

Некоторые особенности применения роботизированных технологий в складской логистике

Some features of the application of robotic technologies in warehouse logistics

УДК 338, 658.78.06

Получено: 19.04.2022

Одобрено: 09.05.2022

Опубликовано: 25.06.2022

Староверова О.В.

Д-р юрид. наук, канд. экон. наук, доцент, профессор ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова»

e-mail: Staroverova.OV@rea.ru

Staroverova O.V.

Doctor of Juridical Science, Ph.D. in Economic Sciences, Professor, Plekhanov Russian University of Economics

e-mail: Staroverova.OV@rea.ru

Андреева А.А.

Магистр ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова»

e-mail: a.andreeva.98@mail.ru

Andreeva A.A.

Master's Degree Student, Plekhanov Russian University of Economics

e-mail: a.andreeva.98@mail.ru

Аннотация

До недавнего времени логистика была слабым местом в электронной коммерции, создавая такие проблемы, как медленная и / или неправильная доставка, потерянные или поврежденные товары, неправильная упаковка и условия хранения запасов. За последние годы в логистике и управлении цепочками поставок стали доминировать тенденции, оказывающие оптимизацию и устойчивость логистики и цепочках поставок в целом. В этой статье рассматриваются особенности применения роботизированных технологий в складской логистике. В работе выделены передовые технологии физической автоматизации. Описаны инновационные технологии: роботы AGV/AMR, системы умного хранения AS/RS, технология передвижения товара Goods-to-person (GTP), а также складские дроны и RFID метки. Кроме того, в работе проведена оценка эффективности использования роботизированных систем для складов с различной пропускной способностью. Исследование показало, что не все автоматизированные системы могут быть эффективны для работы с различными типами складов и количеством используемых SKU. Разработка и моделирование технологий должно производиться под определённые требования и особенности как процессов, так и самого склада компании.

Ключевые слова: роботизация склада, автоматизация бизнес-процессов, роботизированные технологии, складская логистика, инновации, физическая автоматизация.

Abstract

Until recently, logistics was a weak point in e-commerce, creating problems such as slow and/or incorrect deliveries, lost or damaged goods, improper packaging and inventory storage conditions. In recent years, logistics and supply chain management have become dominated by trends that are optimizing and resilient logistics and supply chains in general. This article examines the particularities of the application of robotic technologies in warehouse logistics. The paper highlights the advanced technologies of physical automation. Innovative technologies are described: AGV/AMR robots, AS/RS smart storage systems, Goods-to-person (GTP) goods movement technology, as well as warehouse drones and RFID tags. In addition, the paper assessed the effectiveness of using robotic systems for warehouses with different throughput capacities. The study showed that not all automated systems can be effective for different types of warehouses and the number of SKUs used. The development and modeling of technologies should be made for certain requirements and features of both processes and the company's warehouse itself.

Keywords: warehouse robotization, business process automation, robotic technology, warehouse logistics, innovation, physical automation.

В наши дни технологии влияют практически на все отрасли, особенно на складские услуги. Быстрорастущие онлайн-бренды полагаются на «умные» склады, которые обеспечивают скорость, автоматизацию, наглядность и прозрачность, позволяя логистическим компаниям улучшать свои возможности и позволяя брендам отслеживать свою цепочку поставок и улучшать качество обслуживания клиентов. Новые технологии демонстрируют потенциал автоматизации для все большего количества областей, включая складскую логистику, что является важной частью экономики по мере роста заказов в электронной торговле. Индустрия логистики стремится к автоматизации, чтобы обеспечить безопасность работников и повысить их эффективность.

Аймешева Жаннат в своей работе «Перспективы внедрения роботизированной инфраструктуры в логистическую систему электронной коммерции» говорит о преимуществах роботизированных технологий для складов электронной коммерции. Автор считает, что внедрение роботизированных систем уже не рассматривается в качестве опций, это необходимость для каждой компании [17].

В своем исследовании Xiang T.R. Kong и др. описывают методику применения роботизированных систем в логистике. Исследователи считают, что существующие полностью автоматизированные решения не всегда могут удовлетворить разнообразие требований к складскому хранению электронной коммерции. Авторы предлагают модель эффективного складирования с использованием роботизированной системы хранения [6].

