

В. А. Чернов

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ИНТЕРНЕТОМ ВЕЩЕЙ И ИНВЕСТИЦИЯМИ В ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В статье рассмотрен опыт организаций, успешно функционирующих в области цифрового производства. Целью работы является исследование процессов цифровизации промышленности и представление рекомендаций по созданию алгоритмов оценки инвестиций в цифровую экономику, возможностей и результатов использования промышленного интернета вещей. Предметом исследования являются процессы цифровой трансформации из опыта предприятий, достигших успеха в цифровизации промышленного производства.

Автор рассматривает параметры расчета инвестиций в цифровизацию промышленности, основные области и метрики для оценки эффективности инвестиций, даёт рекомендации о том, как возможности цифровых технологий могут быть конвертированы в измеряемый эффект, как измерять эффект от внедрения систем класса MDC, работающих на базе технологий цифрового производства. В статье разобраны сценарии расчёта экономического эффекта от внедрения технологий промышленного интернета вещей. Автор демонстрирует экономический эффект, взятый из реальных примеров производства.

Выводы и результаты исследования обоснованы нормативными, статистическими, эмпирическими данными представителей компаний, успешно внедряющих цифровые технологии в промышленном производстве.

Дефиниция цифровой экономики раскрыта в различных отечественных и зарубежных источниках [14]. В отечественной практике, по определению Генерального директора АНО «Цифровая экономика» Евгения Ковнира, цифровая экономика – это в первую очередь экономика данных, так как цифровые технологии работают с данными. В составе таких технологий: искусственный интеллект, машинное обучение, блокчейн, виртуальная реальность, робототехника и многие другие, которые основаны на данных и их обработке [7].

Процесс перехода к цифровой экономике осуществляется посредством цифровой трансформации [15]. Экспертами в российской практике цифровизации производства цифровая трансформация (ЦТ) определена как соответствующие изменения технологических и бизнес-процессов предприятия таким образом, чтобы данные в цифровом виде стали основной и неотъемлемой частью его успешного функционирования [9].

Расчет необходимых инвестиций и эффектов от цифровых технологий. Как известно, инвестиции требуют средств на капитальные вложения под конкретные решения, среди которых могут быть станки и оборудование производственных цехов или оборудование для цифровых технологий.

По эмпирическим данным, одно из предприятий машиностроительного комплекса после внедрения цифрового продукта по мониторингу и сбору данных о работе оборудования отказалось от приобретения более десяти станков суммарной стоимостью, превышающей инвестиции в цифровой продукт в несколько раз, и это не считая традиционного повышения производительности, снижения затрат на ремонт, обслуживание и т. д. [10].

Рассмотрим пример на основе данных, представленных руководителем проектов развития бизнеса в компании «Цифра» Павла Федотова [10]. Руководство машиностроительного предприятия решило осуществить первые шаги цифровой трансформации и приняло решение об объединении всех производственных данных в единую цепочку с помощью внедрения систем класса MDC и MES.

MDC (Machine Data Collection) – система сбора промышленных данных, работающих на базе технологий интернета вещей (IoT).

MES (от англ. manufacturing execution system) – система управления производственными процессами в виде специализированного программного обеспечения для решения задач анализа, синхронизации, координации, и оптимизации выпуска производственной

продукции. С помощью систем MES изначально осуществляют управление на уровне цеха. Но они могут применяться и для интегрированного управления производством всего предприятия.

Системы MDC и MES выступают ведущим звеном между оборудованием или рабочими центрами и системами управления производством предприятия. В нашем примере руководство стало использовать эти системы в управлении компании, чьи решения хорошо интегрировались между различными системами и позволяли осуществить этот проект в кратчайшее время. После двух месяцев работы мониторинг показал, что ожидаемый результат достижим и необходимо рассмотреть возможности масштабирования решения на всё предприятие. Параллельно просчитывался бизнес-кейс внедрения системы цифрового управления производством для информатизации планирования, выдачи сменно-суточных заданий, отслеживания продукции от полуфабрикатов до готового изделия и некоторых других функций.

