

# Оптимизация производственных процессов в условиях цифровизации

Н. А. Попов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрены методы оптимизации бизнес-процессов в промышленных компаниях, а именно процессы, связанные с планированием производства, техническим обслуживанием и ремонтом оборудования и контролем качества на всех стадиях. Изучены кейсы зарубежных промышленных компаний и приведены примеры внедрения технологий Индустрии 4.0 в бизнес-процессы отечественных организаций. Среди наиболее эффективных мер по оптимизации ключевых бизнес-процессов промышленных компаний можно выделить внедрение эконометрического инструментария, создание облачной инфраструктуры для обмена информацией и постепенный переход на автономные цифровые приборы на базе Интернета вещей.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

оптимизация бизнес-процессов, Индустрия 4.0, цифровая трансформация производства, промышленность, контроль качества.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Попов, Н. А. Оптимизация производственных процессов в условиях цифровизации // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2019. Т. 10. № 1. С. 28–35. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-1-28-35.

# Business Process Optimization in the Digitalization Era of Production

Nikita A. Popov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation

## ABSTRACT

Various business process optimization methods associated with industrial companies are reviewed, e.g. the processes of production planning, equipment and inventory maintenance as well as quality control. Case studies of Russian and foreign companies are provided. The author can conclude that digital technologies provide a significant advantage when implemented in an industrial production environment to the demands of Industry 4.0 technologies. The most promising technologies are identified for implementation with a purpose to optimize industrial business processes. According to the findings of the study, implementing econometric methods, creating a cloud infrastructure and adopting digital devices using Internet of things concepts can be named among the most efficient measures for business process optimization in production companies.

## KEYWORDS:

business process optimization, Industry 4.0, digital transformation, industry, quality control.

## FOR CITATION:

Popov, A. V. Business Process Optimization in the Digitalization Era of Production. *Strategic Decisions and Risk Management*. 2019;10(1):28–35. DOI: 10.17747/2618-947X-2019-1-28-35.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Улучшению процесса производства в разные периоды развития промышленности уделялось большое внимание. Работы Г. Форда (Ford, Crowther, 1922), У. Деминга (Deming, 1943), Ф. Тейлора (Taylor, 1911), Г. Ганта (Gantt, 1903) и других заложили теоретическую основу современных методов повышения эффективности производственных предприятий. Во многих компаниях производственного сектора широкое распространение получили «шесть сигм», всеобщая система управления качеством (Total Quality Management, TQM), «точно в срок» (Just-in-Time, JIT). На сегодняшний день наблюдается активный интерес научного сообщества к феномену Индустрии 4.0 (Лисовский, 2018; Тарасов, Попов, 2018; Roblek, Meško, Krapež, 2016). Технологии четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0) делают возможным проведение оптимизационных мероприятий производственных процессов на качественно новом уровне с использованием цифровых технологий.

Консалтинговая компания PwC выделяет восемь основных технологий Индустрии 4.0: блокчейн, беспилотные устройства, трехмерную печать, виртуальную реальность, дополненную реальность, Интернет вещей, искусственный интеллект, роботов (Пуха, 2017). У них большой потенциал в совершенствовании производственных процессов при комплексном и системном использовании. На сегодняшний день крупные отечественные и зарубежные компании активно изучают возможность внедрить цифровые технологии для оптимизации ключевых бизнес-процессов. Значительных результатов удалось достичь ПАО «НЛМК», ПАО «СИБУР», Siemens AG, Intel и другим отраслевым лидерам (Лисовский, 2018). Внедрение цифровых технологий позволит сократить расходы по отдельным статьям до 30% (Rojko, 2017).

Целью данной работы является изучение подходов к оптимизации производственных процессов с использованием цифровых технологий. Центральный объект исследования – внедрение цифровых технологий в наиболее существенные

и распространенные производственные бизнес-процессы: планирование производства, обслуживание оборудования и контроль качества.

## 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Организация процесса планирования производства часто влияет на общую эффективность производственного процесса, поскольку на данном этапе производства распределяется нагрузка на оборудование. Нерациональное использование мощностей может привести к простоям и снижению объема выпуска продукции. Эффективный процесс планирование подразумевает:

- прогнозирование спроса;
- определение возможностей производства для удовлетворения спроса;
- выбор альтернатив, обеспечивающих наиболее высокий уровень эффективности;
- мониторинг выполнения планов;
- корректировку производственного плана (SMEToolkit, [s.a.]).

