

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа инженерного предпринимательства  
Направление подготовки: 27.04.05 Инноватика

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

<b>Тема работы</b>
<b>Проектирование архитектуры цифрового двойника логистической системы</b>

УДК 005.54:004:336

Студент

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ЗНМ01	Дашпылова М.В.		

Руководитель

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Калашникова Т.В.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Социальная ответственность»

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Черепанова Н.В.	к. философ. н.		

Нормоконтроль

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Программист	Долматова А.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

<b>Руководитель ООП</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Антонова И.С.	к.э.н., доцент		

**Планируемые результаты освоения ООП  
27.04.05 Инноватика (Инженерное предпринимательство)**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен решать профессиональные задачи на основе истории и философии нововведений, математических методов и моделей для управления инновациями, компьютерных технологий в инновационной сфере
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен выбрать (разработать) технологию осуществления (коммерциализации) результатов научного исследования (разработки)
ПК(У)-2	Способен организовать работу творческого коллектива для достижения поставленной научной цели, находить и принимать управленческие решения, оценивать качество и результативность труда, затраты и результаты деятельности научно-производственного коллектива
ПК(У)-3	Способен произвести оценку экономического потенциала инновации, затрат на реализацию научно-исследовательского проекта
ПК(У)-4	Способен найти (выбрать) оптимальные решения при создании новой наукоемкой продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и экологической безопасности
ПК(У)-5	Способен разработать план и программу организации инновационной деятельности научно-производственного подразделения, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов и программ
ПК(У)-6	Способен применять теории и методы теоретической и прикладной инноватики, систем и стратегий управления, управления качеством инновационных проектов
ПК(У)-7	Способен выбрать (или разработать) технологию осуществления научного эксперимента (исследования), оценить затраты и организовать его осуществление
ПК(У)-8	Способен выполнить анализ результатов научного эксперимента с использованием соответствующих методов и инструментов обработки
ПК(У)-9	Способен представить (опубликовать) результат научного исследования на конференции или в печатном издании, в том числе на иностранном языке

ПК(У)-10	Способен критически анализировать современные проблемы инноватики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать соответствующие методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
ПК(У)-11	Способен руководить практической, лабораторной и научно-исследовательской работой студентов, проводить учебные занятия в соответствующей области
ПК(У)-12	Способен применять, адаптировать, совершенствовать и разрабатывать инновационные образовательные технологии
<b>Дополнительно сформированные профессиональные компетенции университета в соответствии с анализом трудовых функций выбранных обобщенных трудовых функций профессиональных стандартов, мирового опыта и опыта организации</b>	
ДПК(У)-1	Проводить аудит и анализ производственных процессов с целью уменьшения производственных потерь и повышения качества выпускаемого продукта
ДПК(У)-2	Разрабатывать программы коммерциализации и маркетинга инновационных проектов на основе комплексного анализа рынка

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа инженерного предпринимательства

Направление подготовки 27.04.05 Инноватика / Инженерное предпринимательство

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) И.С. Антонова  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы/магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
ЗНМ01	Дашпылова Мирослава Витальевна

Тема работы:

**Проектирование архитектуры цифрового двойника логистической системы**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.12.2020 N349-58/с (в ред. Приказа N108-25/с от 18.04.2022)
--	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2022
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

<b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	1. Научно-методические источники 2. Нормативно-законодательные акты 3. Материалы НИРМ и преддипломной практики 4. Информационные источники
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	1. Выявление теоретических и практических основ формирования технологии цифрового двойника и его преимуществ 2. Выполнения анализа существующих решений цифровых двойников на мировом и российском уровне 3. Проведение анализа процессов логистической системы, выявление ее основных проблем 4. Выявление целевой аудитории и разработка методов продвижения продукта 5. Оценка экономической эффективности проекта
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	Рисунок 1 – Эволюция концепции цифровых двойников

	<p>Рисунок 2 - Базовая концепция цифрового двойника</p> <p>Рисунок 3 - Границы понятия ЦД в современных публикациях</p> <p>Рисунок 4 - Процесс создания продукта на разных этапах жизненного процесса</p> <p>Рисунок 5 - Структура участников опроса (верхняя часть) и ответы респондентов соответствующих индустрий на вопрос о стадии/планах по внедрению ЦД (нижняя часть)</p> <p>Рисунок 6 - Вариант взаимодействия «умных» устройств с облачным сервисом</p> <p>Рисунок 7 - Логистические процессы на складе</p> <p>Рисунок 8 - Блок нотации IDEF0</p> <p>Рисунок 9 - Диаграмма А-0 «Организация процессов складской логистики»</p> <p>Рисунок 10 - Диаграмма второго уровня «Организация процессов складской логистики»</p> <p>Рисунок 11 - Декомпозиция второго уровня «Приемка ТМЦ на склад»</p> <p>Рисунок 12 - Декомпозиция второго уровня «Хранение ТМЦ на складе»</p> <p>Рисунок 13 - Диаграмма первого уровня «Организация процессов складского логистики»</p> <p>Рисунок 14 - Декомпозиция второго уровня «Приемка ТМЦ на склад»</p> <p>Рисунок 15 - Декомпозиция второго уровня «Хранение ТМЦ на складе»</p> <p>Рисунок 16 - Системная архитектура</p> <p>Рисунок 17 - Воронка лидогенерации</p> <p>Таблица 1 - Количество результатов о ЦД в различных базах данных</p> <p>Таблица 2 - Определения цифрового двойника</p> <p>Таблица 3 - Классификация ЦД по уровню зрелости</p> <p>Таблица 4 - Ключевые поставщики технологии ЦД</p> <p>Таблица 5 - Классификации и уточняющие названия ЦД в разных публикациях</p> <p>Таблица 6 - Материальные ресурсы компании</p> <p>Таблица 7 - Сотрудники компании</p> <p>Таблица 8 - Бизнес-модель Оствервальдера</p> <p>Таблица 9 - Сотрудники компании</p> <p>Таблица 10 - Определение целей КСО на предприятии</p> <p>Таблица 11 - Определение стейкхолдеров программ КСО</p> <p>Таблица 12 - Определение элементов программы КСО</p> <p>Таблица 13 - Затраты на мероприятия КСО</p> <p>Таблица 14 - Оценка эффективности мероприятий КСО</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Черепанова Н.В., к.философ.н., доцент</p>
<p>«ВКР на английском языке»</p>	<p>Коротченко Т. В., к.филол.н., доцент</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Введение Глава 1. Общая характеристика концепции цифровых двойников Глава 2. Анализ процессов логистической системы</p>	<p>1. Digital Twin 2. Stages of implementation of DT 3. Implementation of DT in logistics</p>

Глава 3. Бизнес-идея проекта по внедрению ЦД в складскую логистику Глава 4. Социальная ответственность Заключение	
---	--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калашникова Т. В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ЗНМО1	Дашпылова Мирослава Витальевна		

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа инженерного предпринимательства  
Направление подготовки 27.04.05 Инноватика / Инженерное предпринимательство  
Уровень образования магистратура  
Период выполнения: осенний/весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, магистерская диссертация)

**Тема работы**

**Проектирование архитектуры цифрового двойника логистической системы**

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**

**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.09.2021	Разработка теоретических аспектов ...Обоснование научной новизны	20
20.12.2021	Описание объекта исследования, анализ финансовых показателей ...	20
14.04.2022	Подготовка практико-ориентированных ...	40
1.06.2022	Социальная ответственность	10
1.06.2022	Раздел на английском языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Калашникова Т.В.	к.т.н., доцент		

Принял студент:

ФИО	Подпись	Дата
Дашпылова М.В.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антонова И.С.	к.э.н., доцент		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 87 страниц, 17 рисунков, 14 таблиц, 36 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: цифровой двойник, цифровой близнец, логистическая система, складская логистика.

Объектом исследования является цифровой двойник.

Предмет исследования – внедрение цифрового двойника в складскую логистику.

Цель работы заключается в разработке стартапа по созданию архитектуры складской логистики с внедрением цифрового двойника.

В процессе исследования проводился анализ и систематизация информации по предмету и объекту исследования, были применены такие методы научного познания, как методы анализа и синтеза информации, ее описание и классификация.

В результате работы создана модель логистических процессов в нотации IDEF0, выявлены основные проблемы на складах, сформулированы требования к цифровому двойнику, разработана его системная архитектура. Для реализации стартап проекта произведена оценка экономической эффективности выбрана модель патентования и бизнес-модель, также предложена дальнейшая стратегия продвижения продукта.

Теоретическая значимость исследования заключается в формировании своего варианта трактовки понятия цифрового двойника на основе обзора и анализа существующих терминов. Практическая значимость заключается в выявлении слабых мест складской логистики, а также в формулировании уникального торгового предложения стартапа с проработкой каналов его продвижения.



## Оглавление

Введение.....	11
1 Общая характеристика концепции цифровых двойников .....	14
1.1 Определение цифрового двойника и его классификация.....	14
1.2 Применение существующих решений цифровых двойников .....	23
1.3 Технологическая составляющая цифрового двойника .....	27
2 Анализ процессов логистической системы .....	31
2.1 Применение цифровых двойников в логистике .....	31
2.2 Технологические процессы логистической системы .....	34
2.3 Разработка системной архитектуры.....	43
3 Бизнес-идея проекта по внедрению ЦД в складскую логистику .....	46
3.1 Характеристика проекта.....	46
3.2 Анализ рынка цифровых двойников.....	48
3.3 Оценка экономической эффективности .....	51
3.4 Бизнес-модель.....	57
3.5 Целевая аудитория и способы продвижения продукта.....	58
4 Социальная ответственность .....	64
4.1 Сущность корпоративной социальной ответственности .....	64
4.2 Определение целей и задач программы КСО .....	65
4.3 Определение стейкхолдеров программ КСО .....	66
4.4 Определение элементов программы КСО .....	67
4.5 Затраты на мероприятия КСО.....	68
4.6 Ожидаемая эффективность программ КСО .....	69
4.7 Оценка эффективности программ и выработка рекомендаций .....	70

Заключение .....	72
Список используемых источников .....	74
Приложение А Финансовый план .....	79
Приложение Б Раздел на иностранном языке .....	80

## **Введение**

Современный мир ускорил процессы цифровизации мировой экономики, развитие четвертой промышленной революции и переход на новый технологический уклад. Мир и экономическая среда для бизнеса стали нелинейными. В этих условиях принятие управленческих решений на основе прошлого опыта становится неэффективным, требуются новые подходы, базирующиеся на использовании данных, что в свою очередь, становится основой для цифровой трансформации компаний.

Любая коммерческая организация стремится к конкурентному преимуществу на рынке. Один из способов этого добиться – проектировать и формировать свои цепочки поставок максимально эффективным способом. Принятие оперативных и точных решений возможно на основе правильной оценки ситуации и обнаружении недостатков и отклонений в цепях поставок. Одним из конкурентных преимуществ, решающих ключевые проблемы, является внедрение современных информационных технологий на предприятия.

Важную роль в цифровой трансформации цепей поставок играют цифровые двойники (Digital Twin – DT). Цифровые двойники объединяют искусственный интеллект, машинное обучение и программный анализ с графами пространственных сетей для создания живых цифровых имитационных моделей, которые обновляются и изменяются по мере изменения их физических аналогов.

Объектом исследования является технология цифрового двойника.

Предмет исследования – внедрение цифрового двойника в складскую логистику.

Цель работы заключается в разработке стартапа по созданию архитектуры складской логистики с внедрением цифрового двойника.

Исходя из поставленной цели, необходимо выполнить следующие задачи:

- Произвести анализ технологии цифровых двойников, выявить преимущества технологии.
- Выполнить анализ существующих решений цифровых двойников на мировом и российском рынке.
- Произвести анализ процессов логистической системы, выявить основные проблемы.
- Сформировать этапы по созданию и реализации будущего продукта.
- Выявить целевую аудиторию и разработать методы продвижения продукта.
- Оценить экономическую эффективность проекта.

В ходе исследования проводился анализ и систематизация информации по предмету и объекту исследования, были применены такие методы научного познания, как методы анализа и синтеза информации, ее описание и классификация.

Научная новизна исследования заключается в формировании своего варианта трактовки понятия цифрового двойника, на основе обзора и анализа существующих терминов.

Практическая значимость результатов заключается в выявлении слабых мест складской логистики, а также в формулировании уникального торгового предложения стартапа с проработкой каналов его продвижения.

Методической базой работы является исследование и анализ научной литературы, поиск, разбор и обобщение отечественной и зарубежной практики в области управления данными и управления на основе данных.

Магистерская диссертация состоит из следующих разделов: введение, три главы, заключение, список литературы и приложения.

В первой главе рассмотрены теоретические основы предметной области цифрового двойника. Проведен обзор и анализ понятий цифровых двойников, приведены существующие классификации технологии. Также исследован рынок применения цифровых двойников и разобран стек технологий, на который он опирается.

Во второй главе подробно приведены процессы логистической системы, создана модель процессов в нотации IDEF0, выявлены основные проблемы на складах, сформулированы требования к цифровому двойнику склада и разработана его системная архитектура.

В третьей главе представлена реализация стартап проекта. Рассчитаны объем и емкость рынка, произведена оценка экономической эффективности, выбрана модель патентования и бизнес-модель, также предложена дальнейшая стратегия продвижения продукта.

## **1 Общая характеристика концепции цифровых двойников**

### **1.1 Определение цифрового двойника и его классификация**

Развитие таких технологий, как интернет вещей, анализ больших данных, распределенные облачные вычисления, искусственный интеллект и VR дали толчок и оживили раннее статичные цифровые модели, придав им возможность предсказывать и имитировать будущие ситуации, состояние физических объектов и даже поведение окружающего нас мира.

Интеграция физического и цифрового мира является неизбежной тенденцией к решению быстро растущих требований современного рынка. Процессу перехода предстоит пройти долгий путь. Один из начальных этапов процесса сосредоточен на создании новейшей разработки – цифрового двойника.

Концепция использования «двойников» берет свое начало в 1960-х годах из программы NASA «Аполлон», в ходе которой были построены два идентичных космических корабля. Один из кораблей являлся наземной моделью, созданный с целью отражать все условия второго корабля, отправленного в открытый космос. Земная модель аппарата широко использовалась для тренировок при подготовке к полету. Во время миссии наземная модель использовалась для имитации максимально точного отражения условий полета и оказания помощи космонавтам на орбите в критических ситуациях.

В это время термин «цифрового двойника» был введен в дорожную карту технологий NASA, где раскрывался как интегрированная цифровая имитационная модель транспортного средства или системы, которая использует доступные физические модели, обновления датчиков, историю парка и так далее, чтобы отразить жизнь соответствующего летающего близнеца [1].

Данный случай отражает ситуацию, когда оба аппарата являлись «физическими двойниками» и лишь спустя время, когда виртуальные модели начали успешно развиваться, инженеры пришли к практике прогнозирования поведения основного аппарата на базе математического моделирования его свойств и поведения с помощью цифровой модели. Все это говорит о том, что термин цифрового двойника претерпевает эволюцию, начиная с 1960-х годов.

На рисунке 1, представлена работа авторов «Новый век производства: Технология цифрового двойника и IoT» (The New Age of Manufacturing: Digital Twin Technology & IoT), где отражена эволюция цифрового двойника.

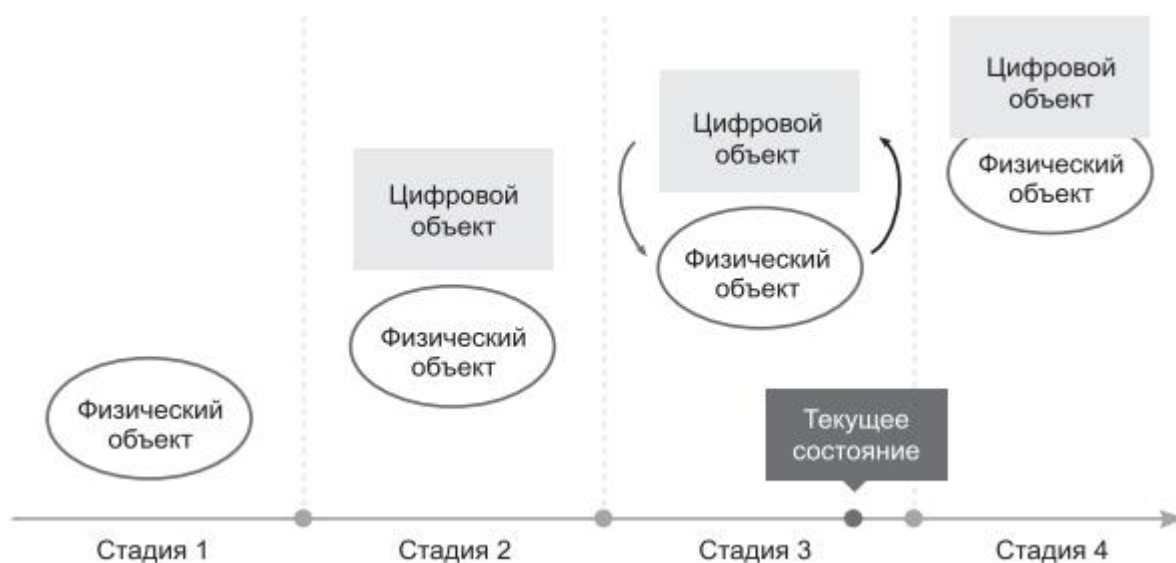


Рисунок 1 – Эволюция концепции цифровых двойников [2]

Первая стадия концепции соответствует периоду, когда физические объекты создавались без цифрового прототипа. На второй стадии искусственные объекты проектировались с помощью цифровой модели, которая использовалась только на стадии создания объекта. На третьей стадии начинается период, когда происходит взаимодействие между физическим и цифровым двойниками. И, наконец, четвертая стадия характеризуется сближением и «пересечением» физического и цифрового двойников, когда информационный обмен и обновление цифрового и физического двойников идет практически в режиме реального времени [2].

Майкл Гривс на PLM (Product Lifecycle Management) курсе в Мичиганском университете в начале 2002 года представил базовую концепцию цифрового двойника, на которую опираются большинство авторов. Суть базовой концепции технологии цифрового двойника представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Базовая концепция цифрового двойника [3]

В физический объект встроены датчики, которые собирают данные о состоянии этого объекта в реальном времени, данные отправляются цифровому двойнику; на базе полученных данных уточняется цифровая модель. Модель учитывает все изменения, происходящие с физическим объектом, накапливает информацию о его поведении, и по мере уточнения может более адекватно описывать и прогнозировать поведение физического объекта. Далее в работе будет разобрана более детальная характеристика концепции, а также применение конкретного стека технологий для эффективности реализации цифрового двойника [3].