Azadeh Kaveh и др. считают, что автоматизация склада требует значительных масштабов и долгосрочного видения. При правильном моделировании роботы способны обеспечить гибкость в управлении складом [6].

Все больше компаний стараются внедрить инновационные технологии, такие как роботизированные системы, представленные мобильными роботами или же умные системы хранения. Сегодня роботы становятся необходимостью для компаний, чтобы сохранить свое конкурентное преимущество. Выделяют два типа автоматизации – цифровая, с использованием специализированного программного обеспечения и физическая, которая основывается на применении роботизированных технологий, например, мобильных роботах [1].

Физическая автоматизация – это внедрение роботизированных технологий для минимизации ручного труда и создания более эффективных рабочих процессов. Роботы – один из примеров того, как склады используют данную автоматизацию [1]. Роботизированные технологии, представленные в виде мобильных роботов (AGV/AMR), умных систем хранения и комплектации (AS/RS, Goods-to-person), а также дронов и RFID-меток, могут разгружать и загружать товары на специализированные производственные / техно-

логические линии, проводить точную и быструю инвентаризацию склада, а также безопасно извлекать товар со стеллажей по требованию, без участия человека.

У физической автоматизации есть ряд недостатков: высокие первоначальные затраты (см. табл. 2), а также нехватка квалифицированной рабочей силы для управления и обслуживания таких систем. Роботизированные технологии применимы для больших складов и распределительных центров, где есть площадь, позволяющая разместить необходимое оборудование. Примером успешного внедрения роботов является российский спортивный магазин Декатлон, который в 2021 г. запустил крупнейшую в России систему роботизации складской логистики [2]. В роботизированную систему входят рабочие станции для персонала по концепции «товар-к-человеку» (GTP), оборудованных системой отбора put-to-light в каждой из локаций. На текущий момент система дает возможность увеличить производительность комплектации товаров в 4-5 раз, однако Декатлон ожидает увеличения до 7,5 раз. Несколько компаний розничной торговли публично выделили значительные средства на реализацию своих стратегий автоматизации. Например, Walmart [13] планирует выделить почти 14 миллиардов долл. на автоматизацию складов и другие сферы деятельности, а компания ASOS объявила о выделении 100 миллионов долл. на увеличение мощности и производительности своих складов [14]. Эти шаги свидетельствуют об общеотраслевом внимании к автоматизации, которое теперь еще более усилилось в ответ на изменение рыночных условий, вызванное пандемией COVID-19 [14].

Складские роботы и другие роботизированные технологии работают совместно с существующим программным обеспечением, таким как системы WMS (warehouse management system). Все начинается с системы управления складом, которая автоматизирует ручные процессы и сбор данных, управление запасами и поддерживает анализ данных. Эти системы интегрируются с другими решениями, например, роботами, для эффективного управления и автоматизации задач в рамках различных функций бизнеса и цепочки поставок. WMS передает роботам информацию о том, откуда и в каком количестве необходимо взять товар и в какую точку склада его доставить.

Существует широкий спектр доступных складских технологий и систем по автоматизации. Подробнее рассмотрим основные роботизированные технологии, которые уже успели показать положительные результаты в применении. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Роботизированные технологии

Технология	Описание
AGV	Автоматически управляемое транспортное средство (AGV) - AGV, такие как самодвижущиеся вилочные погрузчики, которые транспортируют товар из одного места в другое на складе. Они часто используются для транспортировки сырья, такого как металл, пластик, резина или бумага. Однако AGV ограничен движением по фиксированному маршруту. Робот может обнаружить препятствия перед собой, но не может их объехать, пока препятствие не будет устранено
AMR	Автономные мобильные роботы (AMR) - автономные мобильные роботы похожи на AGV тем, что они автономно перемещают инвентарь и материалы по складу. В отличие от AGV, которые движутся по фиксированным маршрутам, AMR могут создавать свои собственные маршруты, которые его программное обеспечение строит на месте, полагаясь на датчики, при необходимости и избегать любых препятствий на своем пути, включая людей. Это делает их гибкой и безопасной альтернативой AGV
AS/RS	Автоматизированная система хранения и извлечения (ASRS или AS / RS) состоит из множества управляемых компьютером систем для автоматического размещения и извлечения грузов из определенных мест хранения. Как правило, автоматизированные системы хранения используются, ко-