Прогнозирование, как правило, производится при помощи количественных методов. Наиболее распространены методы подсчета потенциального спроса на продукцию промышленной компании, которая осуществляет как типовые, так и нетиповые заказы: метод коэффициентов, линейная регрессия и нейросети (табл. 1). Выбор метода прогнозирования обусловлен наличием отлаженной системы сбора данных и способностью компании их анализировать. По сравнению с нейросетью линейная регрессия (более простой метод) дает погрешности в прогнозировании всего на 1 процентный пункт выше (Dean, Xue, Tu, 2009). При этом для внедрения и содержания нейросети требуется команда высокопрофессиональных программистов, сервера для хранения и обработки данных, а также значительные временные ресурсы. Регрессионный анализ менее чувствителен к технологиям и объему финансирования (Сербул, 2018).

Таблица 1  
Количественные методы для прогнозирования спроса на продукцию (Dean, Xue, Tu, 2009)

Показатель	Коэффициенты	Линейная регрессия	Нейросеть
Описание	Коэффициенты между результирующим показателем и потенциальными факторами	Линейные связи между результирующим показателем и значимыми факторами	Связи любого характера между факторами спроса и результирующим показателем
Преимущества			
Простота подсчета	+	+	—
Пригодность для сводного подсчета	+	—	—
Детализированный результат	—	—	+
Точный результат	—	+	+
Интуитивно понятные выводы	—	+	—
Недостатки			
Неточные результаты при детализации	+		
Необходимость большого массива данных	—	+	+
Отсутствие учета косвенных связей	—	+	—
Сложный расчет	—	—	+

Для оценки возможностей производства необходимо описать, сколько ресурсов потребуется в расчете на единицу продукции, разработать несколько вариантов выполнения заказа, распределить нагрузку между цехами. С учетом потенциального спроса также может быть оценен минимальный объем необходимой готовой продукции типового вида для снижения рисков невыполнения заказов.

На основе факторов себестоимости и скорости выполнения заказа выбирается наиболее выгодная альтернатива. Мониторинг выполнения планов необходимо производить на основе системы ключевых показателей эффективности. Чаще всего предлагается использовать показатели результативности с учетом сроков и планового ресурсного обеспечения (человеко-часы, время использования оборудования и материалы) (Chae, 2009). Впоследствии система мониторинга может быть автоматизирована за счет внедрения CRM-системы. При планировании производственных циклов должны быть заложены риски: возможная отмена заказа, исполнение более срочного заказа. Корректировка должна производиться системно, на основе анализа достижения предыдущих планов и дополнительных индивидуальных сведений о текущих заказах.

3. ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Износ оборудования приводит к увеличению операционных расходов на его обслуживание, повышению риска снижения качества. Для минимизации негативных последствий от износа оборудования многие компании внедряют различные стратегии технического ремонта и обслуживания (Ding, Kamaruddin, 2015). Профилактическое обслуживание предполагает проведение системных проверок и прогнозных аналитических мероприятий для предотвращения случаев неисправности. Корректировочное обслуживание представляет собой меры по ремонту оборудования после того, как оно вышло из строя.

Для технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования выделены три основные концепции: всеобщее производственное обслуживание (Total Productive Maintenance), обслуживание, основанное на надежности (Reliability Centered Maintenance), и обслуживание, основанное на бизнес-задачах (Business Centered Maintenance) (Tinga, 2013). С позиций автоматизации наибольший интерес представляет концепция обслуживания, основанного на надежности, так как ее центральным элементом выступает оборудование, в частности его техническое состояние.

При обслуживании, основанном на надежности, акцент делается на превентивные меры. Методология данной концепции позволяет ответить на три вопроса:

- Каким образом происходят поломки оборудования?
- Каковы последствия данных поломок для компании?
- Какой эффект может быть достигнут за счет превентивных мер?

Концепция может быть внедрена посредством выполнения следующих действий:

- сбор информации;
- описание функциональных блок-диаграмм;
- оценка наиболее уязвимых функциональных областей;
- моделирование дефектов;
- оценка наиболее критичных дефектов;

- апробация результатов за счет использования дерева решений;
- градация задач по значимости;
- проработка превентивных процедур;
- анализ эффективности внедряемых подходов;
- системный анализ и корректировка (Vishnu, Regikumar, 2016).

