

Секция 10

СЕКЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Председатель – Ефремов Артём Александрович,

канд. физ.-мат. наук, доцент,
доцент Высшей школы киберфизических систем и управления,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ученый секретарь – Кузнецова Лидия Валерьевна,

ст. преподаватель Высшей школы киберфизических систем и управления,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УДК 330.1

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-237

Спатарь Алина¹,
студент;

Широкова Светлана Владимировна²,
доцент, канд. техн. наук, доцент

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия,
²swchirokov@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается системный подход к оценке эффективности цифровых технологий для малых и средних производственных предприятий. Цифровые технологии являются ключевыми для реализации цифровой трансформации и повышения эффективности и гибкости производственных процессов. Таким образом, в данной статье разработана модель оценки экономической эффективности цифровых технологий, предназначенных для малых и средних предприятий. Для оценки эффективности различные виды затрат на внедрение цифровых технологий определены и систематизированы. Проведен анализ потенциальных выгод от использования цифровых технологий, предложены правила количественной оценки качественных показателей. Показатель «Рентабельность цифровых технологий (RoDT)» разработан для оценки прибыли на основе инвестированного капитала. RoDT позволяет производственным предприятиям принять правильное решение в области цифровых технологий для эффективного управления производственными процессами.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровые технологии, модель оценки цифровых технологий.

*Alina Spatar*¹,
Student;
*Svetlana V. Shirokova*²,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

SYSTEMATIC APPROACH TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF ENTERPRISE DIGITAL TECHNOLOGIES

^{1, 2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia,
²swchirokov@mail.ru

Abstract. This paper addresses the challenge of evaluating the cost effectiveness of digital technologies for small and medium-sized enterprises in manufacturing. Digital technologies are key technologies to implement the digitalization and interlinking of production processes with the advantage of increasing production efficiency and flexibility. Thus, an evaluation model for assessing the economic effectiveness of digital technologies aimed at small and medium-sized enterprises is developed in this paper. To assess the effectiveness, different cost types of implementing digital technologies are identified and classified. Furthermore, potential benefits of digital technologies utilization are analyzed comprehensively and calculation rules for monetization of benefits are suggested. The metric «Return on digital technologies (RoDT)» is defined to value the profit based on the invested capital. The RoDT will facilitate the selection of economically efficient digital technologies solutions, supporting small and medium-sized enterprises with economic growth by reasonable technology management.

Keywords: digital transformation, digital technologies, digital technologies evaluation model.

Введение

В настоящее время производственные предприятия сталкиваются с трендом цифровизации для повышения эффективности производства и снижения производственных затрат [1]. Цифровые технологии являются ключевыми для достижения целей цифровизации и реализации объединения производственных процессов. Малые и средние предприятия (МСП) и новые начинающие компании заинтересованы во внедрении цифровых решений для обеспечения конкурентоспособности на рынке.

На сегодняшний день не существует общепринятого определения цифровых технологий. В 2008 году Эдвард Ли выдвинул следующее определение: «Цифровые технологии – это интеграция вычислений с физическими процессами. Встроенные устройства, системы и сети контролируют и управляют физическими процессами, с помощью контуров обратной связи, когда физические процессы влияют на цифровые модели и наоборот» [2]. Брой и Гайсбергер понимали цифровые системы как интернет-сервисы, встроенные системы, процессы логистики, координации и управления, которые используют датчики для сбора и реагирования на

физические данные и процессы с помощью исполнительных механизмов [3]. Для четкого понимания цифровых систем представлена классификация компонентов и технологий в таблице 1.

Таблица 1

Технологические кластеры цифровых технологий

Цифровые технологии		
Наименование	Функции	Технологии
Исполнительные механизмы	Манипулирование физической реальностью с помощью аппаратного и программного обеспечения	MES, MDC, робототехника
HMI (Human-Machine Interface) –Человеко-машинный интерфейс	Интерфейс для взаимодействия человека с киберфизической системой	Приложения, умные очки, информационные панели
Датчики	Сбор данных из физического окружения и передача их в цифровую среду	RFID, сети датчиков, ИК-системы
ИТ-инфраструктура	Инфраструктура для хранения и обработки данных внутри среды	Серверы, облако, блокчейн
Технологии передачи данных	Инфраструктура для обмена данными между цифровой и физической средой	Ethernet, 4G, 5G, WI-FI, Bluetooth
Анализ и обработка данных	Возможность анализа и обработки данных из/для бизнес-операций	Большие данные, ERP, PDM, PLM