	гда необходимо быстро и точно перемещать большие объемы грузов
Goods-to-person (GTP)	Система «товар к человеку» — это современный метод выполнения заказов, сочетающий автоматизированное хранение с точными, эргономичными процессами комплектации. Когда необходимо выполнить новый заказ, автоматизированные системы хранения и извлечения (AS/RS) и мобильные роботы забирают товары из мест хранения и доставляют их на соответствующее рабочее место. В зависимости от размера товара, рабочее место может представлять собой систему на основе паллета и включать горизонтальные или вертикальные карусели
Дроны и RFID-метки	Дроны, сканируя радиометки (RFID), позволяют легко оптимизировать процессы инвентаризации на складе до 50% быстрее. Они могут автоматически подключаться к WMS для доступа к существующей информации об инвентаризации. Дронам не нужны маркеры или лазеры для наведения. Для навигации по складам они используют оптические системы и системы компьютерного зрения. Технология – идеальное решение для складов открытого хранения, что актуально для компаний, работающих в сложных климатических условиях.

Источник: составлено автором на основании источников [3-8]

Как видно по табл. 1, описанные технологии направлены на уменьшение влияния человека на процессы, что, в свою очередь, должно обеспечить безопасность как персоналу компании, так и товару, защищая его от непредвиденных повреждений, которые могут быть нанесены с использованием ручного оборудования. Мобильные роботы помогают сократить количество ошибок, которые обычно совершаются сотрудниками компании из-за невнимательности. По данным исследования GE Digital [15], 23% всех незапланированных простоев на производстве являются результатом человеческой ошибки.

Стоимость автоматизации склада с помощью роботизированных технологий варьируется в зависимости от уровня и типа автоматизации. Согласно исследованию «Глобальный рынок автоматизации складов - прогноз до 2025 года», AGV/AMR и системы комплектации, которые представлены в виде технологии GTP, оснащенной системами pick-to-light (сборка по световой индикации) или pick-to-voice (голосовая сборка), будут приносить более четверти общего дохода, что обусловлено ростом спроса на более быстрое и надежное выполнение заказов [9]. Вилочные погрузчики и тележки для поддонов уже много лет выполняют погрузочно-разгрузочные работы. Однако склады ускоряют эти процессы, внедряя автоматизированные транспортные средства AGV/AMR, такие как автоматические вилочные погрузчики. Эти технологии являются наиболее востребованными на рынке складских систем. Растущая популярность автономных управляемых транспортных средств обусловлена не только их техническими характеристиками, но и способностью к кооперации с другими системами автоматизации.

Рассмотрим детальный анализ технологий AGV/AMR, наиболее популярные типы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Описание технологий AGV/AMR

