

Санкт-Петербургский Государственный Университет

**КОРОЛЕВ Егор Владимирович**

**Выпускная квалификационная работа**

**«Совершенствование процессов обслуживания производственных активов в металлургии путем внедрения комплекса цифровых двойников»**

Уровень образования:

Направление 38.04.05 «Бизнес-информатика»

Основная образовательная программа ВМ.5604.2020 «Информационная бизнес-аналитика»

Научный руководитель:  
Вьюненко Людмила Федоровна,  
к.ф.-м.н., доцент Кафедры информационных систем в экономике

Санкт-Петербург

2022 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ .....	5
Глава 1. Анализ подходов и лучших практик в области обслуживания производственных активов.....	5
1.1.    Описание сформировавшейся проблемы в области оценки состояния производственных активов .....	5
1.2.    Анализ подходов к решению проблемы оценки состояния и обслуживания активов .....	6
1.3.    Анализ лучших практик в области оценки состояния и обслуживания производственных активов .....	9
1.4.    Анализ технологии цифровых двойников производственных активов .....	11
1.5.    Анализ технологии нейроинтерфейсов .....	16
Глава 2. Анализ проблемы оценки состояния и обслуживания на конкретном предприятии и формирование представления о текущем состоянии .....	19
2.1.    Описание компании и ее бизнес-модели.....	19
2.2.    Характеристика производства основной продукции .....	23
2.3.    Характеристика оценки состояния и обслуживания производственных активов .....	26
2.4.    Вывод к 2 главе .....	36
Глава 3. Предложение решения сложившейся проблемы оценки состояния и обслуживания производственных активов .....	37
3.1.    Выбор рационального решения и программно-аппаратного комплекса для его поддержки .....	37
3.2.    Оценка эффекта от проекта по внедрения решения.....	41
3.3.    Формирование требований к решению .....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	66

## ВВЕДЕНИЕ

Процессы цифровой трансформации и развития концепции Индустрии 4.0, с одной стороны, открывают перед промышленными предприятиями новые возможности и пути развития, но с другой стороны диктуют условия выживания в условиях высокой конкуренции и формулируют требования к применению технологий в производстве. Компании-пионеры цифровой трансформации, уже на ранних этапах развития той или иной технологии или концепции инвестирующие в проекты внедрения этих технологий в бизнес, обретают существенное преимущество перед своими конкурентами, укрепляя позиции на рынке, в то время как догоняющие компании или вовсе предпочитающие консервативную стратегию развития, все сильнее отстают и постепенно уходят с рынка. Такой тренд усиливает разрыв между лидерами и аутсайдерами рынка, и со временем его преодоление становится сложнее, сводясь к невозможному.

Западные крупные промышленные организации уже прошли или завершают путь цифровой трансформации, обеспечивая высокий уровень автоматизации процессов и поддержки принятия решений, в то время как отечественные компании взяли вектор развития цифровизации значительно позже, но с высоким темпом, поскольку большая часть технологий уже прошла «обкатку» на Западе. Так, согласно исследованию РБК [ссылка], 96 % российских компаний планируют совершить шаги на пути цифровой трансформации бизнес-модели путем внедрения информационных технологий, а 33 % уже инициировали проекты по развитию и внедрению цифровых технологий. Концепция «цифрового завода» в рамках развития Индустрии 4.0 не является инновационной, поскольку в ряде наиболее крупных компаний уже совершено ее внедрение и проводится дальнейшее развитие, однако концепция имеет под собой широкий спектр возможных применений технологий, оставляя организациям простор для поиска наиболее релевантного и перспективного набора для обеспечения конкурентных преимуществ и повышения ценности готовой продукции для потребителей.

Целью данной выпускной квалификационной работы является описание проекта по совершенствованию производственных процессов промышленной компании посредством создания комплекса цифровых двойников. В рамках работы рассматривается крупная компания, одна из числа лидеров российского рынка в области металлургии, и ее дочернее предприятие, отвечающее за выполнение работ по обслуживанию производственных мощностей. Объектом исследования является процесс технического обслуживания

производственных активов, в качестве предмета исследования выступают производственные активы – станки, печи, оборудование, инвентарь, а также персонал – операторы станков и участвующие в производственном процессе сотрудники.