Существующие методологии экономической оценки можно разделить на три категории: качественная оценка; количественная оценка на основе эмпирических данных (например, тематических исследований) или экспертных оценок; и количественная оценка, основанная на моделях структурированной оценки [4]. Существует довольно много качественных анализов экономических преимуществ цифровых технологий. Качественная оценка прибыльности конкретных технологий больше распространена в литературе, например, в некоторых публикациях описываются преимущества и недостатки использования технологии RFID (радиочастотная идентификация) в управлении цепями поставок [3; 4]. Для второй методологической категории проводится количественная оценка цифровых технологий на основе эмпирических данных или экспертных оценок.

Леббекке [5] использовал за основу магазинбудущего “MetroGroup” и проанализировал потенциальные преимущества применения RFID. Были использованы математические и имитационные модели для проведения более структурированной количественной оценки. Мираглиотта [6] разработал модели учета затрат и выгод с использованием подхода, основанного на деятельности, и принял чистую приведенную стоимость как внутреннюю норму прибыли для оценки прибыльности RFID. Ли [2] разработал имитационную модель для количественной оценки «косвенных» преимуществ, предоставляемых RFID, таких как сокращение запа-

сов и улучшение обслуживания. По сравнению с методами качественной оценки, количественные модели оценки предоставляют более ценную информацию при выборе инвестиционного проекта. Однако, число эффективных методов количественной оценки значительно меньше, так как большинство исследований не являются универсальными и не основаны на реальных случаях применения цифровых технологий. Из обзора литературы можно сделать вывод, что практическая и универсальная методология оценки экономической эффективности различных технологий все еще отсутствует. Кроме того, отсутствуют простые и явные модели оценки цифровых технологий, которые подходят для МСП с ограниченными человеческими и финансовыми ресурсами. Сложность выявления и количественной оценки вклада цифровых технологий в рост прибыли при существующих методах оценки не может облегчить МСП в процессе принятия решений. Далее будет рассматриваться метод систематической идентификации затрат и выгод, связанных с разработкой простой и практичной модели оценки прибыльности цифровых технологий для МСП.

1. Подход к оценке эффекта от внедрения цифровых технологий

Далее рассматривается универсальная методология оценки цифровых систем, которая позволяет широко использовать полученные результаты для оценки эффективности различных технологий в рамках малых и средних предприятий (МСП). В данной работе разработана модель для оценки экономической эффективности цифровых технологий, ориентированной на МСП. Для оценки эффективности определены и классифицированы различные виды затрат на внедрение цифровых технологий. Показатель «Рентабельность цифровых технологий (digital technologies) (RoDT)» оценивает прибыль на основе инвестированного капитала [6]. Таким образом, финансовый коэффициент RoI, характеризующий уровень возврата инвестиций, является основой для построения показателя RoDT, который направлен на оценку экономической эффективности от внедрения цифровых технологий. Система оценки RoDT включает анализ таких разделов, как:

- Риски от внедрения проекта.
- Стоимость проекта внедрения.
- Прибыль и потенциальные выгоды.
- Потенциал (будущая гибкость).
- Анализ затрат на внедрение.

Затраты на внедрение цифровых технологий можно систематизировать следующим образом (см. табл. 2):

- Расходы на оборудование.
- Расходы на инфраструктуру.
- Расходы на ПО.
- Защита данных.
- Расходы по проекту.
- Прочие расходы.

Таблица 2

Систематизация затрат на внедрение цифровых технологий

Статья расходов	Элементы
На оборудование	на приобретение; компоненты аппаратных средств; стоимость настройки пользовательских интерфейсов; стоимость настройки для аппаратных интерфейсов; датчики; сетевая инфраструктура.
На программное обеспечение	прикладные программы; системы банков данных; инструменты администрирования; затраты на настройку программного модуля; разработка ПО; программные обновления приобретение лицензий.
Защита данных	контроль доступа; системы авторизации; носители данных; шифрование носителей данных.
Затраты на инфраструктуру	новое помещение, при необходимости; ремонт; строительное оборудование; серверные помещения; склад; внутренняя логистика.
Затраты по проекту	на персонал; на обучение; на инженерный и управленческий консалтинг; командировочные расходы; расходы на аренду помещения.
Прочие расходы	на техническое обслуживание; на энергетические ресурсы; на связь.