№	Преимущества	Недостатки	Ценовой диапазон
Описание технологии			
AGV транспортёры штучных грузов (unit load vehicles)			
1	<p>AGV транспортёры штучных грузов предназначены для одновременной перевозки одной или нескольких единиц груза на конвейеры, стенды, конечное оборудование (укладчики на поддоны, упаковщики, роботы), а также автоматизированные системы хранения и извлечения (AS/RS) и обратно. Типы AGV штучных грузов:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Роликовые конвейеры. ▪ Цепные конвейеры. ▪ Подъемные платформы. ▪ Ленточные конвейеры. 		
	Легко перемещаются по окружающей среде и могут работать в ограниченном пространстве.	Отсутствие гибкости из-за системы наведения. AMR ограничены по грузоподъемности, в связи с чем применение технологии может быть ограничено в зависимости от типа предприятия.	40 000,00\$ - 55 000,00\$
AGV тягачи (towing vehicles)			
2	<p>AGV тягачи - также буксировщики используются для транспортировки тяжелых грузов по заранее определенным, дальним маршрутам и могут останавливаться несколько раз по пути на пунктах сдачи и приема груза. Такие AGV обычно оснащаются магнитной или оптической навигацией, либо навигацией с помощью LiDAR-датчиков. Тягачи имеют грузоподъемность от 4 до 25 т и применяются для обеспечения внешних перевозок склада, а также для работы в зоне погрузки и выгрузки грузов</p>		
	Возможность перемещать значительно больше грузов с помощью нескольких прицепов, чем с помощью одного вилочного погрузчика.	Поскольку буксирующий робот AGV содержит несколько тележек, отсутствует общая система безопасности и взаимодействия. Отсутствие гибкости из-за системы наведения.	25 000,00\$ - 50 000,00\$
Узкопроходные штабелеры VNA AGV			
3	<p>AGV (VNA - Very Narrow Aisle) с очень узкой шириной прохода: VNA специально разработаны для перевозки более тяжелых грузов и отлично подходят для складов, которые используют большое вертикальное пространство для хранения и состоят из множества узких проходов.</p>		

	<p>Уменьшенная ширина прохода, поэтому больше вместимость склада.</p> <p>Возможность захвата материала на 180°</p> <p>Поскольку VNA AGV полностью автоматизированы, они уменьшают повреждение продукции или стеллажей, которое может произойти при использовании оборудования с ручным управлением.</p>	<p>Для выполнения задач вне прохода им потребуются другие типы AGV, что приведет к увеличению инвестиций.</p> <p>Отсутствие гибкости из-за системы наведения.</p>	<p>150 000,00\$ - 200 000,00\$</p>
AMR робот-сборщик с роботизированной рукой			
	<p>Тип AMR, который включает в себя интеллектуальную роботизированную руку для сбора или перемещения материалов на мобильной платформе. Руки можно использовать на рабочей станции Goods-to-Person (GTP) или устанавливать на мобильном роботе для процесса комплектации.</p>		
4	<p>AMR позволяют складам сократить трудозатраты и позволяют работникам сосредоточиться на более важных задачах.</p> <p>Повышенная безопасность для работников. Многие предприятия используют AMR для задач, которые могут быть вредны или невозможны для людей.</p>	<p>AMR ограничены по грузоподъемности, в связи с чем применение технологии может быть ограничено в зависимости от типа предприятия.</p>	<p>40 000,00\$- 50 000,00\$</p>
AMR вилочный погрузчик			
	<p>AMR вилочный погрузчик подобно ручному вилочному погрузчику собирает паллет/коробки с полок и несет их к рабочим местам для упаковки, где операторы выполняют комплектацию.</p>		
5	<p>Подходит для складов как с низкой пропускной способностью, так и с высокой.</p> <p>Сокращает количество ошибок при комплектации, повышая скорость и эффективность.</p>	<p>Из соображений безопасности робот имеет небольшую скорость движения (в среднем до 7 км/ч), по сравнению с классическим ручным погрузчиком.</p> <p>AMR ограничены по грузоподъемности, в связи с чем применение технологии может быть ограничено в зависимости от типа предприятия.</p>	<p>15 000,00\$ - 45 000,00\$</p>
AMR транспортная тележка			
	<p>Робот транспортная тележка или мобильный стеллаж доставляют товар с помощью стеллажной системы на рабочие места пользователей или к системе GTP.</p>		
6	<p>Легко интегрируется в существующую инфраструктуру, независимо от того, есть ли на складе неровные полы, низкие потолки или другие проблемы с оборудованием.</p>	<p>Ограничения вертикального подъема.</p> <p>AMR ограничены по грузоподъемности, в связи с чем применение технологии может быть</p>	<p>15 000,00\$ - 45 000,00\$</p>

<p>Используя уникальную комбинацию AMR и GTP, эта система оптимизирует функции склада, начиная с получения и хранения входящих заказов и заканчивая сбором и обработкой исходящих заказов. Повышенная гибкость. AMR динамически оценивают свое окружение и реагируют на него, выполняя различные задачи — и все это без непосредственного контроля оператора.</p>	<p>ограничено в зависимости от типа предприятия.</p>	
---	--	--

