

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ  
ИНТРАЛОГИСТИКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF PRODUCTION  
INTRALOGISTICS ON THE BASIS OF MODELING

Турайкевич К.Ю.

Научный руководитель – Лапковская П.И., к.э.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь

[betsfrank138@gmail.com](mailto:betsfrank138@gmail.com)

K. Turaykevich,

Supervisor – P. Lapkovskaya, Candidate of Economics, Associate  
Professor

Belarusian national technical university,

Minsk, Belarus

*Аннотация. Планирование и составление графиков производства в значительной степени зависят от эффективной работы производственной логистики и погрузочно-разгрузочного оборудования. В этой статье описывается подход, основанный на моделировании, включая определение и сравнительный анализ ключевых показателей эффективности (KPI) для анализа эффективности производственной интралогистики применительно к выбранному варианту использования.*

*Abstract. Production planning and scheduling rely heavily on the efficient operations of production logistics and material handling equipment. This paper describes a simulation-based approach, including the definition of and comparative analysis of Key Performance Indicators (KPIs), to analyse the performance of production intralogistics applied to a selected use case.*

*Ключевые слова: логистика, интралогистика, AMR, имитационное моделирование, KPI.*

*Key words: logistics, intralogistics, AMR, simulation modeling, KPI.*

## **Введение**

В сфере управления производством выполнение таких действий, как получение сырья для доставки готовой продукции клиентам, необходимо совместно изучать и анализировать. Эти виды деятельности тесно взаимосвязаны, и анализ их эффективности может помочь оптимизировать производственные и логистические операции. Улучшение производственной интралогистики — внутренней транспортировки товаров в пределах данного производственного объекта — оказывает большое влияние на эффективность производства всего предприятия. Таким образом, возникает потребность в оптимизации внутренних логистических систем с точки зрения операционной эффективности, пропускной способности и устойчивости [1].

Хотя автоматизация вносит большой вклад в создание ценности для бизнеса и уже в некоторой степени внедрена во внутреннюю логистику производственных объектов (например, конвейеры, вилочные погрузчики и тележки для поддонов), вышеупомянутое оборудование обеспечивает лишь низкую степень гибкости, в то время как другие задачи такие как погрузка и разгрузка, а также авторизация товаров, по-прежнему в основном выполняются вручную [2].

Высокий уровень автоматизации, такой как внедрение автономных мобильных роботов (AMR) во внутреннюю логистику объекта, предлагает более гибкое решение, которое может привести к более эффективному процессу транспортировки. В то время как автоматизация внутренней логистики обещает много преимуществ, любые изменения на производственной площадке создают новые проблемы. Например, чтобы обеспечить плавный переход к новому рабочему процессу, рекомендуется спланировать и провести подробный курс управления изменениями для линейных операторов. Кроме того, внутренние логистические системы очень сложны, а развертывание AMR требует тщательного предварительного изучения и анализа. Поэтому для анализа и проверки изменения можно использовать метод моделирования и 3D-визуализации. Имитационное моделирование в сочетании с концепцией цифрового двойника и настройкой целевых показателей KPI (ключевого показателя эффективности) стало сегодня основной основой в управлении операциями, поскольку

полученная информация облегчает принятие более эффективных решений с точки зрения финансов, времени, материалов и ресурсов. энергосбережение, а также возможность оптимизировать технологическую деятельность

### **Основная часть**

1. AMR в автоматизации внутренней логистики и применение. Интернета вещей (IoT) стали широко ассоциироваться с такими областями, как производство, логистика и транспорт. С другой стороны, приложения IoT в производстве и логистике должны быть бесшовно интегрированы в компании Manufacturing Engineering Systems (MES) [3].

AMR для производственной логистики убеждают в концепции «умного завода» с помощью прорывных технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ), моделирование и цифровой двойник [4].

Использование AMR в качестве погрузочно-разгрузочного оборудования создает более эргономичное рабочее пространство для сотрудников производственных цехов. Кроме того, правильное развертывание AMR может привести к увеличению производственных мощностей и гибкости при одновременном сокращении дефектов при транспортировке. Другие автоматизированные решения для производственной логистики, такие как конвейеры, вилочные погрузчики, тележки с поддонами и автоматизированные управляемые транспортные средства, не обеспечивают такой же уровень гибкости с точки зрения маршрутизации. Напротив, AMR можно перепрограммировать для использования в разных приложениях, реагируя на разные входные данные. Они меньше по размеру и более маневренны, чем традиционные автоматизированные транспортные средства; как таковые, они могут более эффективно получить доступ к производственной площади.

Однако внедрение AMR для производственной интралогистики необходимо обосновать и проверить перед физической настройкой на производственном участке.