Для расчета приняли промежуточный результат – увеличение производительности на 10%. Эта величина была получена как усреднённый эффект от внедрения данного продукта в аналогичных формах производства. Для последующих расчетов применены условные данные с сохранёнными пропорциями из реального примера.

Таким образом, если раньше предприятие на 100 единицах оборудования изготавливало условно 100 единиц продукции в час, то при повышении производительности на 10% текущий объем производства принял бы значение 110 единиц. Далее в цифровую программу выведены данные по стоимости одной единицы продукции, количеству рабочих часов в месяц. Так, при уровне прибыли в 2 000 ден. ед. с единицы продукции и времени работы в месяц около 160 часов экономический эффект в месяц составил около 3 200 000 ден. ед.:

$$\text{ЭЭмес} = 10 \times 2\,000 \times 160 = 3\,200\,000 \text{ ден. ед./месяц.}$$

В год получится 38 400 000 ден. ед.:

$$\text{ЭЭгод} = 3\,200 \times 12 = 38\,400\,000 \text{ ден. ед./год.}$$

Затраты на установку системы из программных аппаратных комплексов MDC и системы MES в общем составили 50 000 000 ден. ед. По прогнозам, решение должно было бы окупиться за 16 месяцев (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетное значение показателя возврата средств и окупаемости цифровых инициатив

№ п/п	Показатель		Значение
1	Разница в производительности, ед. прод./час.		10
2	Прибыль, приходящаяся на единицу продукции, ден. ед./ед. прод.		2 000
3	Время работы за месяц, час./месяц		160
4	Экономический эффект,	за месяц, ден. ед./месяц (стр.1×стр.2×стр.3)	3 200 000
5		за год, ден. ед./год (стр.4×12)	38 400 000
6	Затраты на MES		50 000 000
7	ROI (return of investment) – показатель возврата средств (стр.5 : стр.6)		0,77
8	Период окупаемости, месяцев (стр.6 : стр.4)		15,63

Однако при этом существенно упростился и дальнейший переход к цифровому производству за счет объединения всех данных в единой цепочке от проектировщиков, оборудования до предприятия в целом, то есть получили синергетический эффект. В результате при ожидаемом сроке окупаемости 16 месяцев реализация данного проекта позволила окупить все вложенные деньги всего за 8 месяцев. В целом по имеющемуся опыту

окупаемость подобных решений достигается за 1-2 календарных года. Однако все зависит от конкретного предприятия и его особенностей.

Эффект можно считать также с помощью других расчетов и способов, например, через повышение прибыли на ед. продукции, установки или персонала, денежной стоимости машинокомплекта, сокращение общеремонтных затрат, складских запасов, ускорение их оборачиваемости и сокращение остатков. Выбор методик и показателей зависит от особенностей предприятия и специфических условий. Кроме этого, отдельные цеха на предприятии могут получать и рассматривать различные эффекты. В данном случае мы не имеем цели показать специфические расчеты, а лишь демонстрируем обобщённый основной визуальный инструментарий для принятия решений по цифровому производству.

Исходя из рассмотренных примеров с расчетами, перейдём к формулировке общей концепции учета экономических эффектов от цифровой трансформации (рисунок 1). На всем этапе цифрового преобразования предприятия и цепочки создания стоимости организация должна оценить потенциальные возможности и эффекты. Цифровые инновации позволяют компании полностью переосмысливать свои бизнес-модели, чтобы воспользоваться присущим цифровому производству опережающим переходом от стратегий, основанных на продаже физических продуктов к стратегиям, основанным на продажах данных и услуг, которые теперь становятся доступными посредством цифровизации. Например, физический актив – автомобиль, станок или др. имущество – предоставляются в виде услуги во временное пользование, то есть продаются не конкретные предметы, а время их работы.

