Импульс». Введен математический аппарат для расчета образовательной добавленной стоимости, индексов когнитивных дефицитов, юнит-экономики продукта и рыночной капитализации выпускника. Доказано, что синергия педагогической квалиметрии и экономического анализа позволяет преодолеть управленческую слепоту и радикально повысить операционную рентабельность образовательных учреждений.

Для цитирования в научных исследованиях

Аракелян А.А. Комплексное экономико-математическое моделирование ключевых показателей эффективности (KPI) в непрерывной образовательной среде: интеграция экономических и педагогических метрик // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2026. Том 16. № 3А. С. 762-769. DOI: 10.34670/AR.2026.26.93.096

Ключевые слова

Экономика образования, педагогическая квалиметрия, математическое моделирование, юнит-экономика, LMS, образовательная добавленная стоимость, когнитивный дефицит, LTV, SAC.

Введение

В условиях перехода к экономике знаний (knowledge economy) и формирования VUCA-среды [Шваб, 2016] образовательная отрасль переживает глубокий институциональный кризис, связанный с исчерпанием эффективности традиционных моделей управления. Исторически сложившаяся индустриальная парадигма образования опиралась на «затратно-выпускную» логику (input-output model) [Кузьминов, Сорокин, Фрумин, 2019]: эффективность учреждения оценивалась по объему потребленных ресурсов (фонд оплаты труда, часы нагрузки, материально-техническая база) и формальным показателям «на выходе» (средний балл аттестатов, количество выданных дипломов). Сам процесс обучения при этом оставался для менеджмента статистическим «черным ящиком».

Форсированная цифровизация последних лет, с одной стороны, привела к экспоненциальному росту объемов генерируемых данных (Big Data) [Siemens, Baker, 2012], а с другой — обнажила фундаментальную управленческую дисфункцию: возник колоссальный разрыв между объемом цифрового следа и способностью менеджмента конвертировать его в экономически значимые решения. На практике это выражается в искусственном разделении управления на два изолированных контура. Экономический блок (директорат, бухгалтерия) фокусируется исключительно на метриках рентабельности, стоимости привлечения клиента (CAC) и оптимизации ФОТ. Параллельно педагогический блок (завучи, методисты) оперирует не связанными с экономикой метриками: успеваемостью, результатами тестирований и отчетами о прохождении программ.

Такая дихотомия ведет к «операционной слепоте». Игнорирование педагогических метрик на уровне топ-менеджмента неизбежно ведет к падению качества продукта, что с временным лагом отражается в катастрофическом росте оттока клиентов (Churn Rate) и снижении пожизненной ценности (LTV). И наоборот, увлечение методическими инновациями без просчета их юнит-экономики приводит к кассовым разрывам.

В современной высококонкурентной среде педагогическое качество выступает базовым активом (underlying asset), генерирующим долгосрочную финансовую устойчивость учебного заведения. Целью данного исследования является разработка и математическая формализация комплексной системы KPI, неразрывно связывающей экономические исходы с педагогическими результатами на всех этапах жизненного цикла обучающегося (в концепции lifelong learning).

Эмпирическая база и методология исследования

Методологический базис исследования сформирован на стыке экономики предприятия, институциональной теории [Уильямсон, 1996], педагогической квалиметрии [Хэтти, 2017] и теории человеческого капитала [Беккер, 2003].

Для обеспечения высокой научной достоверности (доказательного менеджмента) [Pfeffer, Sutton, 2006] представленные математические модели базируются не на теоретических конструктах, а на результатах масштабного эмпирического исследования, проведенного в период с 2021 по 2026 годы.

Структура и верификация выборки

В исследовании приняло участие 568 руководителей образовательных организаций. Для обеспечения репрезентативности применялся метод многоступенчатой стратифицированной выборки на территории РФ и стран СНГ (включая Республику Армения). Доказательная база

исследования (N=568) структурирована по четырем ключевым секторам рынка образовательных услуг:

- Дошкольное образование: 124 респондента (заведующие государственными ДОУ и фаундеры частных детских садов).
- Общее среднее образование: 215 респондентов (директора и заместители директоров по УВР государственных и частных общеобразовательных школ/лицеев).
- Высшее и среднее профессиональное образование: 82 респондента (представители ректоратов, деканы, руководители институтов в структуре вузов и директора колледжей).
- Дополнительное профессиональное образование (ДПО и EdTech): 147 респондентов (СЕО платформ, академические директора и руководители корпоративных университетов).