Индустрия 4.0 содержит широкий спектр технологий, которые позволяют компаниям использовать возможности цифровизации и в сфере ТОиР. Так, на Новоліпецком металургическом комбинате замена фурм доменной печи «Россиянка» осуществляется в соответствии с моделью прогара данного элемента оборудования, построенной с использованием машинного обучения. В основу модели легло изучение текущих практик, сбор массива исторических данных, полученных с помощью датчиков и лабораторных исследований. Проводятся прогнозирование выхода оборудования из строя и своевременная замена фурм. Эффект от замены фурм в соответствии с рекомендациями модели оценивается в размере 120 млн руб. в год (Аршавский, 2018). В ПАО «СИБУР» на каждом агрегате установлены NFC-метки по технологии коммуникации ближнего поля (Near Field Communication, NFC). С помощью планшета сотрудник может считать с NFC-метки всю необходимую информацию по обслуживанию и ремонту отдельной единицы оборудования. После завершения обслуживания фиксируются все необходимые данные по выполненным работам (Тарасов, Попов, 2018).

4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

В научной литературе можно найти большое количество работ, посвященных изучению причин возникновения дефектов на производстве. Обзор научных трудов, представленный в работе Хардинга, позволяет сформировать полную картину ключевых факторов, влияющих на снижение качества производимой продукции (Harding,Shahbaz, Srinivasetal., 2006). Недостаточное понимание распространенных причин возникновения дефектов вынуждает организацию нести существенные финансовые и репутационные потери (Chongwatpol, 2015). Однако в конкретной компании общие факторы приобретают частное воплощение. Для распознавания дефектов, причин их возникновения, классификации и применения соответствующих мер корректировки может быть организована система контроля качества производственных процессов. В соответствии с практикой консалтинговой компании Renishaw данная система может быть представлена в виде четырехуровневой пирамиды: контроль качества разделен на информационный (готовая продукция), активный (процесс производства), пропорциональный (процесс производства) и профилактический (процесс производства) (O'Regan, Prickett, Setchi et al., 2017) (рис. 1).



Рис. 1. Четыре уровня управления качеством на производстве (O'Regan,Prickett, Setchietal., 2017)

**Профилактический контроль.** Основу контроля обеспечивает система мониторинга состояния контролируемого параметра и автоматизированная корректировка его значения до требуемой величины в режиме реального времени. С помощью цифровых датчиков и Интернета вещей можно точно настроить ход процесса и оптимальную регулировку. Например, в производственных помещениях большое внимание уделяется среде, прежде всего влажности и температуре воздуха.

Контроль за температурой обеспечивают система включателей, пропорциональная и интегральная системы (Temperature controller basics, [s.a.]). Для системы включателей задается оптимальное температурное значение, которое необходимо поддерживать внутри помещения. В случае отклонения от данного значения система автоматически начинает нагревать/охлаждать воздух до достижения оптимальной точки. При внедрении системы включателей, как правило, задается температурный диапазон, чтобы обогревательная система не запускалась при минимальных отклонениях. Подобные решения являются наиболее простыми и относительно дешевыми.

Пропорциональные системы температурного контроля действуют по более сложному алгоритму: оптимальные точки могут выстраиваться в зависимости от времени. Это актуально на производстве, где на разных стадиях нужно поддерживать различные условия.

Интегральные системы не только учитывают условия среды, но и способны изменять оптимальные температурные точки в зависимости от объемов производимой продукции. Это позволяет оперативно реагировать на резкие изменения специфики производственного процесса.

**Прогнозный контроль.** В рамках перехода к Индустрии 4.0 особое значение приобретает разработка мер по минимизации уровня дефектов на производстве. Среди факторов, которые могут быть причиной дефектов продукции, в научных работах упоминались исправность оборудования, качество входных материалов, продолжительность рабочей смены (как фактор усталости рабочих) и опыт работников (Leachman, Pegels, Kyoon Shin, 2005). Отмечается, что для анализа причинно-следственных связей между дефектами в производстве и потенциальными факторами чаще

всего используются эконометрические методы: дерево решений, регрессионные модели, нейросети и кластерный анализ (Hazen, Boone, Ezell et al., 2014).