Данная классификация является универсальной и подходит для различных цифровых технологий. Расходы на приобретение и эксплуатацию

онные расходы на аппаратное и программное обеспечение являются основными элементами затрат в рамках внедрения цифровых технологий. Также могут возникнуть расходы на резервное копирование данных и реконструкцию инфраструктуры. Необходимо учитывать обычные затраты на реализацию проекта, такие как расходы на персонал, расходы на обучение, расходы на консультационные услуги и т. д. Прочие расходы включают расходы на техническое обслуживание, дополнительные расходы на электроэнергию и т. д.

Для расчета RoDT все затраты, изложенные в таблице 2, должны быть представлены как единовременные инвестиции в проект и текущие эксплуатационные расходы. Расходы за начальный период представляют собой сумму инвестиционных затрат и операционных расходов, тогда как затраты в других периодах равны операционным расходам.

2. Анализ потенциальных выгод от внедрения цифровых технологий

Преимущества внедрения цифровых технологий зависят от особенностей конкретной технологии. Учитывая общие характеристики цифровых технологий (связь в режиме реального времени, прозрачность информации, эффективность процесса, упреждающее обслуживание и т. д.), потенциальные преимущества цифровых технологий можно разделить на следующие пять категорий (см. табл. 3): сокращение времени обработки, сокращение затрат на ликвидацию ошибок, снижение потребления ресурсов, повышение удовлетворенности клиентов, улучшение сбора и накопления информации.

Первые три типа являются качественными преимуществами, которые возможно прямо оценить. Качественные выгоды сложно/невозможно оценить, поэтому результаты такого анализа могут быть спорными и ценятся меньше.

При сокращении времени обработки компании получают долгосрочную экономию благодаря повышению производительности за счет инвестиций в цифровые технологии. Более высокий уровень автоматизации и сбора информации, обеспечиваемый цифровыми технологиями, гарантирует, что определенные этапы обработки могут быть ускорены или устранены таким образом, что занятость сотрудников снижается, загрузка оборудования увеличивается. Освободившиеся ресурсы сотрудников и/или оборудования могут быть направлены для выполнения дополнительных операций, приносящих добавленную стоимость, что повышает производительность.

Таблица 3

Систематизация потенциальных выгод от внедрения цифровых технологий

Оценка	Выгоды	Значение
количественная	Сокращение времени обработки	сокращение трудоемких ручных процессов; уменьшение времени на настройку и времени обработки.
	Уменьшение затрат, вызванных ошибками	минимизация частоты ошибок; сокращение потерь от ошибок; сокращение времени ликвидации ошибки.
	Снижение потребления ресурсов	экономия затрат на материальные активы
	Увеличение объема производства	вследствие сокращения жизненного цикла производства
качественная	Повышение уровня удовлетворенности клиентов	сокращение стратегических ошибок; сокращение сроков доставки.
	Улучшение процесса сбора и накопления информации	обеспечивается доступность информации для более эффективного управления процессами

Соответственно, прибыль от сокращения времени обработки может быть рассчитана по формуле (1):

$$Pr_i = q_i * t_i * z_i, \quad (1)$$

где: q_i – количество дополнительных этапов обработки, шт./год;

t_i – рабочее время на один этап, ч.;

z_i – почасовая заработная плата сотрудников и/или почасовые эксплуатационные расходы оборудования, руб./час.

Возможность мониторинга в режиме реального времени и высокоуровневой замены ручной работы при использовании цифровых технологий приводит к снижению количества и частоты ошибок и затрат на ошибки. Их применение может уменьшить количество ошибок трех типов:

- снижение частоты ошибок;
- минимизация потерь в результате ошибок;
- сокращение времени устранения неполадок.

Оценка эффекта от сокращения времени устранения неполадок может быть рассчитана как экономия затрат на персонал за счет уменьшения рабочей нагрузки для устранения неполадок. Формула оценки при-

были, полученной в результате снижения частоты ошибок, приведена ниже (2), а прибыль, полученная в результате других видов уменьшения ошибок, может быть рассчитана аналогичным образом.

$$Pr_e = q_e * (t_e * z_e + w_e) * s, \quad (2)$$

где: q_e – количество ошибок, шт./период;

t_e – время устранения на ошибки, ч./период;

z_e – почасовая заработная плата сотрудников, руб./ч.;

w_e – потери в результате ошибок, руб./период;

s – коэффициент, характеризующий процент изменения рабочей нагрузки для устранения неполадок, %.