2. Имитационное моделирование и 3D-визуализация. Имитационное моделирование — это создание цифровой модели реальной системы. Различные сценарии «что, если» могут быть протестированы на действительном цифровом представлении

системы для анализа, оптимизации и прогнозирования производительности процессов на основе заданных параметров.

После тщательных экспериментов в этой безрисковой среде можно найти оптимальную конфигурацию системы и перенести ее в реальный мир. Потенциальные проблемы и узкие места выявляются и реагируют на них на ранних этапах процесса, что приводит к улучшению установленных KPI.

Трехмерная визуализация является важным инструментом, используемым для проверки осуществимости имитационных моделей с учетом геометрии объекта, линии или процесса. Для сравнения, 2D-моделирование предлагает лишь низкий уровень визуального ввода в эксплуатацию. Использование 3D-визуализации на основе Industrial Virtual Reality (IVR), которая может быть адаптирована к смоделированным 3D-схемам сборки, моделям продуктов и технологическим процессам, может оказаться полезным в таких случаях.

В этом исследовании производственный цех был смоделирован в программном обеспечении для трехмерного моделирования; были смоделированы этапы сборки, включая механизмы и инструменты в заводских условиях, а также проанализированы изменения расположения АМР.

### 3. KPI для производственной интралогистики.

Показатели эффективности или KPI предназначены для предоставления информации, необходимой для анализа эффективности производственных операций. Интралогистика подпадает под дисциплину управления операциями, и, как следствие, KPI, связанные с производственными операциями, также подходят для производственной интралогистики, как определено в семействе стандартов ISO 22400. Стандарт классифицирует KPI в зависимости от целей их использования, таких как производительность, которую можно измерить с точки зрения затрат, времени, качества, гибкости и устойчивости. Точно так же они применимы к различным типам операций, таким как производство, обработка материалов, обеспечение качества, техническое обслуживание и так далее.

Показатели эффективности не только демонстрируют, что произошло; они также указывают, что произойдет, поскольку лица,

принимающие решения, предпримут ответные шаги для борьбы с любыми недостатками, представленными в KPI.

В этом исследовании были выбраны такие ключевые показатели эффективности, как использование, пропускная способность и стоимость AMR, а также дефекты транспортировки. В статье предлагается подход, основанный на трехмерном моделировании, для анализа производительности процесса производственной интралогистики, хотя предложенный подход может быть применен и к другим процессам. В ряде других исследовательских работ были рассмотрены вопросы автоматизации внутренней логистики и развертывания мобильных роботов для транспортировки на заводе [3], [4].

Ценность этого исследования заключается в простоте синхронизированного подхода к анализу по сравнению с более сложными в построении и применении процедурами, описанными в вышеупомянутых документах.

### **Заключение**

Предлагаемый подход, основанный на моделировании, призван помочь проанализировать возможность автоматизации процессов интралогистики и внедрения AMR в производственной логистике. В связи с возможностью достижения высокого уровня точности представления реального производственного объекта в программах 3D-моделирования и имитационного моделирования, авторы данного исследования рекомендуют использовать вышеупомянутые инструменты Индустрии 4.0 в рамках рабочего процесса принятия решений при автоматизации внутрилогистических процессов.

Тематическое исследование обеспечило эффективное использование 3D-моделирования и визуализации, что помогло сократить время установки AMR и проанализировать производственные мощности, чтобы определить количество AMR, необходимое для удовлетворения текущих требований к мощности. Более того, с определенным анализом KPI технически возможно использовать AMR для внутренней логистики, и это также может улучшить проактивное принятие решений. Мобильные роботы — это гибкие инструменты, которые можно применять в различных сценариях использования по мере необходимости и внедрять в производство поэтапно, сначала тестируя решение с одним AMR, а затем постепенно увеличивая их количество в соответствии с

требуемой производительностью. Подход, основанный на моделировании, может быть воспроизведен в будущем в других компаниях, особенно в тех, которые имеют дело с аналогичными бизнес-процессами и производственными средами.

#### Литература

1. Лагуна М., Марклунд Дж. Моделирование бизнес-процессов, моделирование и проектирование: 3 - е изд. - 2019. - CRC Press.
2. Страка М. Применение extendsim для повышения эффективности производственной логистики. - Международный журнал имитационного моделирования, 2017. - т.16 (3). - С. 422-434.
3. Михалос Г., Куси Н., Макрис С. и Криссолурис Г. Оценка эффективности производственных систем с мобильными роботами, 2016. - Procedia CIRP , вол. 41. С. 195 – 200.
4. Фишер М. Автоматизированное 3D-движение планирования рампы и лестницы внутрилогистического потока // Материалы зимнего Simu, 2010 г. - С. 1648-1660.

Представлено 10.11.2022