Для реализации поставленных целей в рамках работы были поставлены следующие задачи:

- 1) Поиск и анализ информации о существующих подходах к оценке состояния и обслуживания производственных активов
- 2) Анализ технологий цифровых двойников и нейроинтерфейсов
- 3) Сбор информации о реализованных проектах и рыночных трендах
- 4) Обзор текущего состояния компании, динамики ее развития, анализ приоритетных целей компании
- 5) Анализ текущего состояния направления производства на предприятия, включая определение ключевых целей и выявление проблемных участков
- 6) Анализ текущего состояния направления оценки состояния и обслуживания производственных активов на предприятии
- 7) Анализ узких мест и проблемных зон рассматриваемых процессов
- 8) Поиск наиболее релевантного решения в соответствии с заданными факторами
- 9) Проектирование целевого состояния архитектуры и процессов в рамках производства и обслуживания производственных активов
- 10) Формирование требований к проектируемому решению
- 11) Анализ и оценка ожидаемых результатов от внедрения

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 1. Анализ подходов и лучших практик в области обслуживания производственных активов

#### 1.1. Описание сформировавшейся проблемы в области оценки состояния производственных активов

Оценка состояния производственных активов и мониторинг состояния – процесс проведения технического анализа и экспертизы состояния активов, напрямую задействованных в производственных процессах и добавлении ценности продукта для конечного потребителя. Оценка позволяет провести проверку фактического состояния производственного актива на предмет пригодности актива и его составляющих для использования в производственном процессе, составить прогноз о потенциальном сроке до следующего обслуживания, определить риски выхода из строя и сбоев, влияющих на непрерывность и бесперебойность процессов. Наиболее распространенными и важными показателями, которые поддаются измерению, являются температура, давление, уровень вибрации, шума, наклона и др. Для обеспечения точности оценки могут быть использованы различные подходы, методы и инструменты в зависимости от располагаемых ресурсов и требований к погрешности оценки. Ряд компаний имеет достаточно ресурсов для поддержки собственных процессов и команд, занимающихся оценкой, однако большая часть компаний обращается к внешним контрагентам и получает оценку состояния и техническое обслуживание как услугу.

##### 1.1.1. Формирование понятия производственных активов и их состав в контексте работы

В качестве производственных активов могут быть рассмотрены станки на производственных линиях, конвейеры, компьютерная и вычислительная техника, сетевое оборудование и др. Персонал также может быть рассмотрен в качестве составляющей производственных активов, поскольку человек является непосредственным участником производственного процесса и обеспечивает создание ценности конечного продукта. Состояние человека существенным образом может оказывать влияние на конечный результат производства, что вынуждает, в свою очередь, обращать внимание не только на техническое состояние оборудования, но и на состояние персонала, как физическое, так и психоэмоциональное.

## 1.2. Анализ подходов к решению проблемы оценки состояния и обслуживания активов

Для определения подхода к оценке и мониторингу состояния производственных активов и их обслуживания необходимо провести анализ актуальных и используемых в производственных процессах методов, а также оценить их взаимные преимущества и недостатки.

### 1.2.1. Реактивное обслуживание

Принцип данного подхода звучит как «Если что-то сломалось, это необходимо починить». Такой подход подразумевает инициацию обслуживания активов после наступления события риска и осуществление всей деятельности постфактум. Он является наиболее дешевым в поддержке методом и служит отправной точкой для большей части организаций. Однако обратной стороной такого подхода является высокая вероятность реализации рисков и почти полное отсутствие системы мониторинга состояния для предотвращения или минимизации рисков. Значительной отрицательной стороной этого подхода является, на фоне его дешевизны, потенциальная остановка всего производства на неопределенный срок и блокировка процессов и продаж, неся при этом убытки организации. Таким образом, этот подход приемлем в производствах, у которых преобладают риски 3 группы и отсутствуют 1 и 2 групп, а также отсутствуют жесткие требования по непрерывности бизнеса.