Применение цифровых технологий также может способствовать сокращению потребления ресурсов (в данном случае речь о материальных активах) и сокращению затрат производства. Сокращение затрат может быть обеспечено за счет: экономии затрат на сырье и расходные материалы для инструментов во время обработки, предотвращение износа, а также за счет значительного снижения стоимости запасов.

Повышение удовлетворенности клиентов: требование клиентов может быть лучше удовлетворено путем косвенного внедрения цифровых технологий. Например, можно уменьшить стратегические ошибки и улучшить качество продукции; сроки поставки могут быть сокращены, а товары могут быть доставлены быстрее. Повышение удовлетворенности клиентов может привести к увеличению продаж. Так как уровень удовлетворенности клиентов является качественным показателем, его влияние на увеличение продаж сложно оценить. Поэтому выгоды от внедрения цифровых технологий, связанные с увеличением удовлетворенности клиентов, могут быть упущены и недооценены.

Улучшение сбора информации: комплексное получение информации о процессе способствует выявлению недостатков в работе компании. Следовательно, процессы могут быть усовершенствованы эффективно и результативно. Построение прозрачной информационной сети позволяет находить параллельные процессы, выполняющиеся несколькими исполнителями, повторяющиеся или ненужные операции, которые в последствии устраняются или перестраиваются в процессы, приносящие добавленную стоимость. Рассмотренный параметр также является качественным и трудно оценимым.

Понимание и оценка перечисленных преимуществ от реализации цифровых технологий позволяет выстроить руководство для универсальной оценки различных технологий.

3. Разработка модели оценки рентабельности инвестиций в цифровые технологии

Рентабельность инвестиций в цифровые технологии RoDT определяется как сумма прироста выручки (дохода) от внедрения технологии относительно суммы его инвестиций. Статическая модель RoDT фокусируется на общий доход, динамическая модель учитывает фактор времени.

3.1. Статическая модель

RoDT это отношение выгоды от реализации цифровых технологий к стоимости реализации (см. формулу (3)). Результат отображается в процентах на определенный период, который можно сравнить с другими расчетами. Для более точного расчета RoDT используется метод чистой приведенной стоимости (NPV), который учитывает изменение стоимости денег во времени из-за инфляции.

$$RoDT = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{P_i}{(1+r_i)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r_i)^i}}, \quad (3)$$

где: p_i – общая прибыль в периоде i , руб.;

c_i – общие инвестиции в периоде i , руб.;

r_i – ставка дисконтирования в периоде i , %;

n – количество периодов.

Значение RoDT указывает на экономическую эффективность решения. Если значение RoDT превышает «1», доходность цифровых технологий выше, чем его инвестиционные затраты. Если значение равно или меньше «1», проект внедрения не окупил вложенные инвестиции. Таким образом, метрика RoDT помогает МСП количественно оценить экономическую эффективность цифровых технологий.

3.2. Динамическая модель

Одним из основных факторов, который игнорируется в статической модели RoDT, является время реализации. Поскольку стоимость внедрения уменьшается с увеличением технологической зрелости цифровых технологий, была разработана динамическая модель оценки RoDT, учитывающая фактор времени.

Предполагается, что стоимость внедрения цифровых технологий уменьшается в геометрической прогрессии с течением времени. Прогресс кривой затрат и ее формула (4) показаны на рисунке 1 соответственно.

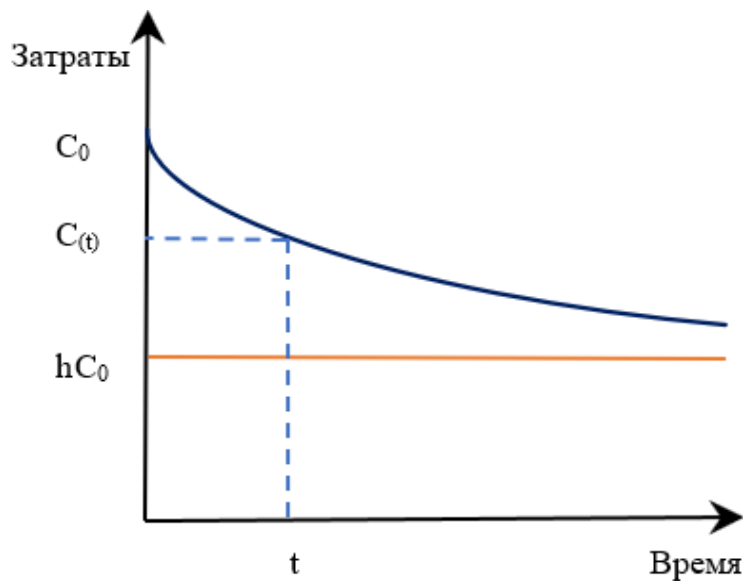


Рис. 1. Кривая изменения стоимости внедрения цифровых технологий

$$c(t) = c_0[(1-h)e^{-mt} + h], \quad (4)$$

где: c_0 описывает стоимость внедрения цифровых технологий в начальный момент времени (период 0);

