

УДК 685.5

## **LEAN-ПРОИЗВОДСТВО: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ КРУПНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

К.Н. ШКАРОВСКАЯ<sup>1</sup>, К.В. СИНКЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>преподаватель-стажёр кафедры «Инженерная экономика»

<sup>2</sup>студент кафедры «Инженерная экономика»

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

*Аннотация. Lean-технологии являются ключевым подходом к повышению эффективности и снижению затрат в крупных производственных системах. В статье рассматриваются современные Lean-инструменты, их интеграция с технологиями Индустрии 4.0, включая автоматизацию, анализ данных и цифровых двойников. Представлены примеры успешного внедрения Lean-решений в различных отраслях и анализ их влияния на конкурентоспособность компаний. Актуальность темы обусловлена необходимостью адаптации предприятий к вызовам цифровизации и изменяющимся рыночным условиям.*

*Ключевые слова: lean-технологии, оптимизация, цифровизация, Индустрия 4.0, инновационные технологии.*

## **LEAN PRODUCTION: INNOVATIVE SOLUTIONS FOR LARGE-SCALE MANUFACTURING SYSTEMS**

K.N. SHKAROVSKAYA<sup>1</sup>, K.V. SINKEVICH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trainee Teacher of the Department of Engineering Economics

<sup>2</sup> Student of the Department of Engineering Economics

Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

*Annotation. Lean technologies are a key approach to improving efficiency and reducing costs in large-scale production systems. This article examines modern Lean tools and their integration with Industry 4.0 technologies, including automation, data analytics, and digital twins. It presents examples of successful Lean implementations across various industries and analyzes their impact on companies' competitiveness. The*

*relevance of this topic is driven by the need for enterprises to adapt to the challenges of digitalization and changing market conditions.*

*Key words: Lean technologies, optimization, digitalization, Industry 4.0, innovative technologies.*

Уже в 20-м веке в мире нарастала потребность повысить эффективность производственных процессов. Многие предприятия стали прибегать к использованию в своей хозяйственной деятельности бережливого производства. «Все методы бережливого производства направлены на общую цель и являются оптимальным инструментом сокращения времени производственного цикла. Сюда входит не только производство, но и простои между различными производственными процессами» [2, с.9]. Lean-производство, или бережливое производство – это методология управления, направленная на минимизацию потерь и оптимизацию производственных процессов. Возникнув в середине 20-го века в рамках производственной системы Toyota, этот подход стал основой для повышения эффективности в различных отраслях промышленности. В условиях цифровизации и усложнения глобальных цепочек поставок внедрение Lean-инструментов становится ключевым фактором повышения конкурентоспособности крупных промышленных систем.

Концепция Lean-производства берет свое начало в послевоенной Японии, где компания Toyota разработала систему, известную как Toyota Production System (TPS). Основоположниками этой системы были инженеры Тайити Оно и Эйдзи Тойода, которые стремились создать эффективную и гибкую производственную модель, способную конкурировать с западными автопроизводителями. Ключевыми принципами TPS стали «точно вовремя» (Just-in-Time) и «автономизация» (Jidoka), направленные на устранение всех видов потерь времени, материалов и т.д., но при этом обеспечение высокого качества продукции.

В последующие десятилетия принципы Lean были адаптированы и расширены для применения в различных отраслях промышленности и сферах деятельности. В 1990 году Джеймс Вумек и Даниэль Джонс опубликовали книгу «Машина, которая изменила мир», в которой подробно описали концепцию Lean и ее преимущества. С тех пор Lean-технологии стали применяться не только в производстве, но и в сфере услуг, здравоохранении, логистике и даже в

государственном управлении, однако в некоторых сферах, в которых стали использовать Lean в последствии могли отказываться от них, что показывает несовершенство данной технологии.

Lean-производство основывается на пяти ключевых принципах, которые представлены на рисунке 1 [3, 5].



Рисунок 1 – Ключевые принципы Lean

1. Определение ценности. Понимание того, что действительно ценно для клиента, и фокусировка на создании этой ценности.

2. Идентификация потока создания ценности: анализируются все шаги, необходимые для создания продукта или услуги, с целью выявления и устранения неэффективных процессов.

3. Создание непрерывного потока. На этом этапе определяют, как обеспечить – и обеспечивают плавное и непрерывное движения продукта через все стадии производства.

4. Внедрение системы «вытягивания». Система вытягивания – это метод управления производственными и логистическими процессами, при котором продукция или услуги создаются только в ответ на фактический спрос, а не на основании прогнозов или планов. Система вытягивания противопоставляется системе толкания (Push

System), где производство инициируется на основе предварительных прогнозов спроса, что часто приводит к избытку запасов и перерасходу ресурсов.

5. Стремление к совершенству: Постоянное улучшение процессов и стремление к устранению всех видов потерь.