Источник: составлено автором на основании источников [10,11]

Как видно из табл. 2, каждый тип технологии имеет свои преимущества и недостатки. Каждый из этих типов имеет свою область применения, например, узкопроходные штабелеры VNA AGV используются при работе с набивными (глубинными) стеллажами, включая технологию AS/RS, в то время как AGV тягачи работают для транспортировки тяжелых грузов по заранее определенным, дальним маршрутам и не участвуют в размещении и отборе товара из стеллажей. Результаты показывают, что технология мобильных роботов очень чувствительна к системе наведения. При внедрении необходимо обратить внимание на планирование склада и путей движения. В качестве важного направления оптимизации нужно учитывать распределение мест хранения, которое напрямую влияет на общее время / расстояние в пути роботов и, следовательно, на эффективность комплектования заказов.

Особенно актуально применение роботизированных технологий в складской логистике, так как логистические задачи должны выполняться распределено, динамично и автономно. Внедрение роботов в производственные и логистические процессы (которые также работают вместе с людьми-операторами) открывает возможность использования роботов для более широкого спектра задач. В табл. 3 представлены основные складские процессы и применимые для них технологии.

Таблица 3

Применение технологий в складских процессах

Наименование процесса	Технология
Приемка	Технология GTP: Конвейер с встроенными весами и сканеры штрих-кодов. Роботы AGV/AMR.
Извлечение и хранение	Автоматизированная система хранения и извлечения (ASRS или AS / RS) карусели. AGVs/AMRs для перемещения паллет, поддоны и стеллажи. Карусельные системы хранения.
Комплектация, упаковка и обработка заказов	Товары для человека (GTP). Роботы AGV/AMR для комплектации паллет. Карусельные системы. Системы Pick-to-Light и Pick-by-Voice.
Отгрузка	AGV/AMR для погрузки. Конвейерные системы.

Источник: составлено автором

Данные табл. 3 показывают, что роботизированные технологии охватывают все складские процессы, что делает их наиболее востребованными для автоматизации склада. Однако, при внедрении стоит учитывать особенности компании, сферу деятельности, количество активных SKU, а также размер складского комплекса. Таким образом, чтобы определить правильное решение, компании должны классифицировать типы складских операций, которые соответствуют их бизнес-модели. В табл. 4 выполнена оценка технологий с точки зрения эффективности их применения в разрезе складской классификации.

Обозначения:

++ – технология подходит под тип склада;

+ – технология может быть использована, но использование функционала не рационально;

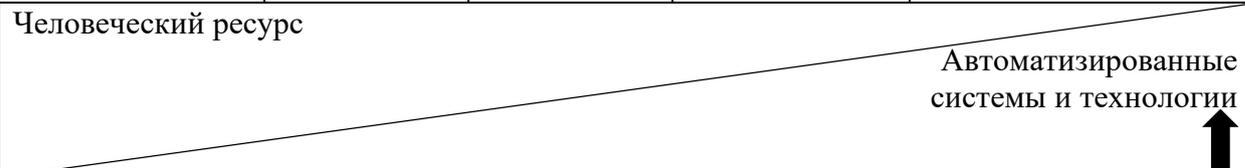
0 – применение технологии не рационально.

Таблица 4

Эффективность использования роботизированных технологий

Технология	Классификация складов и распределительных центров			
	Средняя загрузка и не-	Низкая нагрузка и	Средняя загрузка со	Высокая загрузка и дифференцированный

	большой ассортимент SKU	средний ас- сортимент SKU	средним ас- сортиментом SKU	ассортимент с боль- шим количеством SKU
WMS-система	++	++	++	++
Pick-by-voice/ pick-to-light	+	++	++	++
Конвейерные системы и кару- сели	0	0	++	++
Роботы AGV	+	+	++	++
Мобильные ро- боты AMR	+	+	++	++
Дроны	0	0	++	++
Простая система хранения AS/RS	0	+	++	+
Модульные кон- струкции GTP	0	0	++	++
Многомодульная система хране- ния AS/RS	0	0	+	++
Человеческий ресурс	Автоматизированные системы и технологии			