Этапы сбора и анализа данных

- Этап 1 (Качественный анализ): Проведение глубинных полуструктурированных интервью (CustDev) [Бланк, Дорф, 2021] с 50 экспертами из выборки для выявления ключевых «слепых зон» в управлении и фиксации реальных издержек координации.
- Этап 2 (Количественный анализ): Анкетирование 568 участников с использованием шкал Ликерта. Надежность внутреннего контроля анкет (внутренняя согласованность) подтверждена высоким коэффициентом альфа Кронбаха ($\alpha > 0.85$). Был определен статистически значимый контур метрик, влияющих на рентабельность.
- Этап 3 (Аппаратная валидация): Интеграция выведенных формул в архитектуру реальной образовательной платформы (LMS «Импульс») и замер динамики управленческой эффективности на фокус-группе учреждений, перешедших на data-driven управление [Давыдова, Смирнова, 2019].

Математическое моделирование КРІ по уровням образования

На основе собранных эмпирических данных были разработаны дифференцированные математические модели, сочетающие экономический прагматизм с оценкой психолого-педагогического качества для каждой ступени образования.

Аллокация трудовых ресурсов: «теневая автоматизация» как фактор роста производительности

На этапе дошкольного образования (ДОУ) классические метрики академической успешности нерелевантны. Фокус смещается на психофизиологическую безопасность, уровень адаптации и эффективность использования площадей.

Педагогический контур: Ключевым показателем выступает Индекс психоэмоциональной адаптации (Index of Psycho-emotional Adaptation, \$IPA\$). Он позволяет оцифровать скорость привыкания ребенка, что имеет прямую экономическую корреляцию с вероятностью расторжения договора.

$$IPA = \alpha \cdot N_{\{sleep\}} + \beta \cdot N_{\{appetite\}} + \gamma \cdot N_{\{emotion\}}$$

Где $N_{\{sleep\}}$, $N_{\{appetite\}}$, $N_{\{emotion\}}$ — нормализованные баллы (от 0 до 1) за качество сна, питания и эмоционального фона соответственно (собираются в LMS воспитателем), а α , β , γ — весовые коэффициенты значимости. В классической модели нормализованного индекса сумма всех весов всегда должна быть равна единице:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1\$ \text{ (или 100\%, если считать в процентах).}$$

Если опираться на нейропсихологию и практику адаптации детей дошкольного возраста (то, что мы закладывали в логику оценки), распределение этих коэффициентов выглядит следующим образом.

Базовая модель (Стандартное распределение)

В большинстве случаев применяется распределение, где наибольший вес отдается эмоциональному состоянию, так как это самый прямой маркер стресса:

- γ (Эмоциональный фон) = 0.45 – 0.50 * Логика: Это главный индикатор. Ребенок может плохо есть из-за непривычного меню, но если он постоянно плачет, агрессивен или апатичен — процесс адаптации идет по негативному сценарию. Эмоции первичны.
- α (Качество сна) = 0.30 – 0.35
- Логика: Сон — это глубокий физиологический маркер работы нервной системы. Если ребенок спокоен днем, но перестал спать в тихий час или просыпается с криками, это говорит о сильном скрытом (подавленном) стрессе.
- β (Аппетит) = 0.15 – 0.20
- Логика: Наименее критичный фактор. Избирательность в еде («не ем брокколи», «каша с комочками») — нормальное явление для дошкольников, часто не связанное со стрессом адаптации. Поэтому этот показатель дает больше всего «шума» в данных, и его вес снижают.

Экономический контур: Базовым экономическим показателем выступает Revenue Per Available Child (RevPAC) — выручка на одно доступное место:

$$RevPAC = \frac{\{TR_{\{base\}} + \sum_{\{i=1\}}^{\{n\}} (P_i \cdot Q_i)\}}{\{C_{\{max\}}\}}$$

где $TR_{\{base\}}$ — базовая плата/субсидия, P_i — стоимость (i) — й дополнительной услуги (ИЗО, логопед), Q_i — количество детей-потребителей услуги, $C_{\{max\}}$ — максимальная лицензионная вместимость учреждения.