Для сокращения доли бракованной продукции на производстве может быть организована аналитическая система мониторинга дефектов. При ее построении, как правило, используется межотраслевой стандартный процесс для исследования данных (Cross-Industry Standard Process for Data Mining, CRISP-DM). Методология CRISP-DM предполагает шесть этапов внедрения:

- формулирование бизнес-задач;
- формирование перечня необходимых данных;
- обработка данных;
- моделирование;
- оценка и интерпретация результатов;
- использование результатов на практике.

Для комплексного снижения уровня брака важно диагностирование дефектов. Предлагается три подхода к данному процессу: контрольный реестр, стратификация расходов и кластерный анализ (Chongwatpol, 2015).

**Контрольный реестр** предполагает учет выявленных дефектов посредством двоичного кода (1 – обнаружен дефект, 0 – нет дефекта). Наличие дефекта определяется превышением нормативных значений по заданным критериям качества. В таблице также прописываются:

- использованные исходные материалы;
- сотрудники, которые были на смене;
- задействованное оборудование.

Пример контрольного реестра для учета дефектов на производстве представлен в табл. 2. Контрольный реестр прост, удобен и практичен в использовании, поскольку позволяет не только вести мониторинг дефектов, но и проводить анализ факторов. Он позволяет выявлять факторы, которыми обусловлены отклонения от нижней и верхней границ диапазона параметра качества. Для наглядности может быть использован графический метод: графическое изображение точек отклонения от допустимого диапазона повышает уровень интуитивной интерпретации данных контрольного реестра. Таким образом, наиболее целесообразно использовать табличный и графический способы отображения информации для выявления дефектов.

Таблица 2  
Пример контрольного реестра дефектов (Chongwatpol, 2015)

ФИО	Факторы сотрудников			Характеристика оборудования			Характеристика материалов		Показатель качества	Наличие дефекта
	Опыт, мес.	Смена	Время	Модель	Срок использования, мес.	Дата ТОиР	Вид	Поставщик	Ширина магнитной линии, мм	
Иванов И. И.	36	Первая	11:30	Z500	11	11.11.2018	Клей	«ПроПан»	11	0
Петров П. П.	12	Вторая	2140	Z500	6	01.07.2018	Клей	«ПроПан»	9	0
Сидоров С. С.	2	Вторая	23:20	Z500	7	23.01.2018	Клей	«ПроПан»	15	1
Курбатов К. К.	57	Первая	17:20	Z500	9	01.09.2018	Клей	«ПроПан»	10	0



Стратификация расходов анализирует дефекты продукции с точки зрения финансовых последствий. Если партия продукции оказалась бракованной, то компания несет дополнительные расходы на материалы, оплату работы сотрудников, выплату неустойки заказчику и т.д. Стратификация расходов предполагает подсчет специальных показателей:

- средний процент бракованной продукции (для каждого вида продукции);
- средняя стоимость брака одной единицы продукции (для каждого вида продукции);
- совокупные затраты на компенсацию брака в производстве (за различные отчетные периоды).

Данные метрики позволяют квалифицировать группы товаров в зависимости от расходов из-за брака.

Для классификации видов продукции по стоимости брака могут быть использованы различные подходы: метод ABC-анализа (Kampf, Lorincová, Hitka et al., 2016), методы на основе дерева решений (Kim, Oh, Jung et al., 2018), пошаговая регрессия для построения прогнозной модели потенциальных затрат на бракованную продукцию в рамках планового периода (Квасова, Целых, 2012). Смысл стратификации расходов заключается в том, что контролеры качества и старшие сотрудники по смене в первую очередь могут уделять внимание тем видам продукции, где брак вызывает наибольшие финансовые последствия.

Кластерный анализ обеспечивает многомерный анализ процессов производства. Некоторые виды готовой продукции могут иметь схожие характеристики: материалы и оборудование, требуемое количество человеко-часов, необходимые температурные условия и т.д. Кластерный анализ позволяет сформировать группы продукции, которые близки с точки зрения процессов производства. Метод k средних (k-means) – наиболее простой и популярный метод кластеризации. В рамках каждой группы процент потенциального брака может разниться, в связи с чем подходы к контролю качества производственных процессов могут отличаться применительно к разным кластерам (Chongwatpol, 2015).

В рамках прогнозного контроля отдельного упоминания заслуживает метод быстрого прототипирования. Данный метод позволяет значительно сокращать время и ресурсы на подготовку макетов (Rauna, 2016). Быстрое прототипирование объединяет группу технологий и технологических процессов, использующих трехмерную печать на базе компьютерного моделирования. Наиболее распространены следующие технологии быстрого прототипирования:

- стереолитография;
- лазерное спекание;
- моделирование плавленного осаждения;
- трехмерная печать (Hague, Mansour, Saleh, 2004).