Наиболее популярными инструментами бережливого производства можно считать следующие:

1. 5S (Сортировка, Систематизация, Содержание в чистоте, Стандартизация, Совершенствование) – это методология для создания и поддержания организованного рабочего пространства. Этапы включают удаление ненужных вещей и чистоту, оптимизацию расположения инструментов, установление стандартов и постоянное совершенствование. Например, сотрудники на производственной линии размещают часто используемые инструменты на конкретных местах, что сокращает время их поиска. Применение 5S повышает производительность, снижает потери времени и улучшает дисциплину.

2. Канбан – Визуальная система управления производством и запасами, которая использует карточки и электронные сигналы. Процесс организуется так, чтобы материалы или детали поступали только тогда, когда они действительно нужны. Например, на автомобильном заводе карточки Канбан используются для пополнения запасов деталей. Это снижает избыточные запасы, повышает гибкость процессов и позволяет быстрее реагировать на изменения спроса.

3. Кайдзен (Непрерывное улучшение) – философия, которая направлена на постепенное и постоянное улучшение процессов. Она вовлекает всех сотрудников компании, начиная от рабочих и заканчивая руководителями. Например, сотрудники производственного цеха могут предложить изменить расположение оборудования, чтобы сократить время перемещения материалов. В результате время цикла производства снижается, а эффективность растёт. Этот инструмент способствует снижению затрат, повышению вовлечённости персонала и созданию культуры совершенствования.

4. Анализ цепочки создания ценности (Value Stream Mapping, VSM) – это инструмент для визуализации всех этапов, необходимых для создания продукта или услуги, с целью выявления и устранения потерь. Анализ цепочки помогает понять, где процесс становится неэффективным, и найти способы его оптимизации. Например, в пищевой промышленности анализ VSM позволил компании Nestlé

сократить время на упаковку продукции за счёт модернизации оборудования. Это улучшило производительность и сократило издержки.

5. Poka-Yoke (Защита от ошибок) – метод предотвращения ошибок с использованием простых, но эффективных устройств или процедур. Пример: механизмы на сборочных линиях, которые предотвращают неправильную сборку деталей, автоматически останавливая процесс при обнаружении ошибки. Это снижает количество брака, повышает качество продукции и сокращает затраты на исправление и обнаружение дефектов.

6. Точно вовремя (Just-in-Time, JIT) – это подход, при котором материалы и детали поступают на производство только в момент их необходимости, что минимизирует запасы и снижает затраты.

7. SMED – Технология сокращения времени переналадки оборудования. Она предполагает разделение операций на внешние (которые можно выполнять во время работы оборудования) и внутренние (выполняемые только при его остановке), а также их оптимизацию.

Современная экономика и производства требуют от Lean-технологий нового уровня адаптивности. В эпоху Индустрии 4.0 ключевую роль играют цифровые технологии, которые трансформируют традиционные подходы к управлению производством [1,4,6]. Среди инновационных решений, поддерживающих Lean, можно выделить:

1. Интеграция цифровых технологий:

– Интернет вещей (IoT): Внедрение IoT позволяет осуществлять мониторинг производственных процессов в реальном времени, собирая данные с оборудования и систем. Это способствует быстрому выявлению отклонений и принятию оперативных решений.

– Машинное обучение и аналитика больших данных: Использование алгоритмов машинного обучения для предиктивной аналитики позволяет прогнозировать возможные сбои, оптимизировать техническое обслуживание и повышать общую эффективность производства.

– Роботизация и автоматизация: Внедрение промышленных роботов и автоматизированных систем снижает влияние человеческого фактора, повышает точность операций и сокращает время производственного цикла.

2. Технологии цифровых двойников позволяют крупным производственным предприятиям моделировать процессы, анализировать их эффективность и тестировать улучшения без физического вмешательства в производство. Это снижает риски и затраты, связанные с внедрением новых решений.

3. Lean 4.0 – сочетание традиционного Lean и Индустрии 4.0. Концепция Lean 4.0 объединяет принципы бережливого производства с возможностями цифровых технологий. Примером являются системы MES (Manufacturing Execution Systems), которые обеспечивают прозрачность процессов и контроль над производственными циклами.

Рассмотрим несколько примеров практического применения Lean-технологий:

1. Автомобилестроение. Заводы Tesla используют сочетание робототехники и аналитики больших данных для оптимизации процессов сборки автомобилей, это позволяет минимизировать потери на каждом этапе производства. Внедрение автоматизированных систем контроля качества и предиктивного обслуживания оборудования снижает количества дефектов и простоев, а также стоят компании дешевле чем нанимать людей для такой же скорости и качества производства.

2. Производство электроники. Заводы Samsung внедрили систему Интернета вещей (IoT) для мониторинга ключевых производственных процессов, что позволило сократить энергозатраты на 20% за счёт автоматизированной регулировки работы оборудования. Использование интеллектуальных сенсоров для контроля температуры и влажности в цехах помогло поддерживать стабильные условия производства, что снизило количество дефектов на 15%. Подобные технологии применяются также для управления цепочками поставок: данные о запасах обновляются в реальном времени, что предотвращает перебои и избыточное хранение.