Несмотря на то, что концепция ЦД была реализована в 1960-х годах и высказана в начале двухтысячных, она возникла не на пустом месте, а формировалась на достижениях целого ряда технологий. К моменту появления этой концепции уже реализовались практики проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа на основе (CAD/CAM/CAE-систем). Также к этому времени уже широко применялась практика использования датчиков для измерения параметров физических



объектов, необходимая для верификации и валидации соответствующих цифровых моделей.

Рассмотрим в работе эволюцию определения и представления понятия цифрового двойника через обзор литературы определений технологии.

Как было сказано ранее, развитие передовых информационных технологий привело к появлению понятия цифровых двойников. В таблице 1 отображено количество результатов поиска «цифрового двойника» в разных базах данных.

Таблица 1 – Количество результатов о ЦД в различных базах данных [5]

Год	Google Research	Google Академия	Web of Science (тема)	Web of Science (название)	Scopus (тема)	Scopus (название)
до 2003	755	74	2	1	3	2
2003 - 2010	5310	96	1	0	6	1
2011	2210	22	1	0	1	1
2012	4080	34	1	1	1	1
2013	4400	44	0	0	10	6
2014	6390	60	2	2	7	5
2015	9180	70	2	1	2	1
2016	13 600	91	4	0	6	1
2017	20 500	235	17	4	23	7
2018	31 100	805	69	26	110	50
2019	69 900	2220	224	84	324	156
2020	90 200	2120	239	129	361	177

Таким образом, можно наблюдать за ростом и интересом к концепции цифровых двойников как в промышленности, так и в научных кругах, в особенности с 2015 года.

Фиксированного определения цифрового двойника пока не существует – толкования термина в разных источниках отличаются. В ходе работы был проведен обзор определений цифрового двойника, приведенный в таблице 2.

Таблица 2 – Определения цифрового двойника

Автор	Год	Определение
Shafto et al.	2010	Интегрированная мультифизическая, многомасштабная вероятностная симуляция транспортного средства или системы, в которой используются наилучшие доступные физические модели, обновления датчиков, история парка и т. д., чтобы отразить жизнь своего летающего цифрового близнеца [6].

Продолжение таблицы 2.

Glaessgen and Stargel	2012	Связанная модель реальной машины, которая работает на облачной платформе и имитирует состояние работоспособности с интегрированными знаниями как из аналитических алгоритмов, управляемых данными, так и из других доступных физических знаний [7].
Reifsnider and Majumdar	2013	Физические модели сверхвысокой точности материалов и конструкций, определяющих срок службы автомобиля [8].
Grievess	2014	Концептуальная модель цифрового двойника [...] состоит из трех основных частей: а) физические объект в реальном пространстве, б) виртуальный объект в виртуальном пространстве и в) связи данных и информации, которые связывают виртуальные и реальные объекты вместе [9].
Rosen et al.	2015	Высоко реалистичные модели текущего состояния процесса и его поведения при взаимодействии с окружающей средой в реальном мире [10]
Schluse, Rossman	2016	Виртуальные заменители объектов реального мира, состоящие из виртуальных представлений и коммуникационных возможностей, составляющих интеллектуальные объекты, действующие как интеллектуальные узлы внутри Интернета вещей и услуг [11].
Talkhestani et al.	2018	Цифровой двойник – это виртуальная модель физического актива, способная полностью отражать его характеристики и функции на протяжении всего жизненного цикла. Это подход к управлению всеми сгенерированными цифровыми данными компонента или системы на протяжении их жизненного цикла и извлечению их по мере необходимости с помощью функций моделирования или оптимизации для решения любых возникающих проблем. [12]
ISO/ISO-AWI 23247	2019	Виртуальное представление производственных элементов, таких как персонал, продукты, активы и определения процессов, живая модель, которая постоянно обновляется и изменяется по мере изменения физического аналога для синхронного представления статуса, условий работы, геометрии продукта и состояния ресурсов [13].
Stark and Damerau	2020	Цифровой двойник – это цифровое представление активного уникального продукта (реального устройства, объекта, машины, услуги или нематериального актива) или уникальной системы продукт-услуга (система, состоящая из продукта и связанной с ним услуги), включающее в себя его выбранные характеристики, свойства, условия и поведение с помощью моделей, информации и данных в рамках одной или даже нескольких фаз жизненного цикла [14].

Как можно заметить, промышленные и научные круги трактуют термин по-разному. Определение цифрового двойника лежит между двумя крайними подходами. От определения в широком смысле, где цифровой двойник представляет собой все проекты, создающие цифровую копию

физического объекта, проекта или целой системы до наиболее специализированного наукоемкого толкования, где цифровой двойник – решение, которое должно отвечать ряду требований, направленных на повышение адекватности цифрового двойника.

Границы определения термина «Цифровой двойник» представлены на рисунке 3 [4].



Рисунок 3 – Границы понятия ЦД в современных публикациях [4]

Можно говорить, что самая широкая трактовка не имеет практического применения, так как по всей своей сути не добавляет уточнений к таким известным терминам как электронная копия, виртуальная копия. А самая узкая трактовка термина характеризует труднодостижимый, при существующих на данный момент технологиях, цифровой двойник. Таким образом, формирование термина на данный момент еще продолжается и определение цифрового двойника будет меняться по мере смены технологий.

В данной работе будем определять цифровой двойник как цифровой профиль текущего поведения физического объекта или процесса, способствующего оптимизировать эффективность бизнес-процессов предприятия.

В настоящее время не существует одной общепринятой и единственной классификации цифровых двойников. Сложность заключается в зависимости восприятия конкретного термина.

Авторы в своих трудах стремятся дать наиболее точное определение цифрового двойника в разрезе их применения в различных ситуациях в ходе чего возникает большое количество предлагаемых классификаций цифрового двойника. Далее в работе рассмотрим предлагаемые виды классификации технологии цифрового двойника.

Компания Xmpgo предлагает классификацию по уровню сложности цифрового двойника, выделяя атомарный двойник, системы из нескольких двойников и систему из нескольких систем.

Другой популярный вид классификации делит цифровой двойник на три вида [16]:

- цифровые двойники прототипы (Digital Twin Prototype, DTP). На этапе проектирования задает прототип, пока не разработанной модели с ее будущими свойствами и характеристиками.
- цифровые двойники экземпляры (Digital Twin Instance, DTI). Представляет собой копию физического объекта, которая на протяжении всего жизненного цикла сопровождает и изменяется вместе с ним.
- агрегированные экземпляры (Digital Twin Aggregate, DTA). Выступает двойником нескольких объектов, что дает ему возможность моделировать групповое поведение.

Так как к важнейшей характеристике цифрового двойника относят то, что он должен существовать на всех этапах жизненного цикла реального изделия, некоторые авторы выделяют классификацию по уровню зрелости технологии.

Таблица 3 – Классификация ЦД по уровню зрелости [1]

Уровень	Уровень сложности модели	Физ. объект	Получение данных от физ. модели
Пре-цифровой двойник (Pre-DT)	Виртуальная модель с акцентом на технологию, снижение технических рисков	не сущ.	Не применимо
Цифровой двойник (DT)	Виртуальная модель физического объекта	сущ.	Производительность, статус технического состояния, техническое обслуживание; пакетные обновления
Адаптивный цифровой двойник (Adaptive DT)	С адаптивным пользовательским интерфейсом	сущ.	Производительность, статус технического состояния, техническое обслуживание; обновления в режиме реального времени
Интеллект. ЦД (Intelligent DT)	С адаптивным пользовательским интерфейсом и с обучением с подкреплением	сущ.	Производительность, статус технического состояния, техническое обслуживание, информация об окружающей среде, обновления в режиме пакетных обновлений и в режиме реального времени

Таким образом, «предшественник ЦД» или иначе «ЦД на стадии проектирования» является цифровой моделью высокой точности, которая формируется еще на стадии изготовления физического изделия. ЦД – классический ЦД, который появляется в период формирования пары цифровой-физический двойники. Вид адаптивного цифрового двойника дает возможность изучать предпочтения/приоритеты людей-операторов в разных контекстах, с использованием алгоритма машинного обучения на основе нейронной сети. В данном случае, модели в режиме реального времени регулярно обновляются на основе данных физического двойника. Цифровой двойник в свою очередь в силах поддерживать планирование онлайн и принимать решения во время операций, технического обслуживания и поддержки. Интеллектуальный ЦД имеет все перечисленные возможности ЦД 3-го уровня (плюс способность машинного обучения без учителя). Характеризуется высокой степенью автономии, способен анализировать более

детальные данные о производительности, обслуживании и работоспособности, полученные от реальных объектов [4].

Наиболее цитируемые виды цифровых двойников приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Классификации и уточняющие названия ЦД в разных публикациях

Источник	Классификация	Наименование
17	По функции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД пассивного мониторинга (Passive monitoring DT)</li> <li>• Интерактивный ЦД (Interactive DT)</li> <li>• Предиктивный ЦД (Predictive DT)</li> </ul>
18	По типу моделируемого объекта и уровню сложности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД детали (Part DT)</li> <li>• ЦД продукта (Product DT)</li> <li>• ЦД процесса (Process DT)</li> <li>• ЦД системы (System DT)</li> </ul>
19		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД компонента (Component twin)</li> <li>• ЦД актива (Asset twin)</li> <li>• ЦД комплексного объекта (System/unit twin)</li> <li>• ЦД процесса (Process twin)</li> </ul>
20	по технологиям моделирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД, основанный на мат. моделировании (Simulation-Based DT)</li> <li>• ЦД, основанный на данных (Data-based DT)</li> <li>• Гибридный ЦД (Hybrid DT)</li> </ul>
21	по используемой технологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД-прототипы (DT Prototype)</li> <li>• ЦД-экземпляры (DT Instance)</li> <li>• Агрегированные ЦД (DT Aggregate)</li> </ul>
22	по назначению	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД надежности и целостности (Reliability and integrity DT)</li> <li>• ЦД процессов (Process DT)</li> <li>• ЦД систем управления и безопасности (Control and safety system DT)</li> </ul>
23	Эволюция ЦД	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ЦД «только статус»</li> <li>• ЦД на основе мат. моделирования</li> <li>• Операционные ЦД</li> <li>• Операционные ЦД с событиями</li> <li>• Операционные ЦД + ЦД на основе мат. моделирования</li> <li>• ЦД с бизнес-модели</li> </ul>

## 1.2 Применение существующих решений цифровых двойников

Изменения, происходящие с физическим объектом в течение его жизни, отражаются в цифровой модели, и это позволяет предсказать как и будущее данного объекта, так и будущее состояние системы, в которой он взаимодействует с другими объектами и на которую он оказывает влияние. В конечном итоге цифровые двойники могут представлять из себя любой физический объект, от наноматериалов до целых городов. В некоторых случаях даже люди и их поведение моделируются цифровыми двойниками (например, поток покупателей в магазинах).

ЦД является одной из важнейших технологий, на которые опираются проекты по цифровой трансформации. Технология дает возможность повысить конкурентные преимущества производителей промышленных изделий, позволяет выпускать продукцию быстрее, создавать прочные и более надежные, менее материалоемкие конструкции (что особенно актуально с учетом роста стоимости материалов) и быстрее выводить их на рынок. Создание подобного рода производств невозможно без использования технологии ЦД.

Цифровые двойники позволяют снизить расходы за счет смещения «центра тяжести» на стадию разработки: чем позже вносятся изменения в проект, тем изделие получается дороже, а перепроектирование и многократное внесение уточнений в проект в разы повышает как финансовые, так и временные затраты, тем самым закрывая «окно возможностей» для вывода новой продукции на рынок.

В целом аналитическая компания LNS Research выделяет следующие факторы, стимулирующие внедрение ЦД на производстве [4]:

- увеличение качества продукта,
- снижение стоимости производства,
- снижение незапланированных простоев,
- увеличение производительности,

- обеспечение безопасного производства,
- тестирование новых идей проектирования,
- улучшение продуктов,
- цифровая трансформация предприятия,
- ускорение информации о новых продуктах,
- снижение запланированных простоев,
- соответствие требованиям регуляторов,
- тренинг по новым производственным процессам,
- проектировочные изменения в производственной линии,
- обновление продукта в полевых условиях.

Если говорить о применении ЦД и снижении расходах не только на этапе проектирования, но также на всех остальных этапах жизненного цикла изделия при осуществлении задач эксплуатации, поддержки, мониторинга и утилизации, то стоит отметить, что в ходе проектирования и разработки системы гибкость (легкость, связанная с внесением изменений в конструкцию) уменьшается, соответственно, стоимость внесения этих изменений увеличивается.

Авторы Блэнчард Б.С. и Фабрички В.Ж. привели в своей работе «Система инжиниринга и анализа» (“Systems Engineering and Analysis”) пример процесса создания продукта на разных этапах жизненного цикла с понесенными затратами на его реализацию. Данный процесс по дюно представлен на рисунке 4 [25].

Можно сказать, что в начале процесса концептуального проектирования возможности внесения изменений максимальны, но по мере фиксирования технологических и архитектурных решений они снижаются. То есть, чем позже вносятся изменения в конструкцию изделия, тем большие издержки несет компания. Кривая 2 показывает процент принятых решений, определяющих выбор технологии, конфигурации, производительности и стоимости решения. В начале процесса кривая резко растет, а затем рост



замедляется, то есть основные инженерно-технологические решения фиксируются именно на начальном этапе, и они диктуют логику дальнейшего проекта. Кривая 4 (рост затрат) носит s-образный характер, так как на этапе проектирования затраты минимальны, но они резко возрастают в момент передачи изделия на производство. Кривая 3 (объем знаний о системе) тоже имеет s-образный характер, хотя стадия быстрого роста на этой кривой менее выражена [4].



Рисунок 4 – процесс создания продукта на разных этапах жизненного цикла

Рисунок демонстрирует, что перенос испытаний в стадию проектирования и возможность провести их в виртуальном пространстве (с помощью ЦД) позволяют удешевить изделие и создать его быстрее. Внедрение ЦД позволяет перенести основную часть виртуальных испытаний на начальный этап проектирования, внести максимальное число необходимых изменений на этой же стадии и тем самым сократить время, необходимое для запуска продукта при существенно меньших материальных затратах, увеличить рентабельность, что в итоге и дает возможность победить предприятию в конкурентной борьбе.

В 2018 г. Аналитическая компания LNS Research исследовала характер использования технологии ЦД. Результаты исследования отражены в статье «Forging The Digital Twin In Discrete Manufacturing». Компания опросила более

300 руководителей промышленных предприятий разных типов и представила структуру ответов респондентов соответствующих индустрий на вопрос о стадии/планах по внедрению ЦД. Структура представлена на рисунке 5.

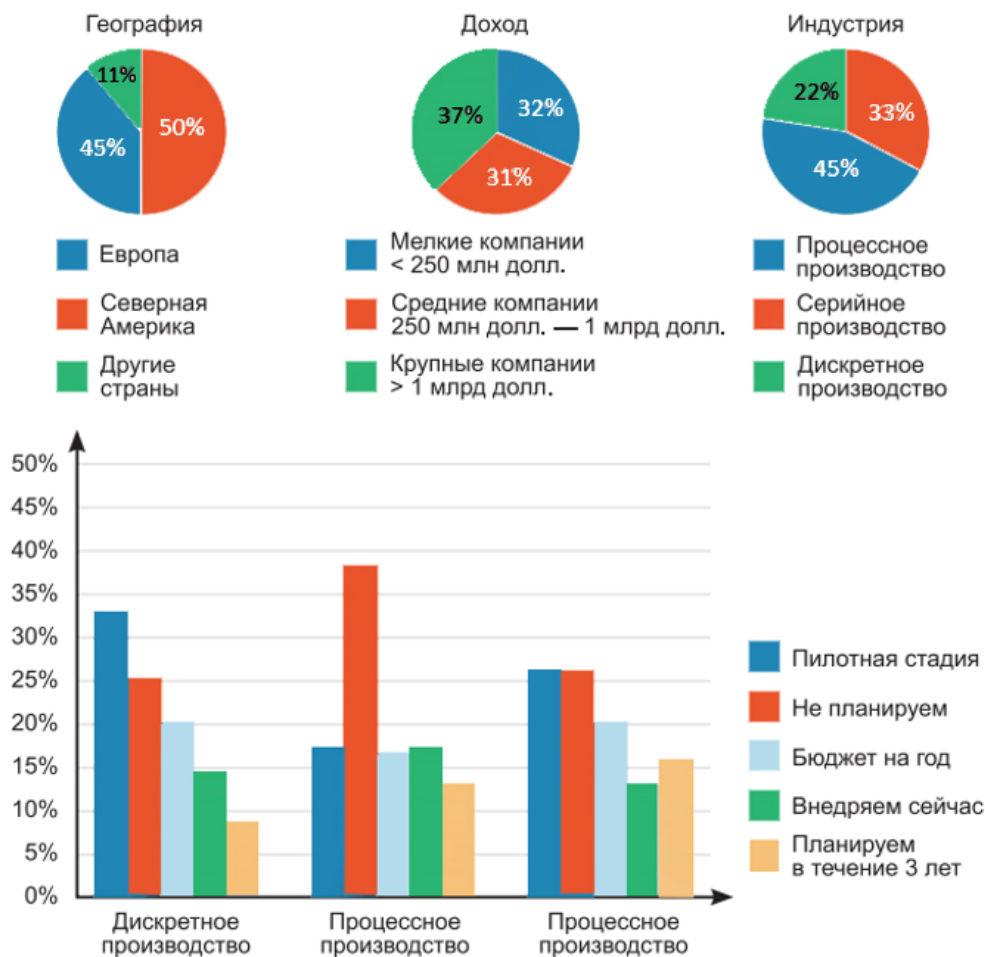


Рисунок 5 – Структура участников опроса (верхняя часть) и ответы респондентов соответствующих индустрий на вопрос о стадии/планах по внедрению ЦД (нижняя часть) [24]

В существенной мере рост рынка поддерживают примеры успешных проектов по применению ЦД для создания уникальных продуктов, реализации, показывающие возможность увеличения срока службы оборудования, снижения расходов на ремонт, в том числе примеры оптимизации ремонта в труднодоступных, удаленных местах. Как было сказано ранее, востребованность технологии ЦД растет по мере развития смежных и сопутствующих цифровых технологий: промышленного интернета вещей, облачных технологий, приложений виртуальной и дополненной

реальности, технологий аддитивного производства. Снижение стоимости и рост доступности датчиков с низким энергопотреблением, рост доступности приложений для аналитики больших данных, все большая доступность вычислительных мощностей из облака, новые возможности оптимизировать изделие под аддитивные технологии производства – все это стимулирует развитие проектов по созданию цифровых двойников. В ряде компаний построение ЦД развивается как часть стратегии цифровизации или в рамках проектов по увеличению уровня безопасности эксплуатации ответственных изделий, что также стимулирует рост рынка ЦД, который в последние годы вызывает существенный интерес

Главная цель использования цифровых двойников – это точное прогнозирование, предотвращение проблем до их возникновения и эффективное планирование на будущее.