В контексте контроля качества и предотвращения дефектов приведем пример. Компания Lin Engineering (Lin Engineering, 2017) специализируется на производстве гибридных двигателей. Основное производство базируется в Китае, головной офис и распределительный центр – в США. В случае поставки дефектной продукции компания несла существенные расходы на отправку брака обратно на завод. Внедрение системы статистического процессного контроля с использованием облачных технологий позволила в режиме реального времени контролировать производство

на китайском заводе из штаб-квартиры в США. В случае выявления дефектов система автоматически формирует электронное сообщение с описанием проблемы задолго до отправки партии.

**Активный контроль.** Работа по устранению выявленных дефектов проводится в рамках производственного процесса. Для контроля за качеством линий разрезков могут быть использованы промышленные камеры. Камеры могут иметь термальные сенсоры, которые позволяют замерять температуру запасов и готовой продукции на любой стадии производственных процессов. Техническими средствами выявляются дефекты, которые невидимы для человеческого глаза, процесс автоматизирован. Следовательно, фактор человеческой невнимательности или усталости может быть полностью исключен. В случае выявления дефектов камеры могут передавать сигнал в центральную систему оповещения, тем самым предотвращая возникновение выявленного дефекта во всей партии. Одним из поставщиков подобных технических решений является Allied Vision. Также существуют камеры со встроенными цветовыми сенсорами, которые могут осуществлять контроль за качеством наложенной краски. Подобные решения поставляются компанией Omron.

**Информативный контроль** направлен на качество произведенной продукции. Основной задачей является описание и внедрение процесса мониторинга отгружаемой продукции и работы с претензиями потребителей. Цифровые технологии дают широкие возможности для построения соответствующей информационной системы. Так, вся информация о претензиях со стороны потребителей может храниться в облачном хранилище. Это позволит упростить проведение мониторинга баз данных и облегчить доступ к информации для различных подразделений. Электронная система документооборота позволяет структурировать имеющуюся информацию в организации и осуществлять быстрый обмен файлами, например посредством NFC-меток.

Цифровые технологии облегчат работу экспертных комиссий по устранению дефектов на предприятиях. Совещания экспертов можно проводить дистанционно, посредством электронных средств коммуникаций. Эксперт – представитель подразделения формирует рекомендации в зоне своей ответственности. Для каждого подразделения должно быть установлено временное ограничение по формированию рекомендаций. После получения рекомендаций от всех членов комиссии производственный отдел должен принять соответствующие меры по устранению дефектов и сформировать отчет. Данный отчет может быть приобщен к общей информации по работе с конкретной претензией.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях перехода к парадигме Индустрии 4.0 разработанные ранее методы оптимизации производственных бизнес-процессов остаются актуальными. Применение технологий цифровизации позволит использовать такие методы оптимизации, которые ранее были недоступны по причине отсутствия необходимой инфраструктуры. Выбор конкретных методов и используемых технологий остается за компаниями, поскольку у нее могут быть свои стратегические приоритеты и ресурсные ограничения. Только оптимальное