В последнее время организации аккумулируют огромные ресурсы на цифровизацию. Исследования показали, что 31% компаний во всем мире выделяет более 15% своих доходов на цифровые инвестиции. На пути цифровых преобразований необходимо, чтобы цифровая трансформация комплексно охватывала предприятие в целом, объединяя локальные инвестиции в общую цифровую стратегию [10].

Существует комплексный подход не только к процессу планирования и реализации планов, о котором мы говорили, но и к тому, как наилучшим образом определить эффект, который компания может получить от своих инвестиций в цифровые инициативы.

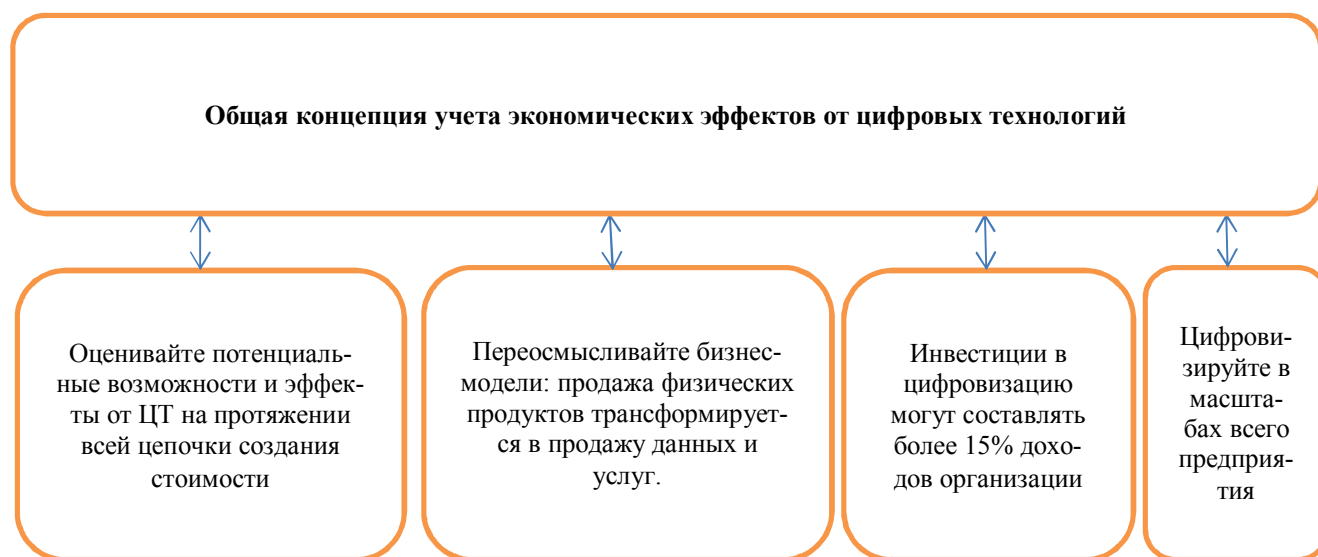


Рисунок 1 – Составляющие концепции реализации цифровых инициатив

Ключом к концепции цифрового ROI является балансирование и измерение эффектов от цифровых инвестиций в 6 стратегических областях, включая клиентов, сотрудников,

производства, безопасность и надежность, инфраструктуру, а также исследования и разработки. Каждая область связана с конкретными метриками и ключевыми показателями эффективности, которые позволяют компании более точно отслеживать и оценивать влияние своих цифровых инициатив и при необходимости управлять процессом внедрения, что позволяет работающему коллективу ощутить свой собственный вклад в достижении желаемой цели трансформации. Цифровые технологии не только сами по себе работают с колоссальным экономическим потенциалом, но и зачастую открывают возможности для непрерывного улучшения в совершенно нестандартных областях или на предприятии в целом.