### **1.3 Технологическая составляющая цифрового двойника**

В ходе работы был проанализирован требуемый стек технологий цифрового двойника.

Для получения максимального эффекта от использования технологии цифровых двойников, необходимо применять ее в совокупности с другими передовыми технологиями Индустрии 4.0. К ним можно отнести – интернет вещей (промышленный интернет вещей), дополненная и виртуальная реальность, аналитика данных, искусственный интеллект, облачные вычисления, большие данные, машинное обучение и другие. В комплексе данные технологии дают значимый эффект и ценность для бизнеса. Поэтапно могут подключаться различные технологии.

При этапе сборки и хранения данных.

Технология интернета вещей, а также промышленного интернета вещей является одной из важнейших поддерживающих технологий для цифрового двойника. Интернет вещей позволяет устройствам в режиме

реального времени собирать данные с физических объектов, а также общаться «умным» устройствам друг с другом. Это «оживляет» цифровой двойник, так как поставляет для него огромное количество собранных актуальных данных.

Важнейшим элементом как интернета вещей, так и промышленного интернета вещей является «умное» устройство. «Умное» устройство может состоять из датчика, радиомодуля, микро-контроллера, актуатора и источника питания. Ниже элементы «умного» устройства и их взаимодействия описаны более подробно.

Датчики (сенсоры) отвечают за сбор данных в режиме реального времени. Датчики могут быть аналоговыми, измеряющими аналоговые сигналы (например, температура в градусах Цельсия, расстояние в метрах) и цифровыми, которые имеют только два состояния: 0 и 1. После того, как данные были считаны при помощи датчиков, они преобразовываются в цифровой вид (в случае использования аналоговых датчиков) и обрабатываются микроконтроллерами и другими пограничными устройствами. Далее, данные отправляются на шлюз, который принимает радиосигнал от «умных» устройств, обрабатывает его и передает серверу. Серверы сети IoT могут быть реализованы на базе виртуального сервера, реальной машины или через облако. На рисунке ниже представлен пример взаимодействия между устройствами и сетью IoT с облачным сервером.

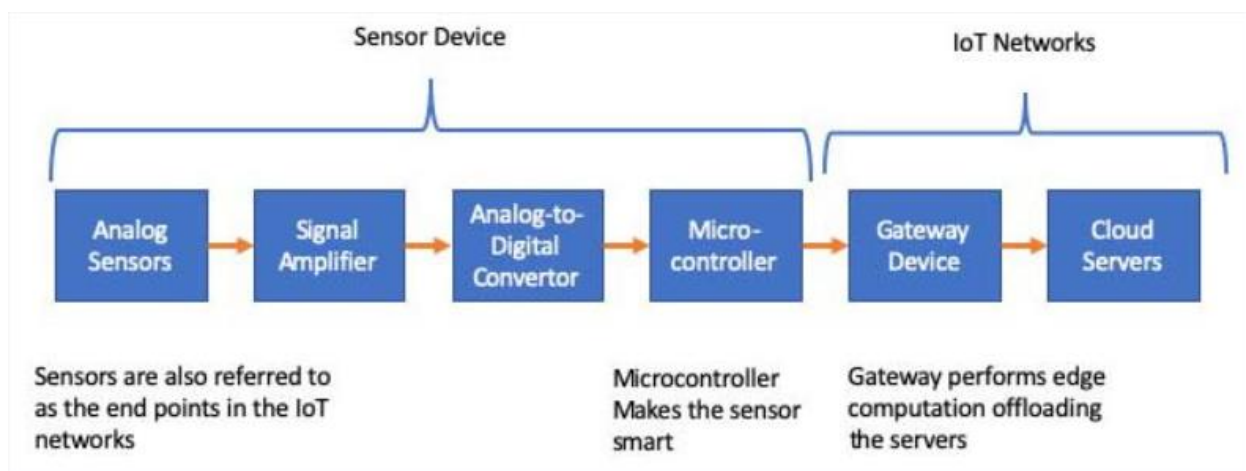


Рисунок 6 – Вариант взаимодействия "умных" устройств с облачным сервером

После обработки и анализа данных может потребоваться воздействовать каким-либо образом на элементы физического объекта. Роль исполнителей в сети IoT выполняют актуаторы.

Для хранения больших объемов данных, поступающих с датчиков в определенное время, могут использоваться как реляционные базы данных, так и базы данных временных рядов. Однако, реляционные базы данных уступают в скорости приема больших объемов данных в связи с необходимостью индексации записей, в то время как базы данных временных рядов индексируют данные, агрегированные по времени, что позволяет скорости загрузки оставаться стабильной. В качестве примеров решений для хранения временных рядов можно привести InfluxDB, Prometheus, TimeserDB, Graphite, QuestDB, AWS Timestream, OpenTSDB и другие.

Для обеспечения взаимодействия элементов сети IoT могут быть использованы следующие сети передачи данных Z-Wave, ZigBee, 6LoWPAN. Современные IoT-решения строятся на базе протоколов передачи данных (чаще MQTT и HTTP) и обеспечивают взаимодействие конечных устройств с облачными сервисами.

При этапе анализа данных.

На этапе анализа собранных данных могут подключаться различные технологии, состав которых может быть определен в соответствии с нуждами предприятия и требованиями к цифровому двойнику.

Важной технологией при рассмотрении процесса анализа данных является технология искусственного интеллекта, а также значимый подраздел искусственного интеллекта – машинное обучение. Цифровой двойник не только отражает текущее состояние физического объекта, но и имеет возможности для предиктивной аналитики. Следовательно, использование алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения предоставляет возможность для более точного анализа в сравнении с использованием традиционных методов симуляции.

При этапе моделирования.

В качестве ядра цифрового двойника может выступать имитационная модель. Многие исследователи отмечают, что проектирование цифровых двойников должно быть основано, в первую очередь, на использовании методов имитационного моделирования, обеспечивающих максимально реалистичное представление физического объекта в виртуальном мире. В качестве систем имитационного моделирования могут выступать, OpenModelica, Powersim и другие.

Что касается программного обеспечения непосредственно для расчета и моделирования логистической системы, то были найдены следующие варианты:

- AnyLogic,
- CreateaSoft,
- Mosimtec,
- Delfoi.

При этапе визуализации.

Полученные результаты анализа и моделирования данных могут быть представлены пользователю различными способами, например в виде дашборда либо иного пользовательского интерфейса.

В совокупности с цифровым двойником также может применяться технологии дополненной и виртуальной реальности (AR/VR), что позволяет сделать цифровой двойник более наглядным, а также предоставить сотрудникам возможность взаимодействовать как с самим цифровым двойником, так и с его элементами в виртуальной среде. Технологии дополненной и виртуальной реальности предоставляют дополнительные возможности для обучения и практики сотрудников, исключая любого рода риски, что является лишь некоторыми примерами применения данных технологий.

## **2 Анализ процессов логистической системы**

### **2.1 Применение цифровых двойников в логистике**

В результате проведенного системного анализа обзоров ведущих консалтинговых, аналитических и IT-компаний были выделены следующие ключевые драйверы, определяющие развитие логистики и УЦП [29]:

- Повышение точности прогнозирования спроса.
- Внедрение инновационных стратегий логистических каналов распределения для повышения конкурентоспособности.
- Повышение качества логистического сервиса и прослеживаемости цепи поставок.
- Быстрая адаптация цепей поставок после слияния или поглощения компаний, входящих в логистическую сеть.
- Улучшение сквозной прозрачности цепи поставок.
- Повышение эффективности ввода новых продуктов (брендов).
- Цифровизация логистики и цепей поставок, внедрение адаптивного УЦП для быстро меняющегося портфеля заказов.

Если говорить подробно о реализации цифровых двойников в логистической системе, то сейчас технологию можно интегрировать почти в каждый шаг цепочки поставок [30]. Ниже рассмотрим подробнее каждый из них.

#### *Упаковка*

Подавляющее большинство продуктов, которые перемещаются по логистическим сетям, делают это в той или иной форме защитной упаковки. В отрасли используется большое количество одноразовой упаковки вместе со специализированными или универсальными многоразовыми контейнерами. Проектирование, мониторинг и управление упаковкой и контейнерами создает ряд проблем для отрасли. Например, рост электронной

торговли стимулирует спрос, сезонную волатильность и разнообразие видов самой упаковки. Это, в свою очередь, приводит к увеличению отходов и снижению операционной эффективности из-за неэффективного использования объема.

Применение технологии цифровых двойников может помочь в разработке более прочных, более легких и экологически безопасных упаковочных материалов. Сейчас компании изучают возможность применения ряда новых материалов, в том числе компостируемых пластиков и материалов с высоким процентным содержанием вторичного сырья после потребления.

#### *Упаковка и контейнеры*

Если цифровой двойник отправляемого товара уже ранее создан, то данные, описывающие его геометрию, могут быть легко получены. В качестве альтернативы, данные о товаре могут быть сгенерированы при подготовке поставки с использованием трехмерного сканирования. Объединение данных о продукте и упаковке поможет компаниям повысить эффективность, например, за счет автоматизации выбора упаковки и стратегий упаковки контейнера.

#### *Склады и распределительные центры*

Цифровые двойники могут оказать значительное влияние на проектирование, эксплуатацию и оптимизацию логистической инфраструктуры, такой как склады, распределительные центры и перегрузочные устройства. Они могут объединять трехмерную модель объекта с данными IoT, собранными на подключенных платформах хранилища, а также с данными инвентаризации и эксплуатации, включая такие характеристики, как размер, количество, местоположение и спрос для каждого объекта.

Цифровые двойники складов могут поддерживать проектирование и компоновку новых продуктов, что позволяет компаниям оптимизировать



использование пространства и моделировать перемещение продуктов, персонала и погрузочно-разгрузочного оборудования.

### *Логистическая инфраструктура*

Склады и распределительные центры составляют лишь небольшую часть всей логистической инфраструктуры. Поток товаров до пункта назначения зависит от организации множества элементов цепочки поставки, включая корабли, грузовики и самолеты, системы заказов и информации и, прежде всего, людей. Эта сложная система с участием многих заинтересованных сторон наиболее отчетливо видна в крупных мировых логистических центрах, таких как аэропорты и контейнерные порты. Сегодня на этих объектах проблема эффективной работы усугубляется несовершенными системами обмена информацией, причем многие участники полагаются на автономные процессы, которые могут быть подвержены ошибкам и задержкам.

### *Глобальная логистическая сеть*

В логистике цифровой близнец будет моделью всей сети, включающей не только логистические активы, но и океаны, железнодорожные линии, шоссе, улицы, а также дома и рабочие места клиентов. Идея такого всеобъемлющего близнеца, в настоящее время во многом является стремлением для логистической отрасли [23].

Для того, чтобы цифровые близнецы и их физические прототипы могли оптимально работать вместе, у специалистов по логистике все больше возникает потребность в повышении скорости отклика, качества обслуживания, доступности и точности доставки, чтобы гарантировать, что изделие работает в оптимальной гармонии с намеченным дизайном и производительность.

В связи с тем, что проект посвящен разработке архитектуры по внедрению цифровых двойников в складскую логистику, остановимся поподробнее на данном этапе цепочки поставок.

Логистический процесс на складе представляет собой упорядоченную во времени последовательность логистических операций, интегрирующий функции снабжения запасами, переработки грузов и физического распределения заказа. На рисунке 7 представлены основные шаги складской логистики.



Рисунок 7 – Логистические процессы на складе

Для более детального исследования складской логистики и выявления ее проблем, воспроизведем бизнес-процессы организации складской логистики.

## 2.2 Технологические процессы логистической системы

Проектирование технологического процесса склада было выполнено при помощи нотации IDEF0 на платформе Ramus Edicational.

Нотация IDEF0 используется для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, связывающие эти функции [31].

В целом, описание функции происходит посредством блока. На рисунке 8 отображен типичный формат блока нотации IDEF0.

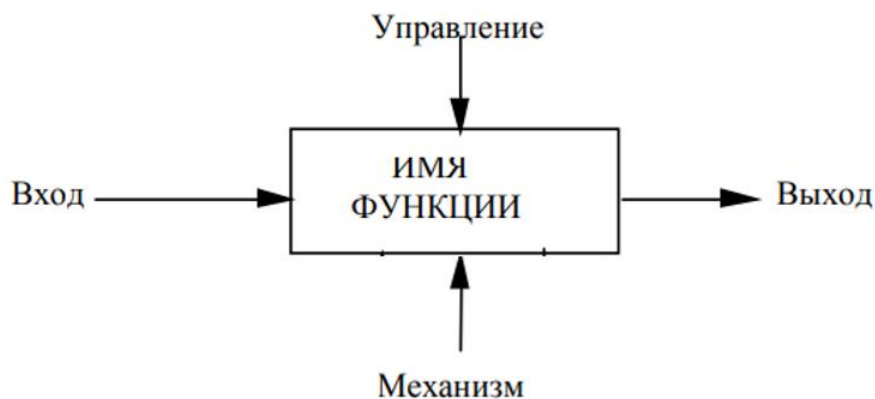


Рисунок 8 – Блок в нотации IDEF0

Приведенные стрелки могут быть:

- Входящие – вводные, которые ставят определенную задачу, данные или материальные объекты, которые преобразуются функцией в выход.
- Исходящие – выводящие результат деятельности, данные или материальные объекты, произведенные функцией.
- Управляющие (сверху вниз) – механизмы управления (положения, инструкции и пр).
- Механизмы (снизу вверх) – используется для того, чтобы произвести необходимую работу.

Схема оптимизации бизнес-процессов предприятия предполагает описание на первом этапе действующих процедур (модель бизнес-процессов "AS IS") с последующей оптимизацией до модели "TO BE" («как должно быть»).

Первым шагом, опишем процессы складской логистики при помощи нотации "AS IS". В работе представлены модель контекстной диаграммы и диаграммы декомпозиции процессов до 2 уровня [32].

На рисунке 9 отображена контекстная диаграмма процесса «Организация процесса складской логистики». Управлением процесса являются регламентирующие документы, положение о складе компании, нормативы и директивы руководства, механизмом обеспечения процесса – персонал склада, инфраструктура склада, поставщики ТМЦ, подразделение комплектации. На входе учитываются план поставок ТМЦ, товарно-материальные ценности, план продаж, товаросопроводительные документы, на выходе требуемые отчеты, отгружаемый заказ и перечень товарораспределительных документов.

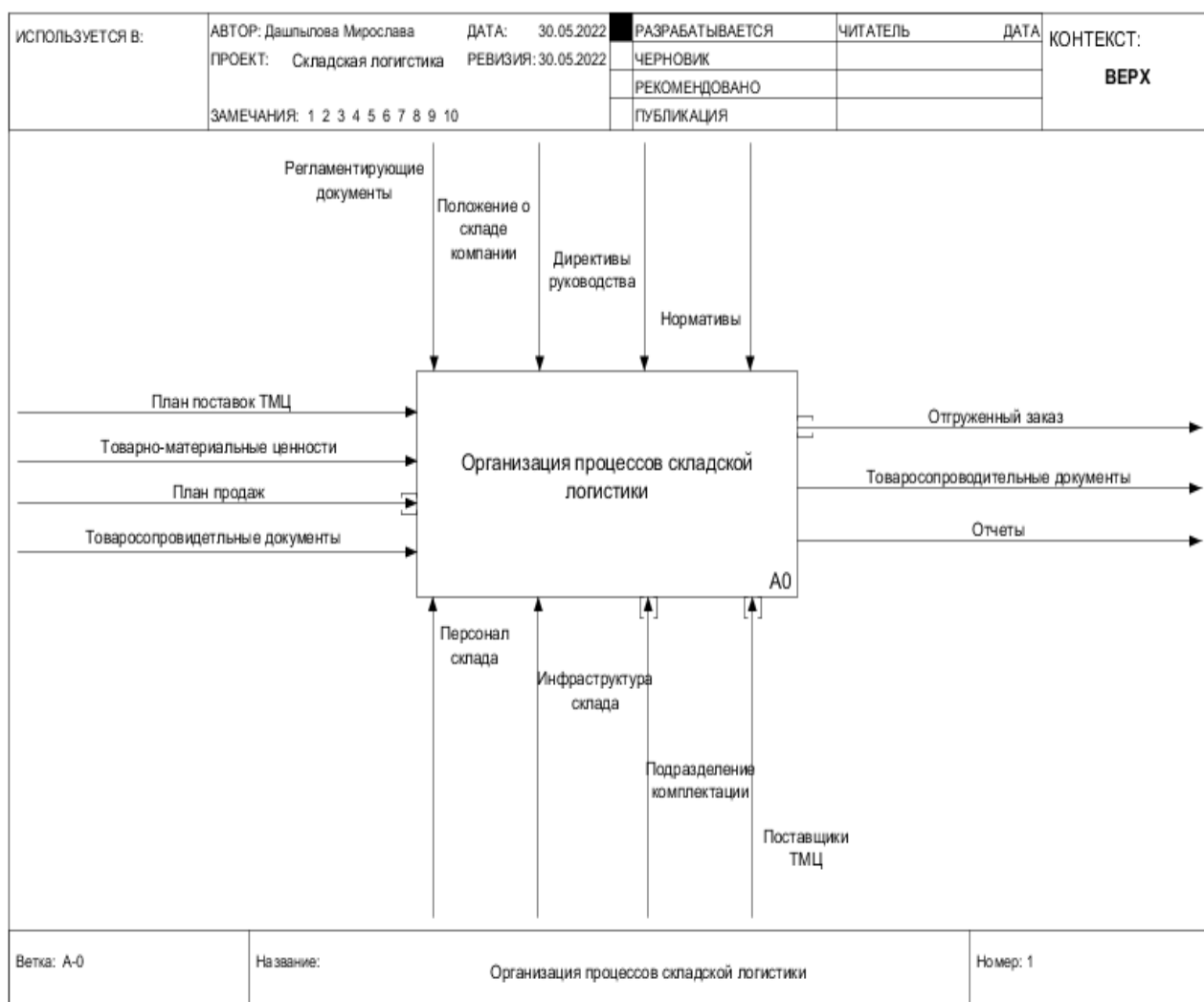


Рисунок 9 – Диаграмма А-0 «Организация процессов складской логистики»

Далее контекстная диаграмма А-0 была декомпозирована на 4 подпроцесса: «Приемка ТМЦ на склад», «Хранение ТМЦ на складе», «Комплектация заказа», «Отгрузка скомплектованного заказа».