3. Химическая и пищевая промышленность – Nestlé активно применяет Lean в сочетании с цифровыми технологиями для управления своими производственными линиями. Инструмент Value Stream Mapping позволил компании сократить продолжительность производственного цикла на 25% за счёт устранения неэффективных этапов. Помимо этого, внедрение MES-систем дало возможность синхронизировать графики производства с текущими заказами,

минимизируя потери сырья и энергии. Компания BASF внедрила цифровых двойников для моделирования своих производственных процессов. Это помогло оптимизировать использование катализаторов в реакторах, что привело к снижению расходов на 10% и уменьшению выбросов углекислого газа.

4. Логистика. Amazon является ярким примером компании, которая эффективно использует Lean-принципы в логистике. Автоматизированные складские системы, роботизированные решения и предиктивные алгоритмы управления запасами позволяют компании минимизировать затраты на хранение и ускорить доставку. Применение технологии машинного зрения и робототехники на складах позволяет снижать временные издержки при сортировке и упаковке товаров, а в доставке позволяет снизить цену на своих маркетплейсах, и ускорить срок доставки до потребителя.

Из минусов Lean-технологий можно выделить: высокие затраты на внедрение, причём чем больше производство – тем больше инвестиций нужно. Второй минус – затраты на обучение персонала (как денежных, так и временных). И третий минус – это плохая адаптивность Lean-технологий, они адаптивны, но для этого нужно использовать дополнительные ресурсы [5].

В заключение можно сказать, что Lean-технологии продолжают оставаться одной из ключевых технологий для управления в крупных производственных системах, можно сказать, что их использования является обязательными. В эпоху цифровой трансформации, где традиционные подходы нуждаются в адаптации, интеграция Lean с инновационными технологиями, такими как IoT, машинное обучение и робототехника, стала неотъемлемой частью стратегий повышения эффективности.

В перспективе Lean должно продолжать эволюционировать, чтобы соответствовать требованиям новой высококонкурентной и нестабильной среды, что делает их незаменимыми инструментами для управления крупными производственными системами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бережливое производство за последнее десятилетие: выводы из опубликованных кейс-исследований. [Электронный ресурс]. –

Режим доступа: [www.emerald.com/](http://www.emerald.com/) , свободный. Дата обращения: 14.11.2024.

2. Бутор, Л. В. SMED как инструмент повышения уровня организации производственных процессов (на примере ОАО «Пеленг») / Л. В. Бутор, А. А. Найдёнышева // Инженерная экономика [Электронный ресурс] : сборник материалов международной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава в рамках 21-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», секция «Инженерная экономика», 26-28 апреля 2023 г. / Белорусский национальный технический университет, Машиностроительный факультет ; редкол.: Т. А. Сахнович (пред. редкол.) [и др.] ; сост. А. В. Плясунков. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 8-13.

3. Иванов, С.П. Lean-производство в эпоху цифровой трансформации. – М.: Технологии и инновации, 2022. – 280 с.

4. Индустрия 4.0 и бережливое производство: систематический обзор литературы и направления будущих исследований. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/](http://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/) , свободный. Дата обращения: 14.11.2024.

5. Смирнова, Е.А. Инновационные подходы в бережливом производстве. – СПб.: Наука и практика, 2023. – 310 с.

6. Стратегии бережливого производства и управление энергией для Индустрии 4.0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.mdpi.com/](http://www.mdpi.com/) , свободный. Дата обращения: 14.11.2024.

## REFERENCES

1. Lean manufacturing in the last decade: insights from published case studies. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerald.com/> , свободный. Дата обращения: 14.11.2024.

2. Butor, L. V. SMED as a tool for increasing the level of organization of production processes (based on the example of Peleng OJSC)/ L. V. Butor, A. A. Naidenysheva // Engineering Economics [Electronic resource]: collection of materials of the international scientific and technical conference of the teaching staff within the framework of the 21st International Scientific and Technical Conference «Science - Education, Production, Economy», section «Engineering Economics», April 26-28, 2023 /

Belarusian National Technical University, Faculty of Mechanical Engineering; editorial board: T. A. Sakhnovich (chairman of the editorial board) [et al.]; compiled by A. V. Plyasunkov. - Minsk: BNTU, 2023. - P. 8-13.

3. Ivanov, S.P. Lean Production in the Era of Digital Transformation. – Moscow: Technologies and Innovations, 2022. – 280 p.

4. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/](http://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/) , свободный. Дата обращения: 14.11.2024.

5. Smirnova, E.A. Innovative Approaches to Lean Production. – Saint Petersburg: Science and Practice, 2023. – 310 p.

6. Lean Manufacturing Strategies and Energy Management for Industry 4.0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.mdpi.com/](http://www.mdpi.com/) , свободный. Дата обращения: 14.11.2024.