Эффекты применения промышленного интернета вещей. Помимо традиционных данных бухгалтерского учета [6] и бухгалтерской отчетности [11] с помощью системы MDC можно получать эффективные данные по загрузке, простоям, технологии и наработкам на отказ для каждой единицы оборудования. При этом любое оборудование, вне зависимости от его типа, от компрессора до станка может быть включено в промышленный интернет вещей (*IoT*).

Как характерный пример технологии промышленного интернета вещей, системы класса MDC помогают определять пропускную способность каждого производственного звена в режиме реального времени и принимать решения об оптимальной загрузке оборудования. Полученная информация может быть использована для предотвращения внеплановых простоев, поломок оборудования, внепланового прекращения техобслуживания и сбоев в управлении цепочками поставок, позволяя предприятию функционировать более эффективно.

Данные, собираемые при помощи промышленного интернета вещей, ложатся в основу алгоритмических задач, направленных также на оптимизацию ремонтных работ, предсказание поломок оборудования, проведение ремонта, устранение неполадок, обеспечивая переход от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по состоянию. Важным параметром при внедрении технологии промышленного интернета вещей является выбор методики оценки эффективности и расчет экономических эффектов от их внедрения. Процесс внедрения технологий *IoT* можно рассматривать как инвестиционный проект. И соответственно, базовый показатель финансовой оценки можно рассчитывать по типовым параметрам и заполнять параметры, которые необходимы при расчете инвестиционного проекта по внедрению технологии промышленного интернета вещей, в числе которых:

NPV – чистая приведённая стоимость;

IRR – внутренняя норма (ставка) доходности;

T – период окупаемости инвестиций

Методика расчета таких параметров рассмотрена в источнике [12]. В любом случае, чтобы рассчитать эти базовые параметры, необходимо понимать, на чём экономит предприятие при внедрении подобного рода технологий.

Рассмотрим пример внедрения системы класса MDC и определим, какие сценарии достижения эффективности может получить предприятие. При этом важно понимать, что результат должен соответствовать цели. Существуют две основные сформулированные цели для внедрения систем класса MDC. В их числе:

1) увеличение объёма производства продукции при текущих издержках;

2) сокращение издержек при текущих объёмах производства продукции.

В достижении увеличения объёма выпуска и номенклатуры продукции можно использовать имеющееся оборудование либо дооснастить участок и технологию станками. Известно, что если мы увеличим объем производства на имеющемся оборудовании без дополнительных вложений, то эффект будет максимальным. Но полное задействование имеющегося оборудования возможно лишь в том случае, когда информация о загрузке каждой единицы транспарентна и доступна.

Практика компаний-лидеров по внедрению системы MDC в России показывает, что оборудование обычно загружено на 40%, не более. Соответственно, загрузив его ещё как минимум на 10 – 20%, предприятие может заработать дополнительную прибыль. Принято считать, что на производствах существует понятие станкочас (машиночас), которое может рассчитываться на разных предприятиях по-разному. Но основной расчёт выглядит как отношение всех понесённых на станок затрат к фонду рабочего времени станка:

$$СЧ = \frac{\sum CC}{T_{РАБ}}. \quad (1)$$

Соответственно, при увеличении загрузки текущего парка оборудования стоимость станкочаса снижается, за счет чего и получается прямая финансовая выгода. Однако если мы говорим о сокращении издержек при текущем объёме производства, то здесь оптимизация работы действующего оборудования обычно достигается попыткой элиминировать внеплановые простои, выявив их причины. По выборке причин простоев и их анализе можно определить, почему процесс реновации продукции занимает существенно больше времени, чем требуется по нормам. Или же по итогам аналитики можно увидеть, что заготовки или инструмент не вовремя приходят на рабочий станок, что увеличивает время простоев этих станков; а увеличение времени простоев оборудования создаёт прецедент работы в три смены вместо двух.

Помимо того что можно оптимизировать действующее оборудование, технологии промышленного интернета вещей позволяют отказаться от приобретения нового, тем самым сэкономить на инвестиционной программе.