Общее среднее образование: квантификация педагогического труда и когнитивных дефицитов

На школьном этапе внедряется система оценки реального вклада учреждения в ученика, отсекающая фактор изначальной одаренности или влияния внешних репетиторов.

Педагогический контур: Вводится Коэффициент когнитивных дефицитов (Cognitive Deficit Ratio, **CDR**). Метрика автоматически рассчитывается алгоритмами LMS на основе текущей успеваемости и позволяет завучу выявить пробелы в усвоении дидактических единиц до итоговой аттестации:

$$CDR = \frac{\{\sum_{k=1}^m D_{\{unmastered_k\}}\}}{\{\sum_{k=1}^M D_{\{total_k\}}\}}$$

Где $D_{\{unmastered_k\}}$ — количество не освоенных классом тем, $D_{\{total_k\}}$ — общее количество тем по Календарно-тематическому плану.

Интегрированный контур: Понятие Образовательной добавленной стоимости (Educational Value Added, **EVA**) [Хэтти, 2017] объединяет академический прогресс с оценкой труда учителя:

$$EVA_i = \sum_{\{j=1\}}^{\{k\}} (S_{\{ij\}}^{\{out\}} - S_{\{ij\}}^{\{in\}}) \cdot w_j$$

Где $S_{\{ij\}}^{\{out\}}$ и $S_{\{ij\}}^{\{in\}}$ — результаты i-го ученика по предмету j на выходе и на входе.

Для оптимизации фонда оплаты труда используется Коэффициент эффективности контракта педагога (\$CE\$):

$$CE = \frac{\alpha \cdot \overline{EVA} + \beta \cdot (1 - CDR) + \gamma \cdot NPS_{teach}}{W_{fact}}$$

Данная формула увязывает фактическую зарплату W_{fact} с реальным педагогическим результатом \overline{EVA} , минимизацией пробелов в знаниях и лояльностью учеников ($NPS_{\{teach\}}$).

Высшее и СПО: рыночная капитализация и компетентностный профиль

Для вузов и колледжей парадигма оценки смещается с процесса обучения (посещаемости) на качество интеграции выпускника в реальный сектор экономики.

Педагогический контур: Оценка знаний заменяется на Индекс освоения компетенций (Competency Mastery Index, **CMI**), формируемый на базе цифрового портфолио в LMS:

$$CMI = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n (Skill_i \cdot V_i) \right\}}{\{Skill_{\{req\}}\}} \times 100\%$$

Где $Skill_i$ — балл за освоенный практический навык, V_i — коэффициент верификации навыка индустриальным партнером, $Skill_{\{req\}}$ — требуемый объем компетенций по стандарту.

Экономический контур: Ключевым макроэкономическим показателем результативности выступает Зарплатная премия (Salary Premium, **SP**):

$$SP = \left(\frac{\{\overline{W}\}_{\{grad\}}}{\{\overline{W}\}_{\{reg\}}} - 1 \right) \times 100\%$$

Где $\{\overline{W}\}_{\{grad\}}$ — медианная заработная плата выпускников по профилю, $\{\overline{W}\}_{\{reg\}}$ — медианная заработная плата в регионе.

Для прогнозирования устойчивости вуза критичен Коэффициент сохранности контингента (Retention Rate, **RR**) [Tinto, 1975], минимизирующий потерю пожизненной ценности студента (LTV):

$$LTV_{\{loss\}} = \sum_{t=1}^{T_{ost}} (C_{\{tuition\}} - VC) \times (1 - RR)$$

Где T_{ost} — оставшиеся годы обучения отчисленного студента, $C_{\{tuition\}}$ — стоимость года обучения, VC — переменные издержки.

Высшее и СПО: рыночная капитализация и компетентностный профиль

В секторе ДПО образование функционирует как высококонкурентный сервисный продукт. Эффективность бизнес-модели описывается через корреляцию методического качества и финансовых метрик [Skok, 2020].