сочетание внедряемых мер и их соответствие существующим и будущим потребностям позволит компаниям произвести экономически эффективную и результативную оптимизацию бизнеса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аршавский А. (2018). Искусственный интеллект в металлургии // НЛМК. URL: [http://www.cloudmobility.ru/sites/default/files/13.25–13.45\\_arhovsky\\_nlmk\\_new.pdf](http://www.cloudmobility.ru/sites/default/files/13.25–13.45_arhovsky_nlmk_new.pdf).
2. Квасова Н.А., Целых В.Н. (2012). Методика оценки экономических потерь по видам дефектов на основе системы критериев КР-бенчмаркинга // Современные проблемы транспортного комплекса России. № 2. С. 295–298.
3. Лисовский А.Л. (2018). Оптимизация бизнес-процессов для перехода к устойчивому развитию в условиях четвертой промышленной революции // Стратегические решения и риск-менеджмент. № 4. С. 10–19. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-4-10-19>.
4. Пуха Ю. (2017). Индустриальная революция 4.0 // PricewaterhouseCoopers. URL: <https://www.pwc.ru/ru/assets/pdf/industry-4-0-pwc.pdf>.
5. Сербул А. (2018). Нейронки: какому бизнесу нужен искусственный интеллект (и лайфхаки, как его внедрить) // Деловой журнал «Inc.». URL: <https://incussia.ru/understand/nejronki-kakomu-biznesu-nuzhen-iskusstvennyj-intellekt-i-lajfhaki-kak-ego-vnedrit/>.
6. Тапасов И.В., Попов Н.А. (2018). Индустрия 4.0: Трансформация производственных фабрик // Стратегические решения и риск-менеджмент. № 3. С. 38–53. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-38-53>.
7. Chae B. (2009). Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective // Supply Chain Management: An International Journal. Vol. 14, № 6. P. 422–428. DOI: [10.1108/13598540910995192](https://doi.org/10.1108/13598540910995192).
8. Chongwatpol J. (2015). Prognostic analysis of defects in manufacturing // Industrial Management & Data Systems. Vol. 115, № 1. P. 64–87. DOI: <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2014-0158>.
9. Dean P.R., Xue D., Tu Y.L. (2009). Prediction of manufacturing resource requirements from customer demands in mass-customisation production // International Journal of Production Research. Vol. 47, № 5. P. 1245–1268. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540701557197>.
10. Deming W. (1943). Edwards. Statistical Adjustment of Data. Dover. 261 p.
11. Ding S.H., Kamaruddin S. (2015). Maintenance policy optimization – literature review and directions // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 76, № 5–8. P. 1263–1283. DOI: [10.1007/s00170-014-6341-2](https://doi.org/10.1007/s00170-014-6341-2).
12. Ford H., Crowther S. (1922). My Life and Work. Garden City, New York: Garden City Publishing Company, Inc. 231 p.
13. Gantt H.L. (1903). A graphical daily balance in manufacture // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Vol. 24. P. 1322–1336.

14. Hague R., Mansour S., Saleh N. (2004). Material and design considerations for rapid manufacturing // International Journal of Production Research. Vol. 42, № 22. P. 4691–4708. DOI: [10.1080/00207840410001733940](https://doi.org/10.1080/00207840410001733940).
15. Harding J.A., Shahbaz M., Srinivas et al. (2006). Data mining in manufacturing: a review // Journal of Manufacturing Science and Engineering. Vol. 128, № 4. P. 969–976. DOI: [10.1115/1.2194554](https://doi.org/10.1115/1.2194554).
16. Hazen B.T., Boone C.A., Ezell J.D. et al. (2014). Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications // International Journal of Production Economics. Vol. 154. P. 72–80. DOI: [10.1016/j.ijpe.2014.04.018](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.018).
17. Kampf R., Lorincová S., Hitka M. et al. (2016). The application of ABC analysis to inventories in the automatic industry utilizing the cost saving effect // NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more ipomorstvo. Vol. 63, № 3. Spec. Issue. P. 120–125. DOI: [10.17818/NM/2016/SI8](https://doi.org/10.17818/NM/2016/SI8).
18. Kim A., Oh K., Jung J.-Y. et al. (2018). Imbalanced classification of manufacturing quality conditions using cost-sensitive decision tree ensembles // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Vol. 31, № 8. P. 701–717. DOI: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1407447>.
19. Leachman C., Pegels C., Kyoon Shin S. (2005). Manufacturing performance: evaluation and determinants // International Journal of Operations & Production Management. Vol. 25, № 9. P. 851–874. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443570510613938>.
20. Lin Engineering uses cloud-based quality control to monitor overseas facility ([s.a.]) // InfinityQS. URL: <https://www.infinityqs.com/resources/case-studies/lin-engineering>.
21. O'Regan P., Prickett P., Setchi R. et al. (2017). Engineering a More Sustainable Manufacturing Process for Metal Additive Layer Manufacturing Using a Productive Process Pyramid // International Conference on Sustainable Design and Manufacturing. Cham: Springer. P. 736–745. DOI: [10.1007/978-3-319-57078-5\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_69).
22. Production Planning in 5 Steps ([s.a.]) // Smetoolkit. URL: <https://smetoolkit.ng/articles/17production-planning-in-5-steps>.
23. Rayna T., Striukova L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation // Technological Forecasting and Social Change. Vol. 102. P. 214–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>.
24. Roblek V., Meško M., Krapež A. (2016). A Complex View of Industry 4.0 // SAGE Open. URL: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>.
25. Rojko A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview // International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). Vol. 11, № 5. P. 77–90. DOI: [10.3991/ijim.v11i5.7072](https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072).
26. Stable Humidity Optimises Digital Print Operation ([s.a.]) // Humidity Solutions Ltd. URL: [http://www.humidity-solutions.co.uk/case\\_studies/HS%20VGL%20case%20study.pdf](http://www.humidity-solutions.co.uk/case_studies/HS%20VGL%20case%20study.pdf).
27. Taylor F.W. (1911) The Principles of Scientific Management. New York; London: Harper & brothers. 144 p.