К примеру, на одном предприятии крупной российской промышленной корпорации в связи с применением системы класса MDC удалось сэкономить более 140 млн. руб. за счет отказа от приобретения новой группы станков в пользу оптимизации имеющегося оборудования. Благодаря анализу работы оборудования, помимо экономии на инвестиционной программе, предприятию удалось сократить расход инструментов, что дало эффект в размере 12 млн. руб. Кроме этого, удалось оптимизировать фонд оплаты труда, сократив расходы на 2 млн. руб. (таблица 2).

Таблица 2 – Экономия от внедрения системы класса MDC промышленного интернета вещей

№ п/п	Показатель	Значение, руб.
1	Отказ от дополнительного инвестирования	140 000 000
2	Снижение расходования инструментов	12 000 000
3	Оптимизация фонда оплаты труда	2 000 000
4	Итого	154 000 000

Если рассматривать этот кейс по достижению наиболее эффективного использования текущего парка оборудования более подробно, то нужно обратить внимание на показатели производственного анализа из методики, раскрытой в источнике [13, с. 114 – 115], которые рекомендуются для использования в качестве алгоритма обработки данных интернета вещей, интегрированного с системой MDC.

Для характеристики использования оборудования применяют показатель экстенсивной загрузки (использование по времени) – коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{экт}} = T_{\text{ф}} : T_{\text{max}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{ф}}$ – время фактической работы оборудования;

T_{max} – максимально возможное время работы оборудования.

Данный показатель изменяется в пределах

$$0 \leq K_{\text{экт}} \leq 1. \quad (3)$$

Чем ближе $K_{\text{экт}}$ к единице, тем полнее задействовано оборудование.

Для оценки уровня использования оборудования рассчитывают коэффициент сменности работы оборудования. Для определения этого коэффициента за один рабочий день всё работающее оборудование распределяется по сменам и находится средняя арифметическая взвешенная. В числителе коэффициента сменности – сумма произведений числа смен и числа единиц оборудования (машино-смены), а в знаменателе – общее число единиц оборудования, работавших в течение дня (машино-дни).

Пример. В течение дня на предприятии работало 15 единиц оборудования, из них в одну смену – 4; в две смены – 8; в три смены – 3. Тогда коэффициент сменности составит:

$$K_{\text{см}} = \frac{1 \cdot 4 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 3}{15} = 1,9.$$

Это означает, что каждая единица оборудования в среднем работала в 1,9 смены. Таким образом, выявлен неиспользованный резерв в виде недогрузки оборудования в 0,1 смены, который может быть использован вместо расширения парка станков.

В хозяйственной практике нередко используется лишь часть установленного оборудования. Поэтому при наличии неработающих единиц в составе установленного оборудования определяют коэффициент сменности установленного оборудования. Для этого знаменатель коэффициента сменности работающего оборудования ($K_{\text{см}}$) заменяется величиной установленного оборудования.

Предположим, что в нашем примере на предприятии установлено 17 единиц оборудования, тогда коэффициент сменности установленного оборудования будет равен

$$K_{\text{см}} = \frac{1 \cdot 4 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 3}{17} = 1,7.$$

Очевидно, установленное оборудование используется 1,7 смены, что меньше времени использования работающего оборудования на 0,2 смены (1,9 – 1,7). Потери от неполного использования оборудования будут равны средней выручке от продажи продукции, выпускаемой за 0,2 смены. Таким образом, без привлечения дополнительных инвестиций организация может получить соответствующий экономический эффект от более полного задействования текущего парка оборудования пропорционально исчисленной величине.

Коэффициент сменности установленного оборудования также можно рассчитать умножением коэффициента сменности работавшего оборудования ($K_{\text{см}}$) на долю работавшего оборудования в составе установленного. В приведённом примере доля работающих машин составит 0,88 (15:17). Отсюда – коэффициент сменности установленного оборудования равен:

$$K_{\text{см}} = 1,9 \cdot 0,88 = 1,7,$$

что соответствует ранее произведённому расчёту.