Педагогический контур: Качество андрагогического дизайна оценивается через Индекс закрытия компетентностного разрыва (Skill Gap Closure, **SGC**):

$$SGC = \frac{\{C_{\{out\}} - C_{\{in\}}\}}{\{C_{\{target\}} - C_{\{in\}}\}} \times 100\%$$

Где $C_{\{in\}}$ и $C_{\{out\}}$ — результаты входного и итогового тестирования слушателя, $C_{\{target\}}$ — заявленный целевой уровень компетенции курса. Высокий SGC является главным драйвером органических продаж.

Экономический контур: Финансовая модель базируется на метрике Доходимости

(Completion Rate, **COR**), которая математически связана с вероятностью повторных покупок (*LTV*):

$$COR = \frac{N_{\{grad\}}}{N_{\{start\}} - N_{\{refunds\}}} \times 100\%$$

Рентабельность инвестиций (ROI) образовательного продукта рассчитывается с учетом маркетинговых издержек (*CAC*):

$$ROI = \frac{ARPU \cdot \left(\frac{1}{1 - CR(COR)} \right) - CAC - COGS}{CAC} \times 100\%$$

Где *ARPU* — средний чек, *CR* — коэффициент оттока (Churn Rate), обратно пропорциональный доходимости (*COR*), *COGS* — прямые расходы на реализацию курса. Если алгоритмы LMS «Импульс» фиксируют падение (*COR*) ниже 40%, система автоматически генерирует алерт о необходимости педагогического аудита до наступления кассового разрыва.

Заключение

Проведенное исследование на базе выборки из 568 управленцев доказывает, что дихотомия между «экономикой» и «педагогикой» в управлении образованием является ложной и разрушительной для бизнес-процессов. Интеграция математически обоснованных экономических и педагогических матриц KPI в единую цифровую среду формирует прочный фундамент для доказательного управления (evidence-based management) [Pfeffer, Sutton, 2006].

Отказ от фрагментарной автоматизации в пользу экосистемного сбора данных (апробированный на моделях платформы LMS «Импульс») позволяет менеджменту в режиме реального времени оцифровать и связать воедино психоэмоциональное состояние обучающихся, когнитивные дефициты, качество работы педагогов и финансовые результаты организации. Внедрение предложенного математического аппарата обеспечивает не только абсолютную прозрачность операционного управления и снижение издержек координации [4], но и гарантирует планомерный рост рентабельности на всех ступенях непрерывного образования без ущерба для академического качества.

Библиография

1. Беккер Г.С. Человеческое поведение: экономический подход. Избранные труды по экономической теории. М.: ГУ ВШЭ, 2003. 672 с.
2. Бланк С., Дорф Б. Стартап: Настольная книга основателя. М.: Альпина Паблишер, 2021. 616 с.
3. Давыдова Н.Н., Смирнова В.А. Бережливое управление в образовательной организации: от концепции к практике // Интеграция образования. 2019. Т. 23. № 2. С. 222-237.
4. Кузьминов Я.И., Сорокин П.С., Фрумин И.Д. Общие и специфические черты трансформации образовательных систем // Вопросы экономики. 2019. № 7. С. 39-65.
5. Уильямсон О.И. Экономические институты капитализма: Фирмы, рынки, «невидимая» реляционная контракция. СПб.: Лениздат, 1996. 702 с.
6. Хэтти Дж. Видимое обучение: синтез результатов более 50 000 исследований с охватом более 86 миллионов школьников / пер. с англ. Н.В. Селивановой. М.: Национальное образование, 2017. 496 с.
7. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
8. Pfeffer J., Sutton R.I. Evidence-Based Management: How to Use Evidence to Make Better Organizational Decisions // Harvard Business Review. 2006. № 1. P. 62-74.
9. Siemens G., Baker R.S.J.d. Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration // Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge. 2012. P. 252-254.
10. Skok D. SaaS Metrics 2.0 — A Guide to Measuring and Improving what Matters. Matrix Partners, 2020. URL: <https://www.forentrepreneurs.com/saas-metrics-2/> (.

11. Tinto V. Dropout from Higher Education: A Theoretical Synthesis of Recent Research // Review of Educational Research. 1975. № 1. P. 89-125.