В качестве управления для всех процессов выступают регламентирующие документы, положение о складе компании, нормативы и директивы руководства, механизмом обеспечения процесса – персонал склада и его инфраструктура.

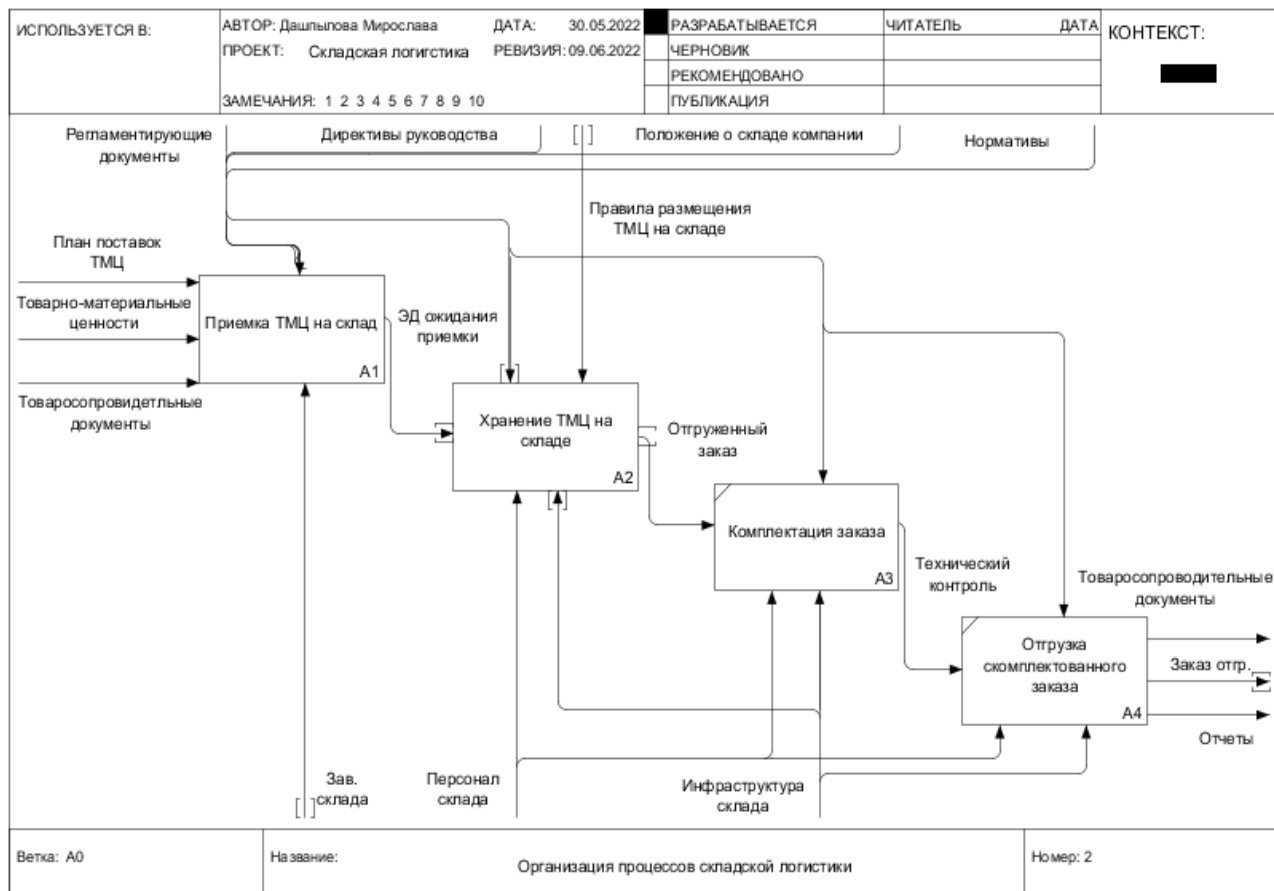


Рисунок 10 – Диаграмма второго уровня  
«Организация процессов складской логистики»

Описание процессов:

- «Приемка ТМЦ на склад». На входе процесс учитывает план поставок ТМЦ, план продаж, ТМЦ, товарораспределительные документы. На выходе имеет ЭД ожидания приемки.
- «Хранение ТМЦ на складе». На входе процесс учитывает ЭД ожидания приемки. На выходе имеет отгруженный заказ.
- «Комплектация заказа». На входе процесс учитывает отгруженный заказ. На выходе имеет технический контроль.

– «Отгрузка скомплектованного заказа». На входе процесс учитывает технический контроль. На выходе имеет отчеты, товарораспределительные документы, отгруженный товар.

Процесс 1 уровня «Приемка ТМЦ на склад» был также декомпозирован на подпроцессы: «Проверка договора», «Проверка поступающей продукции», «Присвоение штрихкода» (см. рисунок 11 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). В качестве управления для всех процессов выступают регламентирующие документы, механизмом обеспечения процесса – персонал склада в лице заведующего или мастера смены. Если коротко описать данный процесс заключается в ручной сверке документов и наличия продукции, в результате чего ТМЦ в полном объеме после качественной и количественной проверки направляется на склад. Также на данном этапе определяется вес товара, распечатывается и наклеивается этикетка с наименованием ТМЦ и штрих-код. Создается Акт приемки и передается на следующий этап.

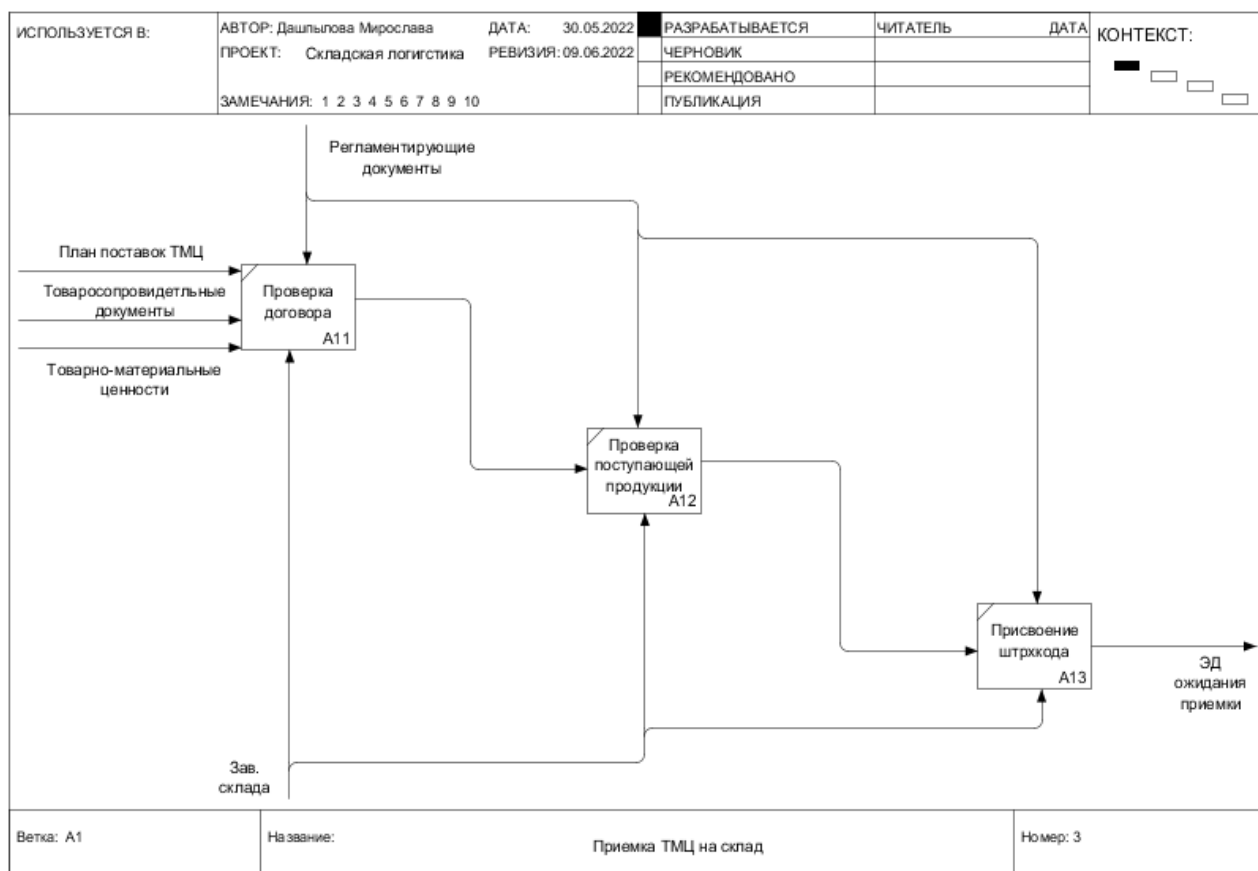


Рисунок 11 – Декомпозиция второго уровня «Приемка ТМЦ на склад»



Результаты анализа и подробное изучение процессов складской логистики привели к выявлению основных проблем на складах. Приведем их ниже исходя из следующей классификации.

Управление входящими и исходящими товарными потоками:

- длительный процесс приема ТМЦ на склад;
- длительный поиск требуемого ТМЦ при комплектации заказа из-за неграмотного хранения, что вследствие ведет к увеличению сроков отгрузки;
- фиксация поступлений и отпуска ТМЦ ведется вручную, что затрудняет контроль.

Хранение продукции:

- проблемы с организацией учета товаров и условий их хранения, что приводит к плохой сохранности;
- минимум оперативной информации об остатках на складе, что приводит к пересортице, и «залеживанию» отдельных позиций.

Обработка заказов:

- невысокая скорость обработки заявок и формирования заказов для отгрузки.
- низкая удовлетворенность и потеря лояльности клиентов из-за низкого качества обслуживания;

Человеческий фактор:

- незаконные действия третьих лиц и сотрудников (кража) вследствие отсутствия системы безопасности и нерегулярной инвентаризации;
- порча запасов из-за нарушения условий хранения;
- повреждения и потери товаров из-за ошибок персонала.

Исходя из решения основных проблем путем введения цифровых двойников и комплекса сопутствующих технологий, отобразим бизнес-процессы в нотации “To be” с учетом выявленных слабых мест системы и их дальнейшую модернизацию с введением цифрового двойника и комплекса сопутствующих технологий. Ниже на рисунках показано желтым цветом.



Рассмотрим на примере процесса «Организация процессов складского логистики». Так, к механизмам добавились система IoT, который будет собирать данные с датчиков в режиме реального времени при приемке продукции на складе и передавать их в централизованную систему WMS, где будут фиксироваться наличие и отгрузка товарно-материальных ценностей, а также будет происходить отправка и получение электронной документацией предприятия. IoT используется в каждом процессе складской логистики. Также система, принимая данные о местонахождении персонала склада, анализирует ситуацию и при помощи системы нормирует и контролирует работу сотрудников в зависимости от загруженности в тот или иной момент. Система интегрирована с маркировкой и штрих-кодами ТМЦ для быстрого занесения их в базу данных.

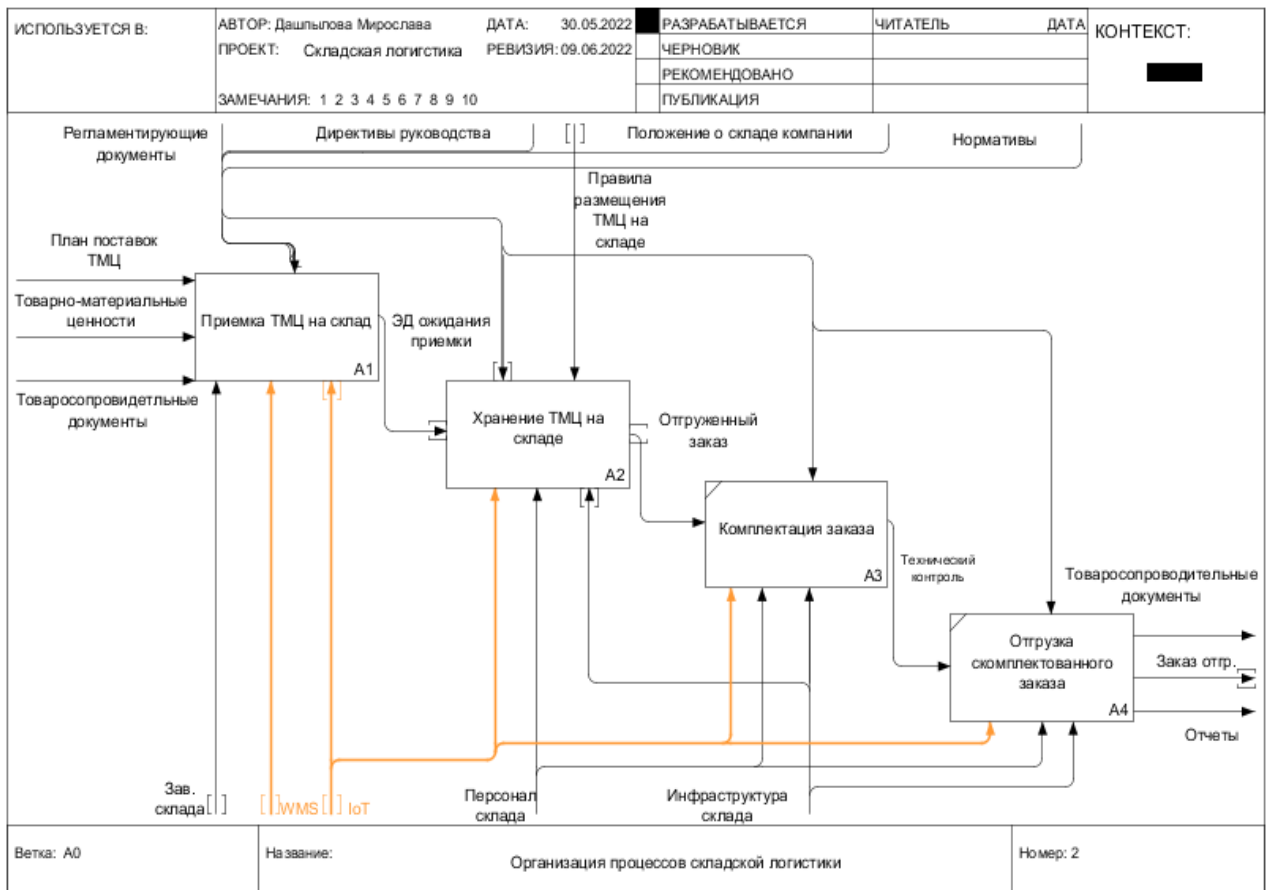


Рисунок 13 – Диаграмма первого уровня

«Организация процессов складского логистики»

На рисунке 14 приведен процесс приема продукции на склад. Также введены механизмы системы WMS и IoT.

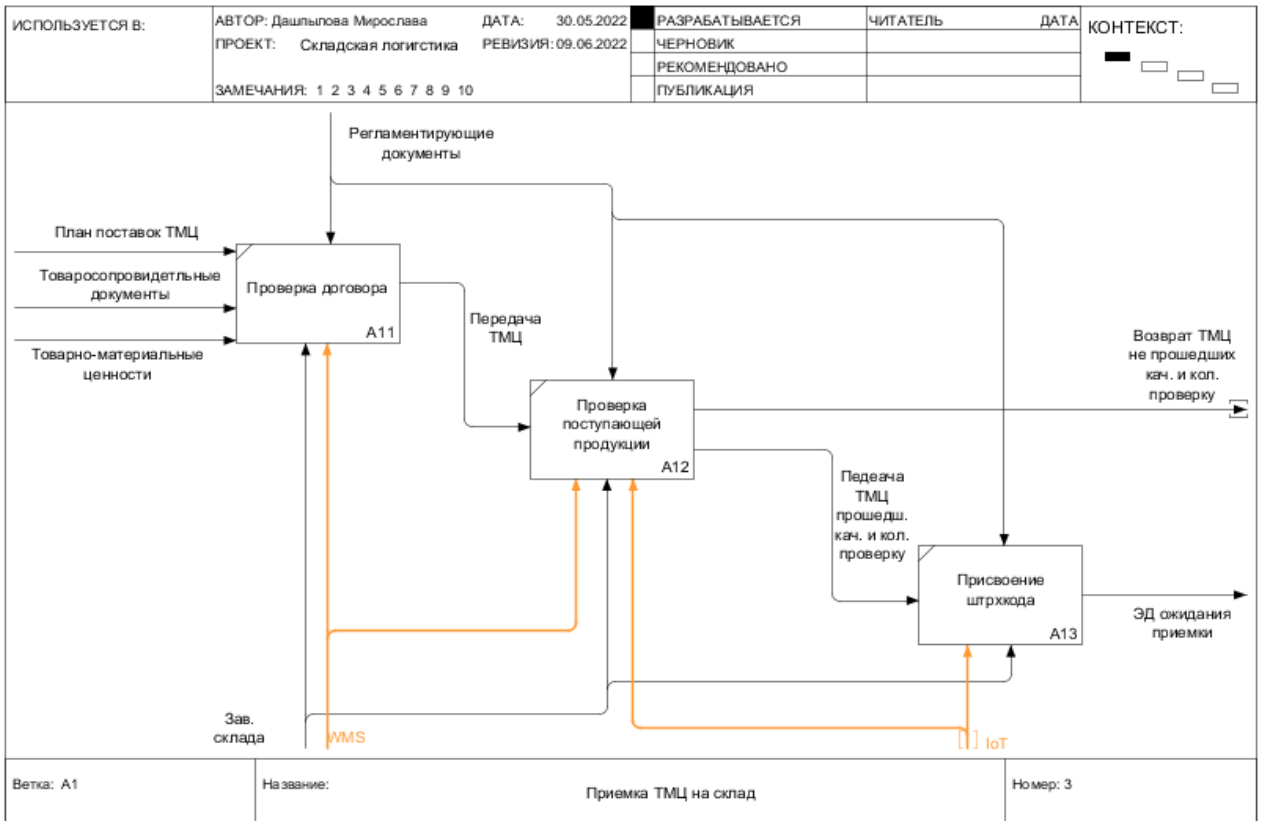


Рисунок 14 – Декомпозиция второго уровня «Приемка ТМЦ на склад»

Далее рассмотрим обновленный процесс «Хранение ТМЦ на складе» к механизмам подключается.