28. Temperature controller basics ([s.a.]) // Learning instrumentation and control engineering URL: <https://www.instrumentationtoolbox.com/2016/09/temperature-controller-basics.html>.
29. Tinga T. (2013) Maintenance concepts // Principles of loads and failure mechanisms/Ed.H. Pham. London: Springer. P. 161–186.

## REFERENCES

1. Arshavskij, A. (2018). Iskusstvennyj intellekt v metallurgii // NLMK [Arshavsky, A. (2018). AI in metallurgy. NLMK. (In Russ.).]. URL: [http://www.cloudmobility.ru/sites/default/files/13.25–13.45\\_arhavsky\\_nlmk\\_new.pdf](http://www.cloudmobility.ru/sites/default/files/13.25–13.45_arhavsky_nlmk_new.pdf).
2. Kvasova, N.A. Celykh, V. N. (2012). Metodika ocenki ekonomicheskikh poter po vidam defektov na osnove sistemy kriteriev KR-benchmarkinga // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. 2:295–298. [Kvasova, N. A., Zelykh, V. N. (2012) Methods of estimating economic losses by types of defects based on the system of criteria for CI-benchmarking. *Modern Problems of Russian Transport Complex*. 2:295–298. (In Russ.).].
3. Lisovskij, A. L. (2018). Optimizaciya biznes-processov dlya perekhoda k ustojchivomu razvitiyu v usloviyakh chetvertoj promyshlennoj revolyucii // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment. 4:10–19. [Lisovsky, A. L. (2018). Optimization business processes for transition to a sustainable development in the conditions of the fourth industrial revolution. *Strategic Decisions and Risk Management*. 4:10–19. (In Russ.).]. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-4-10-19>.
4. Pukha, Yu. (2017). Industrial'naya revolyuciya 4.0 // PricewaterhouseCoopers. [Pukha, Yu. (2017). Industrial revolution 4.0. *PricewaterhouseCoopers*. (In Russ.).]. URL: <https://www.pwc.ru/ru/assets/pdf/industry-4-0-pwc.pdf>.
5. Serbul, A. (2018). Nejronki: kakomu biznesu nuzhen iskusstvennyj intellekt i lajfhaki kak ego vnedrit // Delovoj zhurnal «Inc.». [Serbul, A. (2018). Neurons: what business needs AI (and life hackings, how to implement it). *Business magazine «Inc.»*. (In Russ.).]. <https://incrussia.ru/understand/nejronki-kakomu-biznesu-nuzhen-iskusstvennyj-intellekt-i-lajfhaki-kak-ego-vnedrit/>.
6. Tarasov, I. V. Popov, N. A. (2018). Industriya 4.0: Transformaciya proizvodstvennykh fabrik // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment. 3:38–53. [Tarasov, I. V., Popov, N. A. (2018). Industry 4.0: Production factories transformation. *Strategic Decisions and Risk Management*. 3:38–53. (In Russ.).]. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-38-53>.
7. Chae, B. (2009). Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*. 14 (6):422–428. DOI: [10.1108/13598540910995192](https://doi.org/10.1108/13598540910995192).
8. Chongwatpol, J. (2015). Prognostic analysis of defects in manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*. 115 (1): 64–87. DOI: <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2014-0158>.
9. Dean, P. R., Xue, D., Tu, Y. L. (2009). Prediction of manufacturing resource requirements from customer demands in mass-customisation production. *International Journal of Production Research*. 47 (5):1245–1268. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540701557197>.
10. Deming, W. (1943). Edwards. Statistical Adjustment of Data. Dover. 261 p.
11. Ding, S. H., Kamaruddin, S. (2015). Maintenance policy optimization – literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 76 (5–8):1263–1283. DOI: [10.1007/s00170-014-6341-2](https://doi.org/10.1007/s00170-014-6341-2).
12. Ford, H., Crowther, S. (1922). My Life and Work. Garden City, New York: Garden City Publishing Company, Inc. 231 p.
13. Gantt, H. L. (1903). A graphical daily balance in manufacture // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Vol. 24. P. 1322–1336.
14. Hague, R., Mansour, S., Saleh, N. (2004). Material and design considerations for rapid manufacturing. *International Journal of Production Research*. 42 (22):4691–4708. DOI: [10.1080/00207840410001733940](https://doi.org/10.1080/00207840410001733940).