$c(t)$ – стоимость внедрения цифровых технологий в период t ;

h ($0 < h < 1$) – это коэффициент снижения стоимости цифровых технологий;

m – постоянная экспоненциальной кривой.

Значения параметров h и m оба определяются эмпирически. Стоимость технологии в момент, когда она станет зрелой, описывается как hC_0 . Следовательно, динамическая модель RoDT выражается как функция времени t , которая представлена в формуле (5).

$$RoCPS(t) = \frac{\sum_{i=t}^n \frac{p_i}{(1+r_i)^i}}{\sum_{i=t}^n \frac{c_i}{(1+r_i)^i}}, \quad (5)$$

где: p_i – общая прибыль в периоде i , руб.;

c_i – общие инвестиции в периоде i , руб.;

r_i – ставка дисконтирования в периоде i , %;

n – количество периодов.

Следовательно, экономическую эффективность одной и той же технологии с разным временем внедрения можно оценить путем сравнения значений динамического RoDT. Максимальное значение динамического показателя RoDT определяется математическими методами, соответственно, можно определить оптимальное время реализации технологии для максимальной отдачи от проекта внедрения.

Заключение

Применение информационных технологий позволит организациям пройти путь от начального этапа автоматизации к цифровой трансформации бизнес-модели [7, 8]. Цифровое предприятие обладает повышенной гибкостью, что является основой для сокращения жизненного цикла изделий и, соответственно, сроков выхода на рынок новых продуктов. В рамках четвертой промышленной революции применение концепций Индустрии 4.0, цифровых технологий и других передовых производственных технологий станет необходимым шагом к сохранению позиций на рынке.

В данном исследовании рассмотрен системный подход к оценке экономической эффективности цифровых технологий, который позволит малым и средним предприятиям выбрать соответствующую технологию для осуществления цифровой трансформации с экономической точки зрения. Описаны способы систематизации затрат и потенциальных выгод от проекта внедрения. Представлена модель оценки RoDT – рентабельность цифровых технологий, на основе которой можно провести быстрый анализ экономической эффективности технологии.

Список литературы

1. Гаврилов Л. П. Электронная коммерция: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М.: Издательство Юрайт, 2018. 363 с.
2. Burggräf P., Dannapfel M., Bertling M., Xu T. Return on CPS (RoCPS): An Evaluation Model to Assess the Cost Effectiveness of Cyber-Physical Systems for Small and Medium-Sized Enterprises // Proc. of the 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). 19–23 August 2018, Honolulu, Hawaii, USA. Publisher: IEEE, 2018. DOI: 10.23919/PICMET.2018.8481980.
3. Broy M., Cengarle M.V., Geisberger E. Cyber-physical systems: imminent challenges // Calinescu R., Garlan D. (eds.) Large-Scale Complex IT Systems. Development, Operation and Management. 17th Monterey Workshop 2012. 17th Monterey conference on Large-Scale Complex IT Systems: development operation and management. 19–21 March 2012, Oxford, UK. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 7539. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. P. 1–28. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34059-8_1
4. Geisberger E., Broy. M. Living in a networked world: Integrated research agenda Cyber-Physical Systems (agenda CPS). Munich, Germany: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2015. 293 p.
5. Akkaya I., Derler P., Emoto S., Lee E.A. Systems engineering for industrial cyber-physical systems using aspects // Proceedings of the IEEE. 2016. Vol. 104. No. 5. P. 997–1012.
6. Волкова В.Н., Юрьев В.Н., Широкова С.В., Логинова А.В. Информационные системы в экономике: Учебник. М.: Издательство Юрайт, 2020. 402 с.
7. Волкова В.Н. Моделирование систем и процессов: Учебник для академического бакалавриата / В.Н. Волкова, Г.В. Горелова, В.Н. Козлов [и др.]; под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Издательство Юрайт, 2019. 450 с.