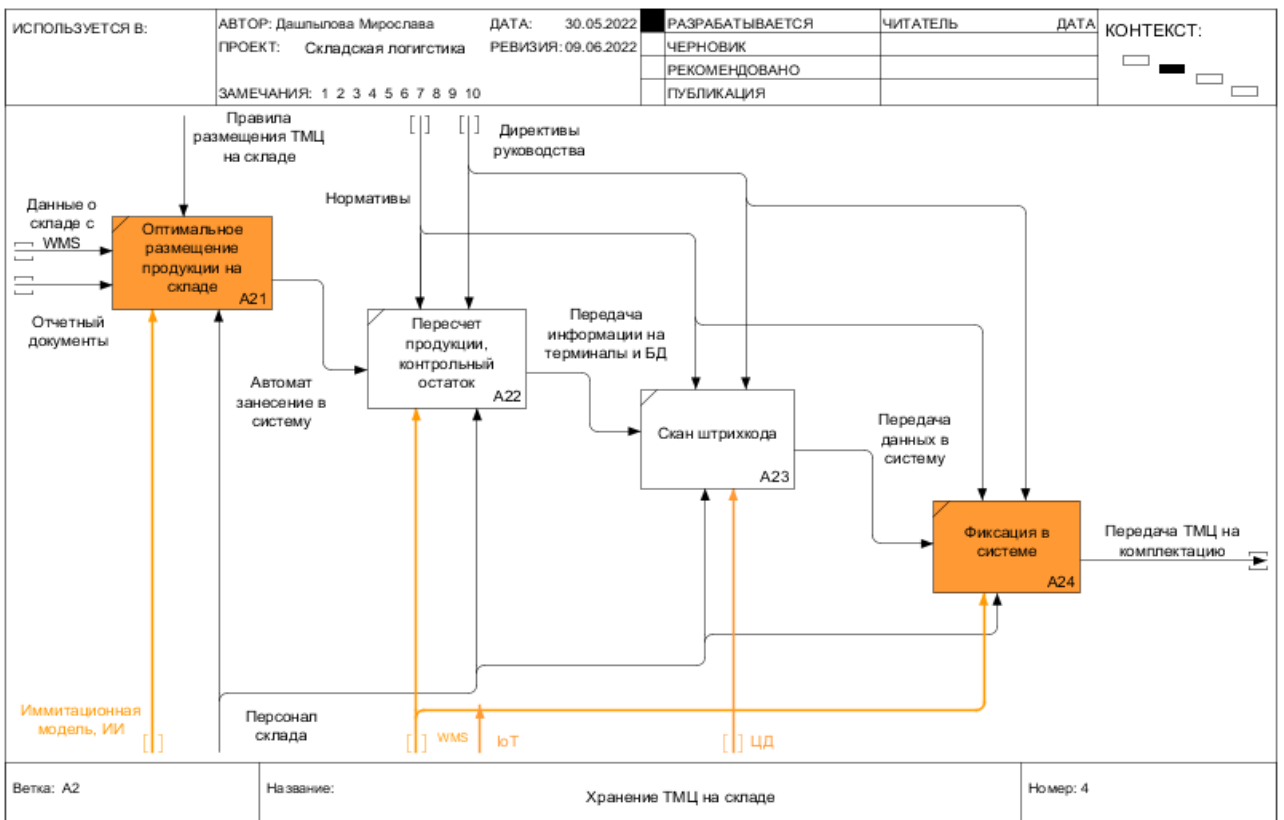


Рисунок 15 – Декомпозиция второго уровня «Хранение ТМЦ на складе»

В данном случае к механизмам процесса подключается имитационная модель склада, которая отображает всю ее деятельность в режиме реального времени при помощи получаемых данных с датчиков. Имитационная модель в действии с машинным обеспечением также находит оптимальный путь погрузки и хранения ТМЦ на складе.

На основании выявленных проблем можно приступить к формированию требований к цифровому двойнику складской логистики и разработки архитектуры проекта:

1. Цифровой двойник должен предоставлять возможность накапливать данные на складе при помощи «умных» устройств.

2. Цифровой двойник должен предоставлять возможность анализа накопленных данных различными способами с целью выдачи рекомендаций о необходимом размещении, хранении и комплектации ТМЦ в текущий момент на складе.

3. Цифровой двойник должен предоставлять возможность обучения системы управления складской логистикой на основе проведения анализа по полученным конфигурациям.

4. Цифровой двойник должен предоставлять возможность мониторинга склада на основе полученных данных с «умных устройств».

5. Цифровой двойник должен предоставлять возможность анализа процесса складской логистики при помощи моделирования различных паттернов поведения, настройки значений внешних и внутренних факторов, влияющих на деятельность склада.

### **2.3 Разработка системной архитектуры**

Для начала рассмотрим технологическую составляющую будущего двойника. Как обозначалось ранее, одной из основных поддерживающих технологий цифрового двойника является технология промышленного интернета вещей. Для «оживления» ЦД, необходимо в режиме реального

времени получать и использовать данные с физических объектов для их дальнейшего анализа и мониторинга. В качестве базы данных временных рядов был выбран инструмент InfluxDB, который будет накапливать собираемые датчиками в режиме реального времени данные. Далее MQTT брокер Mosquitto будет выступать в качестве брокера, принимающего данные, поступающие от датчиков в InfluxDB. Серверный агент Telegraf будет подписываться на тему MQTT, где датчики публикуют данные, и сохранять эту информацию в InfluxDB. С целью визуализации собранных данных будет использоваться программное средство Grafana. В качестве языка программирования для реализации логики взаимодействия между компонентами системы был выбран Python. С целью ведения основных атрибутов системы (характеристик предприятия) будет использоваться реляционная база данных и система управления базой данных (далее – СУБД) PostgreSQL. Для моделирования, симуляции, оптимизации и анализа процесса складской логистики было выбрано программное обеспечение OpenModelica.

Рассматривается системная архитектура цифрового двойника процесса, с целью продемонстрировать ее компоненты и их взаимосвязь. Под архитектурой программного обеспечения часто подразумевают «организацию или структуру системы, где система представляет набор компонентов, выполняющих определенную функцию или набор функций. Иначе говоря, основное назначение архитектуры – организация компонентов с целью обеспечения определенной функциональности» [35].

Согласно типовой архитектуре программного обеспечения руководства Microsoft по проектированию архитектуры приложений для построения обобщенной архитектуры цифрового двойника процессов складской логистики были выделены следующие слои:

- слой представления,
- слой сервисов,
- бизнес-слой,
- слой доступа к данным,

- источники данных,
- сквозная функциональность.

Учитывая специфику реализации киберфизических систем и цифровых двойников в разрабатываемой архитектуре, в качестве отдельного компонента был вынесен физический объект с установленными в нем датчиками, исполнительными механизмами и контроллерами. Разработанный вариант архитектуры цифрового двойника рисунок 16.

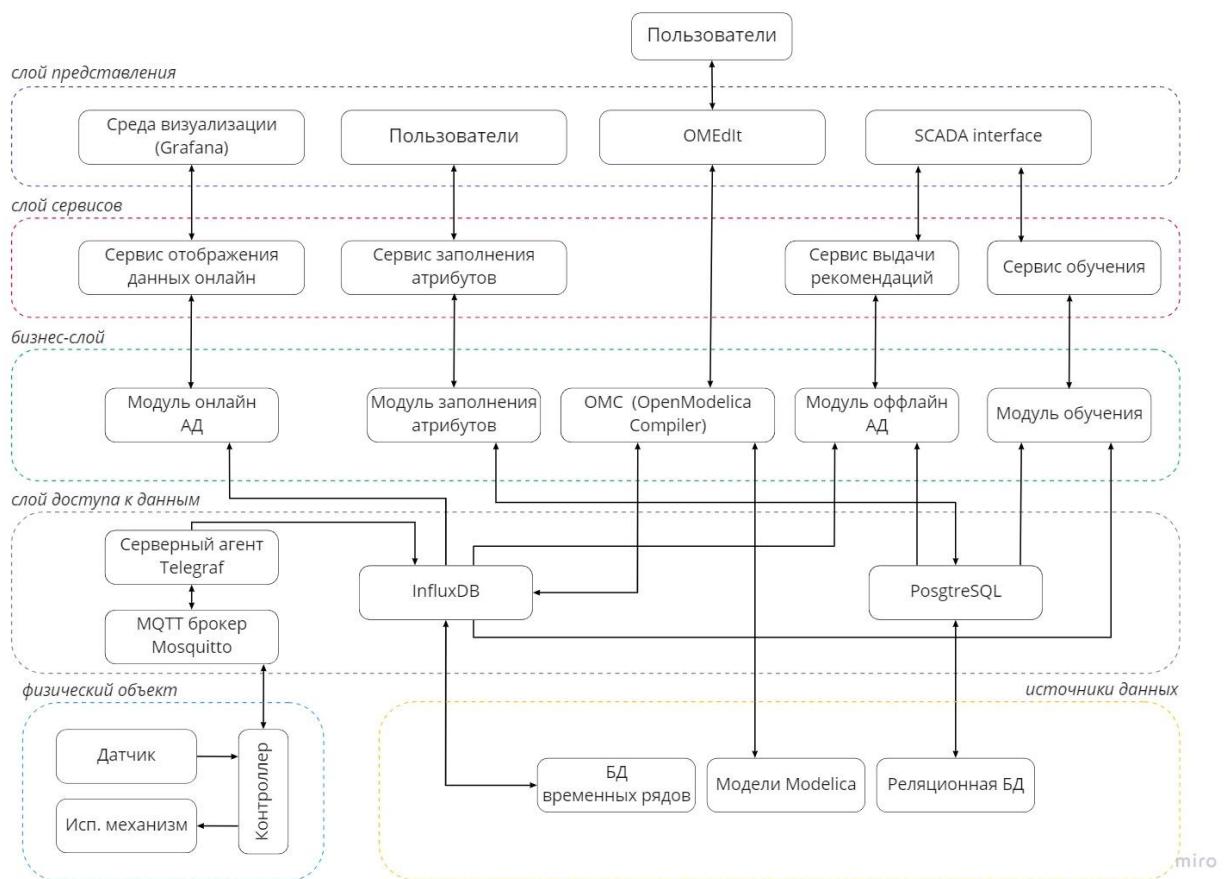


Рисунок 16 – Системная архитектура

## **3 Бизнес-идея проекта по внедрению ЦД в складскую логистику**

### **3.1 Характеристика проекта**

Стартап заключается в создании компании по разработке ПО с целью оптимизации складской логистики при помощи внедрения цифровых двойников.

Основной вид деятельности в соответствии с ОКВЭД: Разработка компьютерного программного обеспечения (62.01).

Функции, которая будет выполнять компания:

- общение с клиентом,
- продвижение,
- разработка цифрового двойника складского помещения,
- поддержание ПО.

УТП продукта – оптимизировать условия работы склада с внедрением цифровых двойников для обеспечения максимальной производительности предприятия.

Задачи, которые решает продукт:

1) Стратегический консалтинг и управление цифровой трансформацией:

- разработка фреймворков, долгосрочных стратегий, технических заданий и планов по цифровой трансформации;
- преобразование или создание новых бизнес-моделей и бизнес-процессов с помощью современных цифровых технологий;
- скаутинг цифровых инноваций и стартапов, цифровой аудит, анализ информационных систем и оценка предложений по цифровой трансформации.

2) Разработка и внедрение информационных систем:

- разработка управляющего программного обеспечения и индивидуализированных решений;

- внедрение информационных систем различных вендоров: CS, CRM, ERP, MES, PLM и др. информационных систем.

3) Внедрение цифровых двойников и сквозных информационных технологий;

- разработка искусственного интеллекта, разработка и обучение нейронных сетей;

- внедрение Интернета вещей и технологий дополненной реальности;

- создание цифровых двойников и роботизированных систем принятия решений.

На базе внедрения ЦД в складскую логистику в среднем прогнозируется получить следующие эффекты [4]:

- 18% сокращение пути наборщиков;

- 58% сокращение пути наборщиков и штабелеров;

- 28% увеличение производительности набора за счет изменения порядка отправки заказов в работу и размещения грузов.

Если говорить об интеллектуальной собственности будущего продукта, то по ГК РФ компьютерная программа не является изобретением, поэтому по общему правилу ее запатентовать нельзя. Составляющие программного обеспечения можно защитить как различные объекты интеллектуальной собственности (например, домен – как товарный знак, внешний вид – как патентование дизайна интерфейса, исходный код – как программу ЭВМ).

В данной работе учитывается, что патентование ПО будет происходить как патентование алгоритма программы. Данный тип защищает прежде всего логику работы программы. Патентуется последовательность действий, которая приводит к получению конкретного результата, что в итоге дает патент на изобретение-собственность.

Срок действия патента на алгоритм равен 20 годам с подачи заявки. Территория распространения – страна, где патент получен. Примерные сроки регистрации составляют 10-18 месяцев. Стоит учесть, что данный вид

патентования является одним из сложнейших и дорогостоящих. В среднем стоимость равна 150-200 тыс. рублей.

### **3.2 Анализ рынка цифровых двойников**

Рынок ЦД – это молодой рынок, он развивается менее 10 лет, поэтому до сих пор существуют проблемы согласованности толкования термина ЦД, а следовательно, проблемы корректной оценки объема рынка ЦД, его сегментирования, оценки темпов роста и, как следствие, проблемы оценок степени привлекательности рынка для привлечения инвестиций.

Рассмотрим рынок цифровых двойников. Начиная с 2017 года, аналитическая компания Gartner включает цифровые двойники в топ-10 стратегических технологических тенденций.

Оценить объем и динамику рынка цифровых двойников непросто из-за разнобоя в их трактовке, сложности отделения работы, собственно, по созданию ЦД от смежного программного обеспечения и инжиниринга. Оценки глобального годового объема продаж ЦД (в промышленности, здравоохранении, розничной торговле, производстве потребительских товаров) в разных исследованиях колеблются в пределах 3–4 млрд. долл. США. Прогноз на ближайший период (3-5 лет) постоянно корректируется в большую сторону: от 26,1 млрд. долл. США в 2025 г. при среднегодовом росте в 38,2% до 48.2 млрд. долл. США в 2026 г. при среднегодовом росте в 42,5%. Столь беспрецедентный рост объясняют тотальным распространением современных датчиков и систем сбора данных, развитием методов МО и искусственного интеллекта. Наиболее быстрорастущий и доходный сегмент – промышленное производство (уже к 2023 г. на него будет приходиться треть рынка) [4].

По имеющимся прогнозам, к 2024 г. половина из 2000 крупнейших публичных компаний мира будут располагать ЦД и их экосистемами. Консалтинговая компания Gartner ожидает, что половина крупнейших



промышленных предприятий уже к 2022 г. увеличат свою эффективность на 10% вследствие использования ЦД. В целом в течение следующих 5 лет рынок ЦД будет прирастать на треть в год [36].

Основные мировые игроки, большая часть которых упомянута в предыдущем разделе, располагаются в США, Германии, Франции, Японии. Однако Китай занимает особое место, превратившись в крупнейший рынок внедрений ЦД-решений. Исследовательская активность Китая в области ЦД беспрецедентна: он лидирует по числу публикаций (120 работ), обойдя Германию (116) и США (113). Львиная доля исследователей в области ЦД — китайские ученые, работающие на родине или в научных организациях по всему миру. По числу спонсорских инициатив лидирует Национальный фонд естественных наук Китая (53 проекта) против 20 у Рамочной Программы ЕС по развитию научных исследований и разработок; еще 12 спонсорских проектов принадлежат Национальному фонду фундаментальных исследований Китая.

Российский рынок ЦД только складывается; его текущий объем вряд ли превышает 200 млн. долл. США, а потенциал связывается, прежде всего, с наличием ключевых компетенций в области моделирования и ИТ-технологий. В опросе эксперты крупнейших российских компаний, исследовательских и прикладных организаций ожидают прихода в Россию бума ЦД, но с отставанием от мировых аналогов на 5-10 лет. Те же респонденты ставят ЦД на третье место среди наиболее востребованных производственных технологий.

Отечественные ЦД-решения активно появляются на рынке; некоторые из них базируются на мировых продуктах, другие — собственно российские разработки. В лидерах пользователей ЦД — автомобилестроение, машиностроение, авиастроение, нефтегазовая промышленность, энергетика. Среди разработчиков такие компании-гиганты, как РЖД, Росатом, Ростех, Газпром-нефть.

Очевидно, что развитие столь сложного и важного направления невозможно или очень затруднено без государственной поддержки.

В первой главе мы отметили, что в разных научных школах термин ЦД может иметь отличия в трактовке. Как показывает дальнейший анализ, на сегодняшний день нет однозначного согласованного мнения о лидерах рынка, но есть попытки разных аналитиков классифицировать и ранжировать этих игроков. Это положение хорошо иллюстрирует таблице, где по данным различных аналитических исследований представлены ключевые игроки.

Таблица 5 – Ключевые поставщики технологии ЦД по данным разных исследователей [4]

<b>Market Research Future</b>	<b>Grand View Research</b>	<b>IoT One</b>	<b>HTF Market Intelligence</b>	<b>Consulting Adroit Market Research</b>
General Electric, IBM, Microsoft, Oracle, Cisco Systems, PTC, ANSYS, Dassault Systèmes, Siemens AG, Robert Bosch, Allerin Tech, Altair Engineering, Amazon Web Services, Aucotec AG, Autodesk, CADFEM, CSC, CoSMo.	ABB Group, Hexagon Geosystems AG, AVEVA, PTC, Schneider Electric SE, Dassault Systèmes, Siemens AG, SAP SE	Dassault Systèmes, GE, ANSYS, PTC, Siemens AG, SAP, Autodesk, Sight machine, Arrayent, Sysmex.	Microsoft, GE, PTC, Siemens AG, Dassault Systèmes, IBM, ANSYS.	IBM, ABB, Oracle, ANSYS, Bosch Software Innovation, Siemens AG, Schneider Electric SE, Microsoft, PTC, Dassault Systèmes.

Как видно из таблицы, набор лидеров у каждого автора свой, несмотря на это, можно отследить общих фаворитов. В частности, все аналитики отметили компании Siemens, Dassault Systèmes и PTC, четыре из пяти отметили компанию GE.

### 3.3 Оценка экономической эффективности

В данном параграфе представлен финансовый расчет по реализации и запуску стартап-проекта, который заключается в открытии компании по разработке ПО с целью оптимизации складской логистики при помощи внедрения цифровых двойников.

Функции, которая будет выполнять компания:

- общение с клиентом,
- продвижение,
- разработка цифрового двойника складского помещения,
- поддержание ПО.

На аутсорсинг будут переданы следующие функции: бухгалтерия, юриспруденция, маркетинг.

Продуктом производства компании является программное обеспечение.

Для размещения сотрудников предприятие арендует офис, оборудованный мебелью, компьютерами, оснащенным современными процессорами, видеокартами с достаточным объемом оперативной памяти и дополнительными комплектующими.