15. Harding, J. A., Shahbaz, M., Srinivas et al. (2006). Data mining in manufacturing: a review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 128 (4):969–976. DOI: [10.1115/1.2194554](https://doi.org/10.1115/1.2194554).
16. Hazen, B. T., Boone, C. A., Ezell, J. D. et al. (2014). Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications. *International Journal of Production Economics*. 154:72–80. DOI: [10.1016/j.ijpe.2014.04.018](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.018).
17. Kampf, R., Lorincová, S., Hitka, M. et al. (2016). The application of ABC analysis to inventories in the automatic industry utilizing the cost saving effect. *NAŠE MORE: znanstveno-stručničasopisza more ipomorstvo*. 63 (3. Spec. Issue):120–125. DOI: [10.17818/NM/2016/SI8](https://doi.org/10.17818/NM/2016/SI8).
18. Kim, A., Oh, K., Jung, J.-Y. et al. (2018). Imbalanced classification of manufacturing quality conditions using cost-sensitive decision tree ensembles. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 31(8):701–717. DOI: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1407447>.
19. Leachman C., Pegels, C., Kyoon Shin, S. (2005). Manufacturing performance: evaluation and determinants. *International Journal of Operations & Production Management*. 25 (9):851–874. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443570510613938>.
20. Lin Engineering uses cloud-based quality control to monitor overseas facility ([s.a.]). *InfinityQS*. <https://www.infinityqs.com/resources/case-studies/lin-engineering>.
21. O'Regan P., Prickett P., Setchi R. et al. (2017). Engineering a More Sustainable Manufacturing Process for Metal Additive Layer Manufacturing Using a Productive Process Pyramid. In: International Conference on Sustainable Design and Manufacturing. Cham: Springer. 736–745. DOI: [10.1007/978-3-319-57078-5\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_69).
22. Production Planning in 5 Steps ([s.a.]). *Smetoolkit*. <https://smetoolkit.ng/articles/17production-planning-in-5-steps>.
23. Rayna, T., Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*. 102:214–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>.
24. Roblek, V., Meško, M., Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>.
25. Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*. 11 (5):77–90. DOI: [10.3991/ijim.v11i5.7072](https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072).
26. Stable Humidity Optimises Digital Print Operation ([s.a.]). *Humidity Solutions Ltd*. [http://www.humidity-solutions.co.uk/case\\_studies/HS%20VGL%20case%20study.pdf](http://www.humidity-solutions.co.uk/case_studies/HS%20VGL%20case%20study.pdf).
27. Taylor, F. W. (1911). The Principles of Scientific Management. New York; London: Harper & brothers. 144 p.
28. Temperature controller basics ([s.a.]). *Learning instrumentation and control engineering*. <https://www.instrumentationtoolbox.com/2016/09/temperature-controller-basics.html>.
29. Tinga, T. (2013). Maintenance concepts. In: *Principles of loads and failure mechanisms*, ed. H. Pham. London: Springer. 161–186.
30. Vishnu, C. R., Regikumar, V. (2016). Reliability based maintenance strategy selection in process plants: a case study. *Procedia Technology*. 25:1080–1087. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

## Н. А. Попов

Специалист, Центр отраслевых исследований и консалтинга ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации». Область научных интересов: ИТ-технологии в операционной деятельности бизнеса, цифровизация производства, антикризисное и арбитражное управление.  
E-mail: Mr.Nikita.Popov97@gmail.com

## ABOUT THE AUTHOR

## Nikita A. Popov

Research associate, Center for industry research and consulting of the Financial University under the Government of Russian Federation. Research interests: IT-technologies in the operational efficiency of business, digitalization of production, crisis and arbitration management.  
E-mail: Mr.Nikita.Popov97@gmail.com