В данном исследовании мы разобрали сценарии расчёта экономического эффекта от внедрения технологий *IoT* и убедились в том, что экономия может быть действительно существенной. Если технология промышленного интернета вещей имеет четкую программу оценки эффективности, то она приносит реальные финансовые результаты предприятию. Кроме снижения стоимости владения станочным парком, системы класса MDC позволяют оптимизировать внутрицеховую логистику, ускорить передачу управляющих программ и достичь объективного контроля выполнения норм времени на переналадку.

Эффект от внедрения технологии *IoT* будет маловероятен, если цифровизации подлежат текущие процессы без выбора цели, которую предприятие планирует достичь благодаря

цифровой трансформации производства. Принимая решение о внедрении технологии *IoT* на производстве, необходимо прежде всего решить, чего необходимо достичь задействованием систем класса MDC: увеличения объема производства продукции при текущих издержках или сокращения издержек при текущих объемах производства продукции. Только определившись с целью, можно переходить к оценке эффекта от внедрения технологий интернета вещей.

Список литературы

1. Государственная программа Российской Федерации «Информационное общество (2011 – 2020 годы)», утвержденная пост. Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. – № 313. [Текст].
2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 01.12.2016 г. – № 642. [Текст].
3. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 05.12.2016. – № 646. [Текст].
4. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы, утвержденная Указом Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы». [Текст].
5. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Правительством РФ 3 января 2014 г.). [Текст].
6. Баканов, М. И. Бухгалтерский учет в торговле [Текст]: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» / М. И. Баканов, И. М. Дмитриева и др. – М.: Финансы и статистика, 2006.
7. Богачев, И. Цифровая повестка [Электронный вариант] / И. Богачев, П. Вильякайнен, Е. Ковнир // Цифровое производство. Первый онлайн-практикум для руководителей и инженеров. Stepik. URL: <https://stepik.org/lesson/235133/step/1?unit=207556>
8. Приедитис, П. Эффекты применения промышленного интернета вещей [Электронный вариант] / П. Приедитис // Цифровое производство. Первый онлайн-практикум для руководителей и инженеров. Stepik. URL: <https://stepik.org/lesson/235157/step/1?unit=207580>
9. Смоленский, А. Что такое цифровая трансформация [Электронный вариант] / А. Смоленский // Цифровое производство. Первый онлайн-практикум для руководителей и инженеров. Stepik. URL: <https://stepik.org/lesson/235136/step/1?unit=207559>
10. Федосов, П. Расчет необходимых инвестиций и эффектов от ЦТ [Электронный вариант] / П. Федосов // Цифровое производство: онлайн-практикум. Stepik. URL: <https://stepik.org/lesson/235143/step/1?unit=207566>
11. Чернов, В. А. Бухгалтерская (финансовая) отчетность [Текст] / В. А. Чернов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 127 с.
12. Чернов, В. А. Инвестиционный анализ: учеб. пособие для студентов вузов [Текст] / В. А. Чернов; под ред. М. И. Баканова. 2. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2008. – 159 с.
13. Чернов, В. А. Управление затратами [Текст]. В. А. Чернов, Н. А. Морозова. ред. – М.: КНОРУС; 2017. – 178 с
14. Defining and Measuring the Digital Economy. Working Paper. BEA. Bureau of Economic Analysis. Washington, DC 20233. U.S. Department of commerce. 3/15/2018. – 24 p. [Electronic resource] URL: <https://www.bea.gov/system/files/papers/WP2018-4.pdf>.
15. The New Digital Economy. How it will transform business. A research paper produced in collaboration with AT&T, Cisco, Citi, and PwC & SAP. Oxford economics. June 2011. – 30 p. [Electronic resource] URL: <https://www.oxfordeconomics.com/my-oxford/projects/232584>