Перечень материальных ресурсов и расходы на них приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Материальные ресурсы компании

Категория товара	Стоимость за шт., руб.	Необходимое количество шт.	Общая сумма затрат, руб.
Процессор	28 200	6	169 200
Монитор	5 400	6	32 400
Доп. оборудование	1 600	6	9 600
Принтер	11 500	6	69 000
Рабочий стол	5 200	6	31 200
Компьютерное кресло	6 300	6	37 800
<b>Итого</b>			<b>349 200</b>

Итого материальные ресурсы компании составляют 349 200 рублей.

Общая численность персонала составляет 8 человек. Обязанности и предполагаемая оплата труда сотрудников представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Сотрудники компании

Должность	Рабочие обязанности	Заработная плата
Руководитель	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Формирование планов, контроль их выполнения.</li> <li>• Организационная работа, в том числе с заказчиком.</li> <li>• Оценка длительности и трудоемкости задач в процессе планирования.</li> <li>• Контроль выполнения планов группой.</li> <li>• Разделение работ внутри группы.</li> </ul>	От 60 тыс. руб./мес.
Аналитик	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сбор требований заказчика.</li> <li>• Разработка технического проекта, проверка его функциональности.</li> <li>• Разработка планов тестирования.</li> <li>• Разработка пользовательской документации</li> </ul>	От 1600 руб./час
Архитектор ПО	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Разработка рабочего проекта, проверка его функциональности.</li> <li>• Контроль качества кода и его соответствие проектным решениям по архитектуре.</li> <li>• Репозиторий информации по архитектуре решений.</li> <li>• Участвует в формировании планов и оценке сложности/длительности задач.</li> <li>• Участвует в комплексном тестировании.</li> </ul>	От 1700 руб./час
Разработчик	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Разработка рабочего проекта (при участии архитектора).</li> <li>• Разработка функциональности.</li> <li>• Проверка качества кода, исправление существующих ошибок.</li> <li>• Проведение первичного и комплексного тестирования кода.</li> </ul>	От 1800 руб./час

Тестировщик	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тестирование функциональности.</li> <li>• Написание Unit текстов.</li> <li>• Участие в разработке планов тестирования</li> </ul>	От 1200 руб./ час
Бухгалтер (аутсорсинг)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Бухгалтерский учёт компании.</li> <li>• Подготовкой и отправкой бухгалтерской и налоговой отчетности.</li> </ul>	От 17 тыс. руб./мес.
Юрист (аутсорсинг)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Юридическое сопровождение компании.</li> </ul>	От 17 тыс. руб./мес.
Маркетолог (аутсорсинг)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Продвижение товара и услуг компании</li> </ul>	От 20 тыс. руб./мес.

Стоит отметить, что специалисты могут выполнять несколько ролей одновременно с условием рациональной нагрузки и выплаты повышенной заработной платы.

Далее рассмотрим системы налогообложения и выберем из них наиболее подходящую.

Так как компания планирует привлекать инвесторов, в качестве организационно-правовой формы рассматривается общество с ограниченной ответственностью.

#### 1. Общая система налогообложения

Не имеет ограничений к применению. Включает в себя следующую налоговую базу:

- Прибыли (налог на прибыль) – 20% (фиксированный для всех).
- Добавленная стоимость (НДС) – 20% (на основании классификации по основному виду деятельности рассматриваемого проекта).
- Среднегодовая стоимость имущества (налог на имущество) – 0 % (так у компании нет облагаемого налогом имущества).

Таким образом, чистая прибыль компании за год составит – 1 492 105 рублей, а рентабельность проекта 0,14.

#### 2. Упрощенная система налогообложения

Имеет ряд ограничений:

– Средняя численность сотрудников не более 100 человек – рассматриваемый проект подходит, численность сотрудников не более 20 человек.

– Доход не больше 150 млн рублей в год – рассматриваемый проект подходит, годовой доход не больше 20 млн рублей в год.

– Стоимость основных средств не больше 150 млн рублей – рассматриваемый проект подходит, стоимость основных средств не больше 10 млн рублей.

Следовательно, рассматриваемый проект не попадает под ряд действующих ограничений.

Чистая годовая прибыль компании при упрощенной системе налогообложения по доходам минус расходы 10% – 1 849 445,65 рублей, а рентабельность проекта 0,17.

Чистая годовая прибыль компании при упрощенной системе налогообложения по доходам 6% – 1 185 328 рублей, а рентабельность проекта 0,1.

Исходя из расчетов можно сделать вывод, что наиболее оптимальной системой налогообложения является упрощенная система налогообложения по доходам минус расходы.

Составим финансовый план компании. Для этого рассчитаем выручку, единовременные, постоянные и переменные затраты.

Единовременные затраты компании включают в себя расходы на:

- Оформление ООО (госпошлина): 4 000 рублей.
- Расходы материальные: 350 200 рублей.

Итого в сумме единовременные затраты составят: 354 200 рублей.

Рассчитаем постоянные издержки. Для этого вычислим общий ежемесячный фонд оплаты труда, независящий от спроса. Так как бухгалтер, юрист и маркетолог работают на аутсорсинге, то оплата за их работу происходит посредством перевода средств на другой юридический счет, без уплаты дополнительных налогов.

Таким образом, с учетом выплат: на пенсионное страхование – 22%; на медицинское страхование – 5,1%; на социальное страхование – 2,9%; налог на доходы физических лиц – 13% фонд оплаты труда сотрудников, работающих непосредственно в компании, составит 89 793 рублей, а общий фонд оплаты труда составит 143 793 рублей.

Помимо заработной платы в постоянные издержки входят:

- аренда помещения – 30 000 рублей;
- канцелярия – 2 000 рублей;
- реклама – 17 000 рублей.

Суммарно постоянные издержки составляют 49 000 рублей.

Далее рассчитаем переменные затраты. В переменные затраты входит фонд оплаты труда сотрудников, зарплата которых зависит от изменения спроса на услуги. Такими сотрудниками являются: аналитик, архитектор ПО, разработчик и тестировщик. Оплата заработной платы каждого из них зависит от спроса на услуги, так, на один заказ аналитик может тратить 2 часа в день, архитектор ПО 2 часа, разработчик 4 часов, тестировщик 2 часа. В среднем в месяц компания получает два крупных заказа. С учетом 5 рабочих дней в неделю и 21 рабочий день в месяц. Таким образом, заработная плата каждого сотрудника в месяц составит:

- аналитик – 67 200 рублей;
- архитектор ПО – 71 400 рублей;
- разработчик – 151 200 рублей;
- тестировщик – 50 400 рублей.

Т.к. учитываются выплаты в Пенсионный фонд РФ – 22%, выплаты в Фонд социального страхования – 2,9%, выплаты в Фонд обязательного медицинского страхования – 5,1%, а также с налог на доходы физических лиц – 13%, то общая ФОТ труда аналитика, архитектора ПО, разработчика и тестировщика составит 509 126 рублей.

Средняя стоимость одного проекта: 550 000 рублей.

Стоимость цифрового двойника зависит от размера склада и компании. В месяце в среднем поступает два крупных заказа. Итого общая выручка в месяц составит 1 100 000 рублей. Следовательно, общие переменные издержки при идеальном спросе составят 509 126 рублей.

Считая ставку дисконтирования за 16% и имея все вышеперечисленные данные рассчитаем прибыльность проекта, результаты расчетов представим в таблице 1 приложения А.

Таким образом, рассчитаны единовременные затраты, составляющие 353 200 рублей.

Рассчитаны постоянные издержки, включающие в себя:

– ФОТ сотрудников, работающих непосредственно в компании – 143 793 рублей.

– Аренду офиса, рекламу, канцелярию – 49 000 рублей.

Общая сумма постоянных издержек составила: 192 973 рубля.

Рассчитаны переменные издержки, включающие в себя:

– ФОТ сотрудников, заработная плата которых зависит от спроса – 509 126 рублей.

Общая сумма переменных издержек полной реализации продукции составила: 109 099 рублей.

Таким образом, ежемесячные затраты на реализацию проекта при реализации продукции составляют: 316 072 рублей.

Выручка при реализации всей продукции составляет: 1 100 000 рублей в месяц.

Так же была определена наиболее оптимальная система налогообложения – упрощенная система налогообложения доходы минус расходы. В соответствии с данной системой чистая годовая прибыль компании составит 1 849 445,65 рублей.

Считая ставку дисконтирования равную 16%, реализация проекта, окупится на 7 месяц работы компании. Чистая текущая стоимость составит 501 339 рублей, внутренняя норма доходности 60%, а рентабельность 17%.



По приведенным выше данным можно сделать вывод, что проект является эффективным, срок окупаемости меньше года. Чистая текущая стоимость составит 501 339,97 рублей, индекс рентабельности 1,2, а внутренняя норма доходности 60%. Все это говорит о том, что проект является перспективным, а также эффективным с экономической точки зрения и в него стоит вкладываться.

### **3.4 Бизнес-модель**

Бизнес-модель – это структура, которая поддерживает жизнеспособность продукта и объясняет, как работает компания, зарабатывает деньги, и какие цели она хочет достичь. Бизнес модель необходимо строить на самом начальном этапе разработки стартап-проекта и далее раз в 2-3 месяца анализировать ее и при необходимости менять. Она позволят правильно создать ценность для потребителя и понять, как получить прибыль.

При регистрации бизнеса необходимо выбрать специальные коды ОКВЭД: разработка компьютерного программного обеспечения (ОКВЭД - 62.01)

Александр Острелвальдер разработали канву классической бизнес-модели, которая стала общепринятой графической формой представления бизнес-модели стартап-проекта. Шаблон заполняется по мере исследования бизнес-идеи и включает девять блоков, которые отражают логику действий компании, направленных на получения прибыли. Данные девять блоков охватывают четыре основные сферы бизнеса:

- взаимодействие с потребителем,
- ценность предложения,
- инфраструктура,
- финансовая эффективность компании.

Для стартапа проекта также воспроизведена бизнес модель Остеральдера и отражена в таблице 8.

Таблица 8 – Бизнес-модель Оствервальдера

<p>Ключевые партнёры:</p> <p>Крупные предприятия</p>	<p>Ключевые виды деятельности:</p> <p>Разработка компьютерного программного обеспечения (ОКВЭД - 62.01)</p>	<p>Ценностные предложения:</p> <p>Внедрение цифровых двойников и сквозных информационных систем; стратегический консалтинг и управление цифровой трансформацией; разработка и внедрение информационных систем.</p>	<p>Взаимоотношения с клиентами:</p> <p>Прямые продажи, индивидуальное обслуживание каждого склада</p>	<p>Потребительские сегменты:</p> <p>Предприятия, в собственности которых находятся склады по оптовой торговле/производству, объемом от 1000 кв.м.</p> <p>Сегментация предприятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• компании, начинающие проектировать склад,</li> <li>• компании, модернизирующие склад,</li> <li>• компании, оптимизирующие склад.</li> </ul>
	<p>Ключевые ресурсы:</p> <p>Интеллектуальные (массив данных), людские (квалифицированный персонал), сервер (платформа)</p>		<p>Каналы сбыта:</p> <p>Директ-маркетинг (B2B)</p>	
<p>Структура издержек:</p> <p>Фонд оплаты труда, постоянные издержки на аренду помещения, канцелярию, коммунальные услуги. Одноразовые затраты на приобретение материальных активов и патентование ПО.</p>		<p>Потоки поступления доходов:</p> <p>Плата за внедрение ЦД Анализ данных (экспертные заключения)</p>		

### 3.5 Целевая аудитория и способы продвижения продукта

Проанализировав целевую аудиторию и трудности, с которыми они сталкиваются, были выделены 3 сегмента, представленных в таблице 9.

Таблица 9 – Сегменты

<p>Компания, начинающая проектировать склад</p>	<p>Требуется нагрузочное тестирование пропускной способности склада, чтобы убедиться в готовности обрабатывать определенные объемы. Справится ли склад с неожиданным всплеском спроса?</p>
---	--

Компания, модернизирующая склад	Отработка сценария «что, если?». Есть идеи по изменению работы склада, но нет желания проводить затратные эксперименты на живом объекте.
Компания, оптимизирующая склад	Найти слабые места и оптимизировать операции, производительность склада, эффективность работы сотрудников

В качестве целевой аудитории рассматривается деятельность предприятия с типом склада по оптовой торговле/производству, объемом от 1000 кв.м., насчитывающим более 10 сотрудников на складе.

Портрет ЦА помогает понять, из каких каналов приходят пользователи и какими устройствами они пользуются. Образ отражает психологию поведения клиента.

Коммуникационная стратегия – это часть стратегии бренда или компании, целью которой является построение эффективного обмена информацией с целевыми сегментами для продвижения бренда компании и получения обратной связи.

Располагая детальным портретом клиента, на основе его интересов и болей подготавливается и предлагаются подходящие коммерческие предложения.

Рекомендуется использовать следующие каналы продвижения: прямые продажи, сайт с демоверсией продукта, специализированные порталы, поисковая оптимизация, контекстная реклама, социальные сети, e-mail маркетинг.

Точку контакта можно охарактеризовать как процесс, в ходе которого осуществляется взаимодействие предприятия и клиента. Это, например, рекламное объявление, сайт компании, распространяемый ею контент в соцсетях, репутация бренда, общение потребителя с персоналом, звонок в приёмную и т. п. Первая точка контакта во многом определяет всё дальнейшее

взаимодействие: станет ли этот потенциальный клиент реальным или предпочтёт конкурентов.

В нашем случае основными точками касания являются E-Mail, холодные звонки и контекстная реклама. Так же существуют у программы такие как:

Специализированные порталы – они являются наиболее эффективными для продажи.

SEO или поисковая строка – является отдельной и самостоятельной точкой касания как реклама или E-Mail, по эффективности самая слабая на количество аудитории, но самая эффективная среди заинтересованных людей, ибо только заинтересованный человек зайдет с поиска.

Социальные сети – по эффективности сравним с выставками, конференциями и вебинарами, т.к. тут уже есть и заинтересованный клиент, а также наглядная демонстрация продукта.

Воронка лидогенерации – задача этого процесса вовлечь пользователей в свою воронку продаж и далее конвертировать их в потенциальных клиентов. То есть тех, кто проявит интерес не просто к вашей теме, а к вашему продукту.

В нашем случае воронка позволяет из 700 человек привлечь 8 потенциальных покупателей, уже заинтересованных в программном обеспечении.

На рисунке 17 приведем полученную комплексную воронку продаж. Для того чтобы получить наших покупателей для начала, создадим контекстную рекламу, из 400 человек, конверсия будет состоять из 17% это 150 человек, обратят внимание на данный продукт, и уже с этими 50 людьми начинается знакомство с продуктом. Около 80 (конверсия 53%) человек должны пойти на наш сайт, для изучения более подробного описания ПО, большинство из них запросят презентацию проекта, это будут 20 (конверсия 25%) человек, где смогут подробно изучить продукт и ответить на свои вопросы, также не исключаем возможность того, что 8 человек (конверсия 40%), сразу захотят познакомиться с демоверсией продукта.

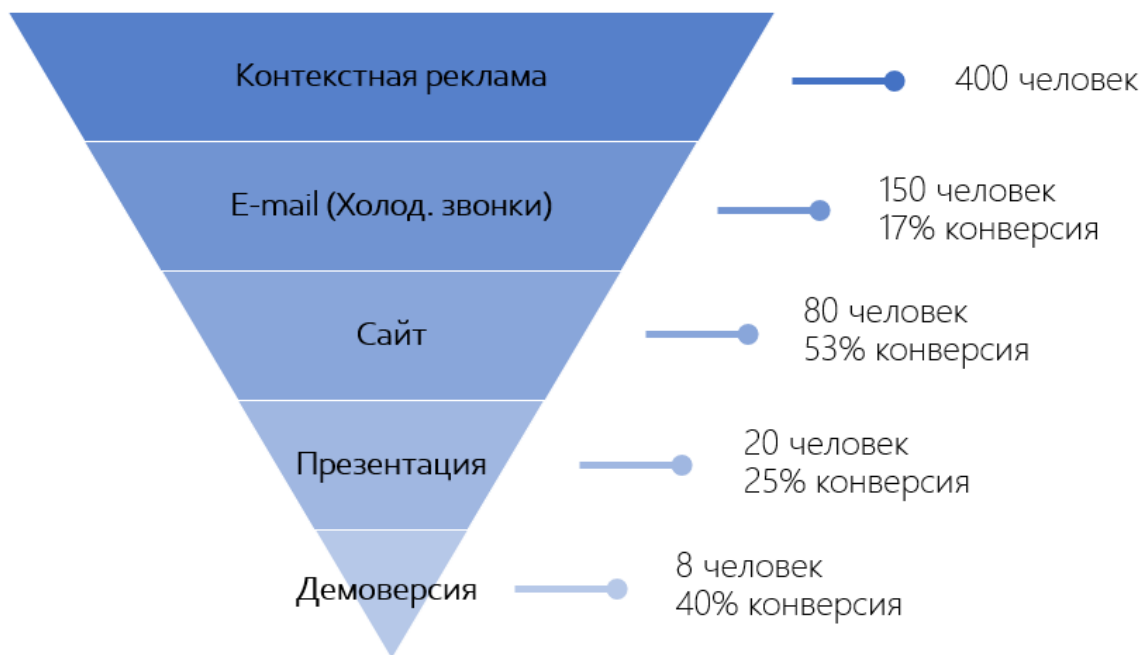


Рисунок 17 – Воронка лидогенерации

В итоге мы имеем 8 потенциальных покупателей, уже с отвеченными на интересующие их вопросы и заинтересованными в том, чтобы использовать продукт, из 400 человек мы имеем конверсию в 2%.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ЗНМ01	Дашпылова Мирослава Витальевна

<b>Школа</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Иноватика 27.04.05</b>
Уровень образования	магистр		

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание организационных условий реализации социальной ответственности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– заинтересованные стороны (стейкхолдеры) программ социальной ответственности организации, проекта, инновационной разработки, на которых они оказывают воздействие;</li> <li>– стратегические цели организации, проекта, внедрения инновации, которые нуждаются в поддержке социальных программ;</li> <li>– цели текущих программ социальной ответственности организации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- стейкхолдеры программы социальной ответственности компании – наемный работники, топ-менеджеры, партнеры, покупатели;</li> <li>- стратегия развития компании предусматривает повышение экономической эффективности производства, инновационной привлекательности предприятия при обеспечении устойчивого уровня социально-экономической безопасности и профессионального развития сотрудников.</li> <li>- цели программы социальной ответственности заключаются в стабильности и устойчивости развития компании в долгосрочной перспективе, росте производительности труда в компании, использовании лучших практик и выход на международный рынок.</li> </ul>
<p>2. <i>Законодательные и нормативные документы</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- трудовой кодекс РФ</li> <li>- законодательство РФ по охране труда</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ факторов внутренней социальной ответственности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы корпоративной культуры исследуемой организации;</li> <li>– системы организации труда и его безопасности;</li> <li>– развитие человеческих ресурсов через обучающие программы и программы подготовки и повышения квалификации;</li> <li>– системы социальных гарантий организации;</li> <li>– оказание помощи работникам в критических ситуациях.</li> </ul>	<p>Компания привержена развитию внутренней социальной ответственности, направленной на:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- организацию труда с соблюдением всех мер безопасности,</li> <li>- активное участие активное в помощи сотрудникам,</li> <li>- поддержании социально значимой заработной платы.</li> </ul>
<p>2. <i>Анализ факторов внешней социальной ответственности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– содействие охране окружающей среды;</li> <li>– взаимодействие с местным сообществом и местной властью;</li> <li>– спонсорство и корпоративная благотворительность;</li> <li>– влияние разработки, проекта, инновации на стейкхолдеров</li> <li>– влияние разработки, проекта, инновации на окружающую среду, возможное содействие охране окружающей среды;</li> <li>– ответственность перед потребителями товаров и услуг (выпуск качественных товаров),</li> <li>– готовность участвовать в кризисных ситуациях и т.д.</li> </ul>	<p>Внешняя социальная ответственность направлена на:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ответственность перед потребителями товаров и услуг,</li> <li>- деятельность по охране природы и окружающей среды,</li> <li>- спонсорство и корпоративная благотворительность.</li> </ul>
<p>3. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения социальной ответственности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ правовых норм трудового законодательства;</li> <li>– анализ специальных (характерные для исследуемой области деятельности) правовых и нормативных законодательных</li> </ul>	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения социальной ответственности закреплены:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ</li> </ul>

актов; – анализ внутренних нормативных документов и регламентов организации в области исследуемой деятельности.	
--	--

**Перечень графического материала:**

При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал:**

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антонова И.С.	к.э.н., доцент		

**Консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Н.В.	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ЗНМ01	Дашпылова Мирослава Витальевна		

## **4 Социальная ответственность**

### **4.1 Сущность корпоративной социальной ответственности**

Корпоративная социальная ответственность – международная бизнес-практика, которая прочно вошла в корпоративное управление в конце XX века. В настоящее время внедрение мероприятий КСО становится неотъемлемой частью успешной компании.