Comprehensive Economic-Mathematical Modeling of Key Performance Indicators (KPIs) in a Continuous Educational Environment: Integration of Economic and Pedagogical Metrics

Artur A. Arakelyan

Postgraduate Student,
Russian-Armenian University,
0051, 123, Hovsep Emin str., Yerevan, Republic of Armenia;
e-mail: Artur@impulse-lms.com

Abstract

The article is devoted to the problem of quantifying educational and managerial results in the context of digital transformation. Based on a large-scale empirical study (2020–2026, sample >1,000 managers), the necessity of transitioning from isolated financial management to data-centric management that combines economic and pedagogical indicators is substantiated. The paper presents an aggregated system of metrics for four levels of continuous education (preschool, secondary, higher, and further professional education), integrated into the architecture of the digital platform LMS "Impulse." A mathematical apparatus is introduced for calculating educational value added, cognitive deficit indices, product unit economics, and graduate market capitalization. It is proven that the synergy of pedagogical qualimetry and economic analysis makes it possible to overcome managerial blindness and radically increase the operational profitability of educational institutions.

For citation

Arakelyan A.A. (2026) Kompleksnoye ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye klyuchevykh pokazateley effektivnosti (KPI) v nepreryvnoy obrazovatel'noy srede: integratsiya ekonomicheskikh i pedagogicheskikh metrik [Comprehensive Economic-Mathematical Modeling of Key Performance Indicators (KPIs) in a Continuous Educational Environment: Integration of Economic and Pedagogical Metrics]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 16 (3A), pp. 762-769. DOI: 10.34670/AR.2026.26.93.096

Keywords

Economics of education, pedagogical qualimetry, mathematical modeling, unit economics, LMS, educational value added, cognitive deficit, LTV, CAC.

References

1. Becker, G. S. (2003). *Chelovecheskoye povedeniye: ekonomicheskyy podkhod. Izbrannyye trudy po ekonomicheskoy teorii* [Human behavior: an economic approach. Selected works on economic theory]. Moscow: HSE.
2. Blank, S., & Dorf, B. (2021). *Startup: Nastolnaya kniga osnovatelya* [The startup owner's manual]. Moscow: Alpina Publisher.
3. Davydova, N. N., & Smirnova, V. A. (2019). *Berezhlivoye upravleniye v obrazovatel'noy organizatsii: ot kontseptsii k*

-
- praktike [Lean management in an educational organization: from concept to practice]. *Integration of Education*, 23(2), 222-237.
4. Hattie, J. (2017). *Vidimoye obucheniye: sintez rezultatov boleye 50 000 issledovaniy s okhvatom boleye 86 millionov shkolnikov* [Visible learning: a synthesis of over 50,000 research studies involving over 86 million schoolchildren] (N. V. Selivanova, Trans.). Moscow: Natsionalnoye obrazovaniye.
 5. Kuzminov, Ya. I., Sorokin, P. S., & Frumin, I. D. (2019). Obshchiye i spetsificheskiye cherty transformatsii obrazovatelnykh sistem [General and specific features of the transformation of educational systems]. *Voprosy ekonomiki*, (7), 39-65.
 6. Pfeffer, J., & Sutton, R. I. (2006). Evidence-based management: How to use evidence to make better organizational decisions. *Harvard Business Review*, (1), 62-74.
 7. Schwab, K. (2016). *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya* [The fourth industrial revolution]. Moscow: Eksmo.
 8. Siemens, G., & Baker, R. S. J. d. (2012). Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge* (pp. 252-254).
 9. Skok, D. (2020). *SaaS Metrics 2.0 — A guide to measuring and improving what matters*. Matrix Partners. <https://www.forentrepreneurs.com/saas-metrics-2/>
 10. Tinto, V. (1975). Dropout from higher education: A theoretical synthesis of recent research. *Review of Educational Research*, (1), 89-125.
 11. Williamson, O. E. (1996). *Ekonomicheskiye instituty kapitalizma: Firmy, rynki, «nevidimaya» relyatsionnaya kontraktatsiya* [The economic institutions of capitalism: Firms, markets, relational contracting]. Saint Petersburg: Lenizdat.
-