Источник: составлено автором на основании источников [18,19]

Как видно из табл. 4, то для складов и распределительных центров с низкой нагрузкой не подходят многомодульные конструкции технологий GTP и AS/RS. Эти системы разрабатываются для максимизации пропускной способности компаний с большим потоком, чтобы предприятия могли быстрее обрабатывать больше заказов. Особенно это актуально для e-commerce. Многомодульные технологии ориентированы на склады с высокой пропускной способностью. Они будут неэффективны, как с точки зрения нераскрытого функционала, так и стоимости внедрения, если установить такую систему для предприятия с низкой нагрузкой. Для предприятий, как с низкой, так и высокой пропускной способностью базовым необходимым решением является система WMS, которая может быть интегрирована с технологиями «умной» сборки: pick-by-voice/ pick-to-light, и другими роботизированными технологиями, что делает ее неотъемлемой частью любого современного склада. Стоит отметить, что мобильные роботы могут быть применимы во всех типах складов, что делает их наиболее универсальной роботизированной технологией. Например, комбинация различных технологий с роботами AGV/AMR объединяет динамические логистические преимущества мобильных роботов с гибкостью роботизированных технологий для более широкого использования между процессами от приёмки товара до комплектации. Это также может повысить эффективность работы производственного персонала. Это особенно важно для операции по выполнению заказов, которые обрабатывают большие объемы небольших интернет-заказов, адресованных потребителю.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Подводя итог, можно сказать, что роботизированные системы все чаще применяются в распределительных центрах. Они обеспечивают гибкость в управлении изменяющимися требованиями спроса и способны работать 24 часа в сутки 7 дней в неделю. Это делает их особенно подходящими для операций электронной коммерции. В логистике существует несколько типов складских роботов, предлагающих различные функциональные возмож-

ности, что позволяет складам выбирать робототехнические решения, которые помогают в различных процессах, таких как сбор заказов и перемещение запасов по всему складу. При проектировании и планировании склада необходимо принимать решения вокруг выбора аппаратного обеспечения склада. Основной целью тут является максимизация пропускной способности. На выбор технологии влияют несколько переменных решений, такие как конфигурация физической схемы склада (например, количество проходов, глубина каждого прохода и количество ярусов). Также необходимо взять в расчет количество роботов и подъемников, расположение точек загрузки / разгрузки и рабочих мест. Основное внимание стоит уделять решениям, которые не будут подвергаться изменениям после внедрения системы. Для складов и распределительных центров с высокой пропускной способностью рекомендуется использовать многомодульные роботизированные системы.

Для компаний электронной коммерции, которые имеют склад с большим ассортиментом товаров, выполнение заказов может быть непростой задачей. Для таких компаний рекомендуется использовать роботизированные мобильные системы комплектации. Система особенно подходит для распределительных центров электронной коммерции, которые справляются с резкими колебаниями спроса и ассортиментом мелких продуктов. Технология очень гибкая в плане пропускной способности, поскольку можно добавлять больше мобильных роботов.

Таким образом, принимая во внимание растущие потребности бизнеса, технологии продолжают совершенствоваться, и робототехника может быть специализирована для различных операций под определенные требования каждого бизнеса. Хотя использование робототехнических систем уже давно стало стандартом в обрабатывающей промышленности, внутренней логистике еще предстоит наверстать упущенное.