Важнейшими принципами корпоративной социальной ответственности являются:

- системность, обеспечивающая эффективность реализации функций и направлений КСО в системе корпоративного управления;
- комплексность, направленная на скоординированность деятельности компании по направлению устойчивого развития;
- социальность, т.е. общественная значимость;
- открытость всех действий компании и ее нефинансовой отчетности;
- подотчетность перед заинтересованными сторонами и обществом;
- инновационность мероприятий и технологий КСО внутри и вне компании;
- реагирование на оценки, критические замечания и ожидания заинтересованных сторон по всем направлениям КСО.

Одним из основных и известных документов по КСО является руководство ISO 26000 разработанное на основе международного сотрудничества. Основными целями руководства являются выработка основы для обеспечения социальной ответственности, выявления и взаимодействия с заинтересованными сторонами, обеспечение доверия к коммуникации в отношении КСО, улучшение связей с клиентами за счет повышения удовлетворенности и доверия и обеспечение согласованности с существующими документами и другими стандартами ISO.



В рамках данной главы разработаем КСО стартапа по внедрению цифрового двойника в логистическую систему. Программа будет проходить на основе стратегической модели, включающей в себя этапы определения целей и задач, стейкхолдеров, затрат и элементов программы КСО, а также ожидаемой эффективности программы КСО.

## 4.2 Определение целей и задач программы КСО

Успех программы КСО зависит от интеграции социальных и экономических результатов в стратегию компании, т.е. деятельность компании и программы КСО должны иметь одинаковый вектор. Тогда программа КСО будет выступать органическим вспомогательным элементом деятельности компании.

Таблица 10 – Определение целей КСО на предприятии

<b>Миссия компании</b>	За счет эффективной работы	<b>Цели КСО</b>
	сотрудников компания создает надежный фундамент для развития бизнеса наших клиентов, содействуя цифровой трансформации страны и ее конкурентоспособности на мировой арене.	1. Стабильность и устойчивость развития компании в долгосрочной перспективе.
<b>Стратегия компании</b>	Стратегия развития компании предусматривает повышение экономической эффективности производства, инновационной привлекательности предприятия при обеспечении устойчивого уровня социально-экономической безопасности и профессионального развития сотрудников.	2. Рост производительности труда в компании. 3. Использование лучших практик. 4. Выход на международный рынок.

Из перечисленных целей таблицы 1, можно сделать вывод, что программа корпоративной социальной ответственности компании больше характеризуется внутренней направленностью. Цели КСО помогут реализовать стратегию компании.

### 4.3 Определение стейкхолдеров программ КСО

Далее приведем главных стейкхолдеров программы.

Под стейкхолдерами понимается любое сообщество внутри организации, или вне ее, предъявляющее определенные требования к результатам деятельности организации и характеризующееся определенной скоростью реакции.

Таблица 11 – Определение стейкхолдеров программ КСО

№	Цели КСО	Стейкхолдеры
1	Стабильность и устойчивость развития компании в долгосрочной перспективе	Наемные работники
2	Рост производительности труда в компании	Топ-менеджеры
3	Использование лучших практик	Партнеры
4	Выход на международный уровень	Покупатели

Очень важно корректно выделить основных стейкхолдеров, т.к. неудовлетворенность какой-либо группы заинтересованных сторон может поставить под угрозу дальнейшее существование организации.

Выбор основных стейкхолдеров проводится исходя из целей программы КСО. Таким образом, стабильность и устойчивость развития компании в долгосрочной перспективе даст уверенность в будущем наемным работникам. Рост производительности труда в компании дает потенциал для построения деловой карьеры топ-менеджеров и возможности контроля и управления финансовыми потоками компании, мощность которых свидетельствует о финансовой состоятельности предприятий. Использование лучших практик предоставит выгодные условия сотрудничества и развития вместе с партнерами. Выход на международный уровень привлечет новых покупателей.

#### 4.4 Определение элементов программы КСО

Следующим шагом разработки программы корпоративной социальной ответственности бизнеса является определение элементов программы. Это будет зависеть от множества факторов, таких как:

- сфера деятельности компании;
- финансовые возможности;
- размер компании;
- приверженность сотрудников компании;
- сотрудничество с местными органами самоуправления и местными экологическими организациями;
- ожидаемые результаты реализации программ т.д.

В таблице 12 определены элементы программы КСО, где главному стейкхолдеру компании сопоставлены их интересы, мероприятия, которые их затрагивают.

Таблица 12 – Определение элементов программы КСО

Стейкхолдеры	Описание элемента	Ожидаемый результат
Покупатели	Социально-ответственное поведение	Лояльные клиенты
Партнеры	Социально значимый маркетинг	Развитие и создание новых технологий
Топ-менеджеры	Социально-ответственное поведение	Улучшение имиджа предприятия через финансовую состоятельность предприятия
Наемные работники	Социальные инвестиции	Повышение квалификации сотрудников и переподготовка

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что стейкхолдеры компании являются внутренними: покупатели, топ-менеджеры, наемные работники, партнеры.

К перечню элементов программы КСО отнеслись:

1. Социальные инвестиции – вид инвестирования, нацеленный на

поддержку социально одобренных проектов, к которым не применяется нормальная рыночная доходность. Рассматриваются социальные, экологические последствия.

2. Социально значимый маркетинг – форма адресной финансовой помощи, которая заключается в направлении процента от продаж конкретного товара или услуги на проведение социальных программ компании.
3. Социально-ответственное поведение – форма работы компании, которая представляет разнонаправленные инвестиции, основанные на соблюдении правил этического поведения.

Если говорить об ожидаемом результате, то наемные работники ожидают удовлетворения их труда в формах адекватной оплаты, возможностей профессионального роста и построения деловой карьеры, здоровой моральной атмосфере, приемлемых условий и режима труда, хорошего руководства. Топ-менеджеры заинтересованы в профессиональном развитии и возможности контроля и управления финансовыми потоками компании, мощность которых свидетельствует о финансовой состоятельности предприятий. Покупателей интересует качество, безопасность и уровень предлагаемых товаров и услуг. Партнеры заинтересованы в возможности совместной реализации партнерских программ, расширении возможностей и повышении конкурентных преимуществ за счёт обмена знаниями и навыками.

#### **4.5 Затраты на мероприятия КСО**

В таблице 13 определим общий бюджет, ежегодно направленный на реализацию программы КСО.

Ожидаемый результат от реализации программы позволяет оценить значимость будущих итогов реализации программ.

Таблица 13 – Затраты на мероприятия КСО

№	Мероприятие	Единица измерения	Период	Стоимость реализации на планируемый период
1	Социальное страхование работников	руб.	год	1 175 000
2	Расходы на охрану труда	руб.	год	2 320 000
3	Премии к профессиональным праздникам	руб.	год	970 000
4	Развитие человеческого капитала работников через различные обучающие программы, подготовку и повышение квалификации	руб.	год	1 200 000
	ИТОГО:			5 665 000

Компания выплачивает за своих работников все взносы в государственные социальные внебюджетные фонды, уплачиваемые в составе единого социального налога, взносов на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Работникам предприятия обеспечивались здоровые и безопасные условия труда, санитарно-гигиенические условия, предупреждающие производственный травматизм и возникновение профессиональных заболеваний. Также сотрудникам компании предоставляется возможность прохождения обучающих программ для повышения квалификации и развития личностного роста.

Затраты в размере 5 655 000 рублей являются оптимальными для существующей организационной структуры компании.

#### **4.6 Ожидаемая эффективность программ КСО**

В таблице 14 рассмотрим ожидаемую эффективность от внедренных программ КСО на примере результативности как для компании, так и для общества.

Таблица 14 – Оценка эффективности мероприятий КСО

№	Название мероприятия	Затраты, руб.	Эффект для компании	Эффект для общества
1	Социальное страхование работников	1 175 000	Защита сотрудников при возможном изменении материального или социального положения. Поддержание образа надежного работодателя.	Гарантия гражданам при возникновении страхового случая получения материальной поддержки.
2	Расходы на охрану труда	2 320 000	Сохранение здоровья работников, рациональное расходование ими жизненных сил во время работы и для восстановления работоспособности;	Обеспечение безопасности
3	Премии к профессиональным праздникам	970 000	Материальная заинтересованность работников предприятия в качественном и профессиональном исполнении своих должностных обязанностей	Снижения текучести кадров
4	Развитие человеческого капитала работников через различные обучающие программы, подготовку и повышение квалификации	1 200 000	Улучшение показателей перспективности работы сотрудников с повышением продуктивности компании.	Обеспечение рынка профессиональными работниками

Соотношение затрат на мероприятия является оптимальным. Стратегия выполнения приведенных мероприятий выбрана корректно, т.к. эффект от реализации для предприятия такой же значимый, как и эффект для общества.

#### 4.7 Оценка эффективности программ и выработка рекомендаций

1. Программа КСО соответствует целям и стратегии компании. Деятельность прежде всего направлена на удовлетворенного клиента за счет эффективной организации сотрудников, которые обеспечены достойной

заработной платой, условиями труда, ежегодными курсами повышения квалификации.

2. Предприятие преобладает внутренней КСО.

3. Разработанные в компании программы КСО отвечают интересам стейкхолдеров.

4. Реализуя программы КСО предприятие получает:

- Социально-ответственное поведение – лояльные клиенты, улучшение имиджа компании;
- Социальные инвестиции – повышение квалификации сотрудников и их переподготовка;
- Социально значимый маркетинг – развитие и создание новых технологий.

5. Предприятие несет умеренные затраты на мероприятия КСО, результаты стоят потраченных средств.

6. Политика компании характеризуется инновационностью, открытостью, вниманием к своему клиенту и сотруднику. Разработанные инициативы позволяют проводить качественную политику в рамках КСО.

Любое предприятие существует в обществе. Она оказывает влияние на общество через производство товаров и услуг, экологического, экономического воздействия. Корпоративная социальная ответственность позволяет предприятиям делать индивидуальный выбор программ, отражающий цели и видение компании. Разработка программы КСО позволит предприятиям ответственно подходить к своей деятельности, рассматривать ее воздействие на общество в перспективе, предвидя проблемы и решая их.

## Заключение

Сегодня эволюция датчиков и сетевых технологий позволяет связывать ранее недоступные физические объекты с цифровыми моделями. Таким образом, изменения, происходящие с физическим объектом в течение его жизни, отражаются в цифровой модели, и это позволяет предсказать как и будущее данного объекта, так и будущее состояние системы, в которой он взаимодействует с другими объектами и на которую он оказывает влияние.

В работе был проведен подробный анализ реализации концепции цифровых двойников, на текущий момент определено, что технология ЦД находится на завершении третьей стадии, когда происходит взаимодействие между физическим и цифровым двойниками. Также в рамках исследования проанализированы существующие трактовки термина, включая как самые широкие, по своей сути не имеющие практического применения, так и самые узкие, характеризующиеся труднодостижимостью при существующих технологиях. В данной исследовательской работе цифровой двойник определяется как цифровой профиль текущего поведения физического объекта или процесса, способствующего оптимизировать эффективность бизнес-процессов предприятия.

Используя нотацию IDEF0, была сконструирована деятельность логистического склада на этапе действующих процедур (модель бизнес-процессов «AS IS») с последующим выявлением основных проблем склада и оптимизацией до этапа «как должно быть» (модель бизнес-процесса «TO BE»).

Предложен вариант реализации стартапа с разработкой продукта по внедрению цифровых двойников в логистическую систему, который может оказать значительное влияние на проектирование, эксплуатацию и оптимизацию логистической инфраструктуры, такой как склады, распределительные центры и перегрузочные устройства.

На базе построенных ЦД ожидается получить следующие результаты:

- 18% сокращение пути наборщиков;



- 58% сокращение пути наборщиков и штабелеров;
- 28% увеличение производительности набора за счет изменения порядка отправки заказов в работу и размещения грузов.

Привлечь компании, которые начинают проектировать склад, собираются его модернизировать, либо оптимизировать.

Располагая портретом клиента в лице предприятия занимающимся деятельностью склада по оптовой торговле/производству с объемом от 1000 кв.м., насчитывающим более 10 сотрудников на складе, предлагаются подходящие коммерческие предложения. Привлечением потребителей рекомендуется через следующие каналы продвижения: e-mail маркетинг, холодные звонки, контекстная реклама, специализированные порталы, сайт с последующей презентацией и демоверсией продукта.

Оценка экономической эффективности проекта показала, что с общей численностью персонала из 8 человек и рассчитанными постоянными и переменными затратами, стартап окупается на седьмой месяц. Чистая текущая стоимость проекта составит 501 339,97 рублей, индекс рентабельности 1,2, а внутренняя норма доходности 60%. Все это говорит о том, что проект является перспективным, а также эффективным с экономической точки зрения и в него стоит вкладываться.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Glaessgen, E. H. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles / E.H. Glaessgen, D.S. Stargel // Structural Dynamics and Materials Conference. – 2012. – Vol. 53. – P. 2-14. – DOI: 10.2514/6.2012-1818.
2. Kitain, L. The New Age of Manufacturing: Digital Twin Technology & IoT / L. Kitain – Текст: электронный. – 2018. – URL: <https://medium.com/@lior.kitain/the-new-age-of-manufacturing-digital-twin-technology-iiot-494acee5572a> (дата обращения: 10.01.2022).
3. Grieves, M. Origins of the Digital Twin Concept / M. Grieves. – Text : electronic // Florida Institute of Technology. – 2016. – P.18-26. – DOI:10.13140/RG.2.2.26367.61609.
4. Прохоров, А.Н. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А.Н. Прохоров, М.Ю. Лысачев, А.С. Боровков. – Москва : ООО «АльянсПринт». – 2020. – 401 с. – ISBN 978-5-98094-008-9.
5. Mengnan L. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications / L. Mengnan, S. Fang, H. Dong, C. Xuab // Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – Vol. 58. – P. 346-361. – DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
6. Shafto, M. DRAFT Modeling, Simulation, information Technology & Processing Roadmap / M. Shafto, M. Conroy, R. Doyle, C. Kemp – Текст: электронный – Washington: NASA Headquarters, 2016. – URL: [https://www.nasa.gov/pdf/501321main\\_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf) (дата обращения: 14.03.2022).
7. Leng, J. Digital twin-driven joint optimisation of packing and storage assignment in large-scale automated high-rise warehouse product-service system / J. Leng, L. Yan, Q. Liu, H. Zhang // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. – 2019. – Vol. 34. – P. 1-18. – DOI: 10.1080/0951192x.2019.1667032.

8. Reifsnider, K. Multiphysics Stimulated Simulation Digital Twin Methods for Fleet Management / K. Reifsnider, P. Majumdar // Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures. – 2019. – Vol. 54. – P. 1-18. – DOI: 10.2514/6.2013-1578.

9. Grieves, M. Digital Twin : Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves – Текст: электронный – LLC: Michael W. Grieves, 2016. – URL: [https://web.archive.org/web/20170517031855/http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc\\_mgr/912/1411.0\\_Digital\\_Twin\\_White\\_Paper\\_Dr\\_Grieves.pdf](https://web.archive.org/web/20170517031855/http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf) (дата обращения: 14.03.2022).

10. Rosen, R. About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing / R. Rosen, G. von Wichert, G. Lo // IFAC-PapersOnLine. – 2019. – Vol. 48. – P. 567-572. – DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.141.

11. Rosen, R. From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems / M. Schluse, J. Rossmann // International Symposium on Systems Engineering. – 2016. – P. 1-6. – DOI: 10.1109/syseng.2016.7753162.

12. Talkhestani, B.A. Digital Twin : Consistency check to synchronize the Digital Twin of manufacturing automation based on anchor points / B.A. Talkhestani, N. Jazdi, W. Schloegl, M. Weyrich – Текст: электронный – Procedia CIRP, 2018. – URL: [ias.uni-stuttgart.de/dokumente/publikationen/2018\\_Consistency\\_check\\_to\\_synchronize\\_the\\_Digital\\_Twin\\_of\\_Manufacturing\\_automation\\_based\\_on\\_anchor\\_points.pdf](https://ias.uni-stuttgart.de/dokumente/publikationen/2018_Consistency_check_to_synchronize_the_Digital_Twin_of_Manufacturing_automation_based_on_anchor_points.pdf) (дата обращения: 14.03.2022).