Литература

1. Abby Jenkins Warehouse Automation Explained: Types, Benefits & Best Practices // 2020 // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/warehouse-automation.shtml#:~:text=Warehouse%20automation%20works%20by%20using,your%20facilities%20meet%20customer%20demand>. (дата обращения 03.02.2022).
2. В 2021 Г В DECATHLON РАЗВЕРНУТА КРУПНЕЙШАЯ В РОССИИ СИСТЕМА РОБОТИЗАЦИИ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://nissa-eng.ru/keysy/sklady/decatlron-roboty-2021/> (дата обращения 03.02.2022).
3. Sabattini, Lorenzo & Digani, Valerio & Secchi Technological roadmap to boost the introduction of AGVs in industrial applications. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/261210001_Technological_roadmap_to_boost_the_introduction_of_AGVs_in_industrial_applications (дата обращения 03.02.2022).
4. Cupek R. et al. (2020) Autonomous Guided Vehicles for Smart Industries – The State-of-the-Art and Research Challenges. In: Krzhizhanovskaya V.V. et al. (eds) Computational Science – ICCS 2020. ICCS 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12141. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50426-7_25 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50426-7_25 (дата обращения 03.02.2022).
5. Marta C. Mora, Leopoldo Armesto, Josep Tornero, MANAGEMENT AND TRANSPORT AUTOMATION IN WAREHOUSES BASED ON AUTO-GUIDED VEHICLES, IFAC Proceedings Volumes, Volume 39, Issue 15, 2006, Pages 671-676, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016385913> (дата обращения 03.02.2022).
6. Xiang T.R. Kong, George Q. Huang, Meng L. Du A Physical Emulation Model of Cellular Warehousing for E-commerce Logistics, Procedia CIRP, Volume 83, 2019, Pages 339-344, [Электронный ресурс] / Режим доступа:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119304007> (дата обращения 03.02.2022).
7. Azadeh, Kaveh and de Koster, M.B.M. René and Roy, Debjit, Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments (May 30, 2017). [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ssrn.com/abstract=2977779> или <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2977779> (дата обращения 03.02.2022).
8. Azadeh, Kaveh and Roy, Debjit and de Koster, M.B.M. René, Design, Modeling, and Analysis of Vertical Robotic Storage and Retrieval Systems (December 21, 2016). ERIM Report Series, [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ssrn.com/abstract=2888615> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2888615> (дата обращения 03.02.2022).
9. Warehouse Automation: Rise of Warehouse Robots // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.roboticsbusinessreview.com/wp-content/uploads/2019/10/RiseOfTheWarehouseRobots-LogisticsIQ.pdf> (дата обращения 10.02.2022).
10. GV vs. AMR - What's the Difference? // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.mobile-industrial-robots.com/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/> (дата обращения 10.02.2022).
11. Robotics 101: A Complete Guide to Warehouse Robots by Application // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.meilirobots.com/resources-list/robot-guide> (дата обращения 10.02.2022).
12. AGV in Hospitals. Autonomous Mobile Robots Disrupting Healthcare Automation // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.agvnetwork.com/Automation-Hospitals-AGV-Autonomous-Mobile-Robots>
13. Tanya Garcia, “Walmart to invest nearly \$14 billion in automation and other business areas in fiscal 2022,” MarketWatch, February 22, 2021, marketwatch.com. (дата обращения: 02.02.2022).
14. “Retailer ASOS to spend \$100M to automate Georgia warehouse,” U.S. News, July 12, 2021, usnews.com. (дата обращения: 02.02.2022).
15. Human Error is More Common Cause of Unplanned Downtime in Manufacturing Than Any Other Sector, According to New Research [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.businesswire.com/news/home/20171106006370/en/Human-Error-Common-Unplanned-Downtime-Manufacturing-Sector> (дата обращения: 02.02.2022).
16. Технологии робототехники // Департамент инвестиционной и промышленной политики города Москвы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://apr.moscow/content/data/4/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf> (дата обращения: 12.02.2022).
17. Аймешева Жаннат Салаватовна Перспективы внедрения роботизированной инфраструктуры в логистическую систему электронной коммерции // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2020. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vnedreniya-robotizirovannoy-infrastruktury-v-logisticheskuyu-sistemu-elektronnoy-kommertsii> (дата обращения: 12.02.2022).
18. Nils Boysen, René de Koster, Felix Weidinger Warehousing in the e-commerce era: A survey // European Journal of Operational Research. – 2019. – Volume277(Issue2). – Pages 396-411. (дата обращения: 02.03.2022).
19. Value-driven warehouse automation // Accenture. – 2021. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-156/Accenture-Value-Driven-Warehouse-Automation-Final.pdf (дата обращения: 02.03.2022).