13. Madni, A. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering / A. Madni, S. Lucero – Текст : электронный – Systems, 2019. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-8954/7/1/7> (дата обращения: 14.03.2022).

14. Digital Twin Manufacturing Framework 2019. – Текст : электронный. // ISO 10303-238 STEP-NC Standard. – 2019. – URL: <https://ap238.org> (дата обращения: 22.04.2022).
15. Sommer, M. Digital Twin: A Conceptual View / M. Sommer, S. Stobrawa. J. Stjepandic // DigiTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment. – 2021. – Vol. 1. – P. 31-49. – DOI: 10.1007/978-3-030-77539-1\_3.
16. Mahadevan, S. Digital Twin: Generalization, characterization and implementation/ S. Mahadevan, E.D. Horn // Decision Support Systems. – 2021. – Vol. 145. – P. 1-11. – DOI:10.1016/j.dss.2021.113524.
17. Feasibility of an immersive digital twin. The definition of a digital twin and discussions around the benefit of immersion. – Текст : электронный // Advanced Manufacturing Research Centre. – 2018. – URL: [https://www.amrc.co.uk/files/document/219/1536919984\\_HVM\\_CATA\\_PULT\\_DIGITAL\\_TWIN\\_DL.pdf](https://www.amrc.co.uk/files/document/219/1536919984_HVM_CATA_PULT_DIGITAL_TWIN_DL.pdf) (дата обращения: 15.04.2022).
18. Digital Twin Market by Technology, Type, Industry and Geography. – Текст : электронный // MarketsandMarkets. – 2018. – URL: [marketresearch.com/MarketsandMarkets-v3719/Digital-Twin-Technology-Type-Product-12544627](https://marketresearch.com/MarketsandMarkets-v3719/Digital-Twin-Technology-Type-Product-12544627) (дата обращения: 15.04.2022).
19. Digital Twins are mission critical. – Текст : электронный // GE Digital. – 2021. – URL: <https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin> (дата обращения: 17.04.2022).
20. Digital Twins: Realizing the Predictive Maintenance Vision. – Текст : электронный // Ansys Blog. – URL: <https://www.ansys.com/blog/digital-twins-realizing-the-vision> (дата обращения: 17.04.2022).
21. Grieves, M. W. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / M. W. Grieves – Текст : электронный // Florida Institute of Technology Center for Advanced Manufacturing and Innovative Design. – 2019. – URL: <https://polytechnic.purdue.edu/sites/default/files/files/>

[Fall16-%20Grieves%20-%20Digital%20Twin%20Mitigating%20Upredictable%20systems.pdf](#) (дата обращения: 14.03.2022).

22. J. Who Will Win the Digital Twin Services Race? / J. Perino. – Текст : электронный // Industrial Transformation Blog. – 2020. – URL: <https://blog.insresearch.com/who-will-win-digital-twins-services-race> (дата обращения: 03.04.2022).

23. Kalwani, S. Evolution of Digital Twins for Asset operations / S. Kalawani. – Текст : электронный // Element. – 2018. – URL: <https://www.elementanalytics.com/blog/evolution-of-digital-twins-for-asset-operations> (дата обращения 04.05.2022).

24. Forging the digital twin in discrete manufacturing. – Текст : электронный // LNS Research. – 2019. – URL: <https://ifwe.3ds.com/sites/default/files/Forging%20the%20Digital%20Twin%20in%20Discrete%20Manufacturing.pdf> (дата обращения: 23.04.2022).

25. Blanchard, B.S. Systems engineering and analysis. – Текст : электронный // Internet Archive. – 2006. – URL: <https://archive.org/details/systems-engineering-00blan/page/788/mode/2up> (дата обращения: 23.04.2022).

26. Introduction to the InfluxData platform. – Текст : электронный // InfluxData. – 2020. – URL: <https://docs.influxdata.com/platform> (дата обращения: 07.03.2022).

27. InfluxData: Time series database (TSDB) explained. – Текст : электронный // InfluxData. – 2020. – URL: <https://www.influxdata.com/time-series-database> (дата обращения: 07.03.2022).

28. Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker . – Текст : электронный // InfluxData. – 2020. – URL: <https://mosquitto.org/> (дата обращения: 15.04.2022).

29. Сергеев, В.И. Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок: аналитический обзор / Сергеев В.И., Дыбская В.В., Лычкина Н.Н, Морозова Ю.А. – Москва : Изд. дом Высшей школы экономики. – 2020. – 401 с. – ISBN 978-5-98094-008-9.

30. Цифровые двойники в логистике. – Текст : электронный // ПервыйБит. – 2019. – URL: <https://nfp2b.ru/2019/08/28/tsifrovye-dvojniki-v-logistike/> (дата обращения: 30.04.2022).
31. ГОСТ Р 50.1.028-2001. Методология функционального моделирования. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции: дата введения 2002-07-01 – URL: <https://advanced-quality-tools.ru/assets/idef0-rus.pdf> (дата обращения: 12.12.2021). Текст : электронный.
32. Описание бизнес-процессов «Как есть» и «Как должно быть». – Текст : электронный // Trinion. – 2022. – URL: <https://trinion.org/blog/opisanie-biznes-processov-kak-est-as-is-i-kak-dolzhno-byt-to-be> (дата обращения: 01.05.2022).
33. PostgreSQL. – Текст : электронный // PostgreSQL. – 2020. – URL: <https://www.postgresql.org/about/> (дата обращения: 07.03.2022).
34. Sadio, O. Lightweight Security Scheme for MQTT/MQTT-SN Protocol. – Текст : электронный // Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security. – 2019. – <https://ieeexplore-ieee.org/proxylibrary.hse.ru/document/8939177> (дата обращения: 23.04.2022).
35. Somasegar, S. Руководство Microsoft по проектированию архитектуры приложений. – Текст : электронный // Корпорация Майкрософт. – 2009. – URL: [https://www.studmed.ru/view/somasegar-s-guthrie-scott-rukovodstvo-microsoft-po-proektirovaniyu-arhitektury-prilozheniy\\_5393f00805d.html](https://www.studmed.ru/view/somasegar-s-guthrie-scott-rukovodstvo-microsoft-po-proektirovaniyu-arhitektury-prilozheniy_5393f00805d.html) (дата обращения: 04.05.2022).
36. Gartner Top 10 Strategic Technology Trends For 2020. – Текст : электронный // Gartner. – 2022. – URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020> (дата обращения: 01.05.2022).

**Приложение А**  
**(справочное)**  
**Финансовый план**

Таблица 1. Финансовый план проекта

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Спрос	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	1	1
<b>Выручка</b>	550 000	550 000	1 100 000	550 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	550 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000
Заказы клиентов	550 000	550 000	1 100 000	550 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000	550 000	1 100 000	1 100 000	<b>1 100 000</b>
<b>Расходы</b>	716099	702099	702099	702099	702099	702099	702099	702099	702099	702099	702099	702099
Единовременные	353 200											
Постоянные	192973	192973	192973	192973	192973	192973	192973	192973	192973	192973	192973	192973
<i>Канцелярия</i>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<i>Реклама</i>	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000	17 000
<i>Аренда</i>	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
<i>ФОТ</i>	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973	143 973
Переменные	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126
<i>ФОТ</i>	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126	509 126
<i>Налог на прибыль</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Прибыль</b>	-505 299,00	-129 284,15	338 215,85	-152 099,00	338 215,85	338 215,85	338 215,85	338 215,85	-129 284,15	397 901,00	338 215,85	338 215,85
<b>Кэфф. диск</b>	-561 443,33	-168 998,89	442 112,22	-168 998,89	442 112,22	442 112,22	442 112,22	442 112,22	-168 998,89	442 112,22	442 112,22	442 112,22
<b>Диск. доход</b>	1,000	0,862	0,743	0,641	0,552	0,476	0,410	0,354	0,305	0,263	0,227	0,195
<b>Диск. расход</b>	1 055 299,	605 257,76	521 773,93	449 805,11	387 763,03	334 278,47	288 171,10	248 423,36	214 158,07	184 619,02	159 154,33	137 202,01
<b>Диск. прибыль</b>	-505 299,00	-131 119,83	295 705,26	-97 443,39	219 757,18	189 445,84	163 315,38	140 789,12	-46 394,07	104 629,25	90 197,63	77 756,58
<b>Накоп. диск. прибыль</b>	-505 299,00	-636 418,83	-340 713,57	-438 156,96	-218 399,78	-28 953,93	134 361,45	275 150,57	228 756,51	333 385,76	423 583,39	501 339,97
<b>NPV</b>	501 339,97	501 339,97										
<b>PI</b>	1,198											
<b>IRR</b>	0.6											
	7											
<b>Срок окупаемости</b>	месяцев											

**Приложение Б**  
**Раздел на иностранном языке**  
**(справочное)**

**Digital twin in the logistics system**

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ЗНМ01	Дашпылова Мирослава Витальевна

**Руководитель ВКР**

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Калашникова Т.В.	к.т.н., доцент		

**Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП	Коротченко Т.В.	к.филол.н.		



## **1 Digital Twin**

With the development of technologies such as the Internet of Things (IoT), big data analytics, distributed cloud computing, OpenAPI, AR / VR, statistical digital models have moved into a virtual form that helps predict and simulate future situations, determine the state of physical objects and even the behavior of the environment.

Gartner defines a digital twin is a digital representation of a real-world entity or system. The implementation of a digital twin is an encapsulated software object or model that mirrors a unique physical object, process, organization, person or other abstraction. Data from multiple digital twins can be aggregated for a composite view across a number of real-world entities, such as a power plant or a city, and their related processes.

Changes that occur with a physical object during its life are reflected in a digital model, and this allows you to predict not only the future of this object, but also the future state of the system in which it interacts with other objects and which it influences.

There are the following benefits of Digital Twin:

1. Reducing production costs. A digital twin will allow tests and simulations to be carried out in a virtual environment, which will reduce defects during actual production, and thus reduce production costs.
2. Forecasting with a significantly higher degree of reliability of the state of the object, as well as tracking its state in real time.
3. A deeper understanding of the processes taking place in the object, with the help of the development of statistics on the "virtual" operation of the object.
4. More accurate calculation of project economics.
5. Identification of weak parts of the system and subsequent elimination of their shortcomings.

Digital Twins can be classified as Digital Twin Prototype (DTP), Digital Twin Instance (DTI) and Digital Twin Aggregate (DTA):

- Digital Twin Prototypes are the basis for further creation of physical versions of product instances, i.e. DTP contain all the necessary information for replicating physical objects based on the designated product model.
- Digital Twin Instances are modeled for a specific physical object and remain connected throughout the entire life cycle of the physical object. Initially, the DTI contains the basic information embedded in the prototype, but during the life cycle it is supplemented with operational data. When the physical object changes, the DTI will also be rebuilt.
- Digital Twin Aggregate are considered as a set of Digital Twin Instances of physical objects. In general, DTA are created to explore the group behavior of objects.

When considering digital twins as a tool for digitalization of production, they can be divided into a digital twin of a product, production and productivity (depending on a stage of the product life cycle modeling occurs):

- A digital twin of a product is associated with a specific physical object and shows how the physical product functions. The digital twin of a product can be used to check any characteristics of a product, simulate various patterns of behavior, conduct tests, and for other purposes. As a result, in the presence of a digital twin, the final product can be produced with optimal characteristics and in a shorter development time.
- A digital twin of production allows you to simulate the production process and select the most efficient production methodology before it actually starts. Manufacturing digital twins can also include product digital twins to predict downtime, equipment wear and tear, and to plan and expedite manufacturing operations.

- A Digital Twin of Performance is designed to collect and analyze Big Data from smart products and smart factories to support quality decision making.

Digital twins can also be classified depending on the business goal being realized:

- “Information-diagnostic” digital twins are used for monitoring, collecting and analyzing data, detecting emergencies.
- “Predictive” digital twins are aimed at predicting the future behavior of a physical object.
- “High-quality” digital twins allow you to identify bottlenecks and optimize all processes at the stage of planning and product development.
- “Operational” digital twins are aimed at increasing transparency and improving ongoing processes.

### **Market analysis**

Let us consider the digital twin market. Since 2017, Gartner has included digital twins in the top 10 strategic technology trends. It is not easy to assess the volume and dynamics of the digital twin market because of the inconsistency in their interpretation, the difficulty of distinguishing the work of creating a digital document from related software and engineering. Estimates of global annual DT sales (industrial, healthcare, retail, consumer products) vary between US \$3–4 billion in different studies. The forecast for the nearest period (3-5 years) is constantly adjusted upwards: from US \$26.1 billion in 2025 with an average annual growth of 38.2% to US \$48.2 billion in 2026 with an average annual increase of 42.5%.

The main world players are located in the USA, Germany, France, Japan. However, China occupies a special place, having become the largest market for the implementation of digital twin solutions. China's research activity in the field of digital art is unprecedented: it leads in terms of the number of publications (120

papers), overtaking Germany (116) and the USA (113). In terms of the number of sponsorship initiatives, the National Natural Science Foundation of China is leading (53 projects) against 20 from the EU for the development of scientific research and development.

The Russian DT market is just emerging, its current volume does not exceed US \$200 million and the potential is associated primarily with the presence of key competencies in the field of modeling and IT technologies. In the survey, experts of the largest Russian companies, research and applied organizations expect the boom of the digital currency to come to Russia, but with a lag of 5-10 years behind the world analogues. The same respondents rank DT as the third most in-demand production technology.

## **2 Stages of implementation of the Digital Twin**

To get the maximum benefit from the use of digital twin technology, it is necessary to apply it in conjunction with other advanced technologies of Industry 4.0. These include the Internet of Things (Industrial Internet of Things), augmented and virtual reality, data analytics, artificial intelligence, cloud computing, big data, machine learning, and others. Together, these technologies provide a significant effect and value for the business. Various technologies can be connected step by step.

### *Assembly and data storage stage*

IoT technology is one of the most important enabling technologies for the digital twin. The Internet of Things allows devices to collect data from physical objects in real time, as well as communicate with “smart” devices with each other. This “revitalizes” the digital twin, as it provides it with a huge amount of collected actual data.

The most important element of the Internet of the IoT is the “smart” device. A "smart" device may consist of a sensor, a radio module, a micro-controller, an actuator and a power source. The elements of a smart device and their interactions are described in more detail below.

Sensors are responsible for collecting data in real time. Sensors can be analog, measuring analog signals (for example, temperature in degrees Celsius, distance in meters) and digital. After the data has been read by the sensors, it is digitized and processed by microcontrollers and other edge devices. Further, the data is sent to the gateway, which receives the radio signal from the "smart" devices, processes it and transmits it to the server. IoT network servers can be implemented on the basis of a virtual server, a real machine, or through the cloud. The figure below shows an example of interaction between devices and an IoT network with a cloud server and a time series database. However, relational databases are slower in ingesting large amounts of data due to the need to index records, while time series databases index time-aggregated data, which allows loading speeds to remain stable. Examples of time series storage solutions include InfluxDB, Prometheus, TimesterDB, Graphite, QuestDB, AWS Timestream, OpenTSDB, and others.

To ensure the interaction of IoT network elements, the following data transmission networks Z-Wave, ZigBee, 6LoWPAN can be used. Modern IoT solutions are based on data transfer protocols (usually MQTT and HTTP) and ensure the interaction of end devices with cloud services.

#### *Data analysis stage*

At the stage of analyzing the collected data, various technologies can be connected, the composition of which can be determined in accordance with the needs of the enterprise and the requirements for the digital twin.

An important technology when considering the process of data analysis is artificial intelligence technology, in particular machine learning. The digital twin not only reflects the current state of the physical object, but also has the potential for predictive analytics. Therefore, the use of artificial intelligence and machine learning algorithms provides an opportunity for more accurate analysis compared to using traditional simulation methods.

#### *Simulation stage*

The simulation model can serve as the core of the digital twin. Many researchers note that the design of digital twins should be based primarily on the use

of simulation methods that provide the most realistic representation of a physical object in the virtual world. AnyLogic, OpenModelica, Powersim and others can act as simulation systems.

#### *Visualization stage*

The results of data analysis and modeling can be presented to the user in different ways, for example, in the form of a dashboard or other user interface.

In conjunction with the digital twin, augmented and virtual reality (AR / VR) technologies can also be used, which makes the digital twin more visual, and also provides employees with the opportunity to interact with the digital twin and with its elements in a virtual environment. Augmented and virtual reality technologies provide additional opportunities for training and practice of employees, eliminating any kind of risk, which are just some examples of the application of these technologies.

### **3 Implementation of DT in logistics**

If we talk in detail about the implementation of digital twins in the logistics system, then now DT can be integrated almost step by step. Let us take a closer look at each of them below.

#### *Package*

The vast majority of products that are transported through logistics networks are in protective packaging. The industry uses a large number of single-use packaging with specialized or universal reusable containers. The design, monitoring and management of packaging and containers pose a number of challenges for the industry. For example, the development of trade stimulates demand, seasonal volatility and a variety of packaging types. This leads to the accumulation of waste due to inefficient use of volume.

The application of DT technologies can help develop stronger, lighter and more environmentally friendly packaging materials. Companies are currently exploring a range of new materials, including compostable plastics and materials with a high post-consumer recycle rate.

### *Packing and containers*

If a digital twin of a product has already been created, then the data describing its geometry can be easily obtained. Otherwise, item data may be generated during delivery preparation using 3D scanning. Combining product and packaging data will help companies improve efficiency, for example by automating packaging selection and container packaging strategies.

### *Warehouses and distribution centers*

Digital twins can have a significant impact on the design, operation and optimization of logistics infrastructure such as warehouses, distribution centers and transfer facilities. They can combine a 3D object model with IoT data collected from connected storage platforms, as well as inventory and operations data, including characteristics such as size, quantity, location, and demand for each object.

Warehouse digital twins can support the design and layout of new products, allowing companies to optimize space utilization and simulate the movement of products, personnel, and material handling equipment.

### *Logistics infrastructure*

Warehouses and distribution centers make up only a small part of the entire logistics infrastructure. The flow of goods to their destination depends on the organization of many elements of the supply chain, including ships, trucks and aircraft, ordering and information systems, and, above all, people. This complex, multi-stakeholder system is most visible in the world's major logistics centers such as airports and container ports. Today, at these sites, the problem of efficient operation is complicated by imperfect information exchange systems, which can be prone to errors and delays.

### *Global logistics network*

In logistics, the digital twin will be a model of the entire network, including not only logistics assets, but also oceans, rail lines, highways, streets, and customer homes and workplaces. The idea of such an all-encompassing twin is now largely an aspiration for the logistics industry.