### 1.2.2. Превентивное обслуживание

Превентивное обслуживание является логическим продолжением реактивного обслуживания. Превентивный подход подразумевает внедрение регулярной диагностики по календарю с заданной периодичностью, которая может адаптироваться в соответствии с принципом минимизации MTBF – среднего времени между поломками. При этом подразумевается запланированная остановка производственных линий для проведения оценки и обслуживания. Такой подход дороже реактивного и требует заключения контрактов на обслуживание или содержание собственного штата специалистов, однако он значительно повышает уровень контроля над производственными рисками и дает возможность строить прогнозы относительно работы тех или иных активов. Однако такой подход подразумевает остановку линий для диагностики, что также несет за собой убытки в результате простоев, а качество оценки существенно зависит от компетенций специалистов, которые ее проводят. Этот подход является достаточно эффективным в

сочетании с другими подходами, такими как предиктивное или прескриптивное обслуживание.

### 1.2.3. Обслуживание по мере использования

Данный подход основан на сроке полезного использования каждого из компонента и обслуживания/замены комплектующих по мере его износа и приближения окончания срока использования. Такое решение устраняет проблему слишком частого или избыточного обслуживания, которое имеет место при превентивном обслуживании, декомпозирует активы на отдельные части, составить более чувствительные к этим компонентам интервалы обслуживания, основанные на интенсивности использования этих компонентов. Такой подход способствует сокращению издержек от слишком частого и излишнего обслуживания и диагностики, однако требует большего погружения в устройство активов, их компонентов и требует тщательный анализ использования активов, чтобы оптимизировать расписание обслуживания. Таким образом, возрастают затраты на персонал ввиду больших требований к компетенциям и поддержке процесса, поскольку необходимо вести мониторинг использования активов.

### 1.2.4. Обслуживание по состоянию

Обслуживание по состоянию очень схоже с обслуживанием по мере использования, однако требует большей интенсивности мониторинга эксплуатации производственных активов и сбора большего количества данных с увеличенной глубиной. Обслуживание актива инициируется лишь тогда, когда актив начинает показывать отклонения в производительности или качестве работы выше заданного порога. Сбор данных может осуществляться с помощью датчиков или же посредством аналоговых инструментов и методов в зависимости от бюджета, выделяемого компанией под данные процессы. Такой подход поддерживает стремление использовать активы до их пределов, максимизируя время использования до тех пор, пока производительность и качество продукции находятся в допустимых пределах, что является шагом вперед управления производственными издержками в части управления закупками и запасами запасных частей. Обслуживание по состоянию требует привлечение дополнительных затрат на персонал, датчики и сбор данных с активов, и использование этого подхода целесообразно, если эти затраты перекрываются убытками от простоев и незапланированных выходов из строя. С другой стороны, использование этого подхода, несмотря на его эффективность, может быть осложнено тем фактором, что сам подход требует обслуживания: регулярной замены датчиков, изменение модели сбора данных и др., возникает двойной объем работ по

обслуживанию. Таким образом, данный подход является эффективным на производствах, требующих частой замены компонентов ввиду их износа, а также с высокой стоимостью простоя оборудования.

### 1.2.5. Предиктивное обслуживание

Предиктивное обслуживание подразумевает наличие системы, которая позволяет предсказывать, когда вероятнее всего потребуется обслуживание тех или иных компонентов или всего актива в целом. Система отвечает за построение прогнозов предполагаемого момента из строя компонента заблаговременно, чтобы обеспечить возможность замены компонента или отладки неисправности до момента наступления риска. Построение прогнозов обеспечивается использованием моделей искусственного интеллекта, интернета вещей и нейронных сетей. Помимо управления прогнозами выхода из строя активов данный метод решает проблему управления запасами и поставками, сводя к минимум лишние закупки, ожидая, что запчасти будут поступать «точно в срок» в соответствии с подходом бережливого производства, а также исключает риски, связанные с человеческим фактором, который может влиять на качество инспекции состояния оборудования традиционными методами. Ключевой задачей, необходимой при внедрении такого подхода является калибровка промежутка допустимых значений работы активов, чтобы не вызвать пере- или недообслуживание. Несомненным преимуществом такого подхода является существенное снижение убытков от простоев, лишних закупок и переобслуживания активов при корректной настройке модели. Однако недостатками являются потенциально высокая стоимость датчиков, разработки и поддержки модели, необходимо иметь ряд специалистов для обслуживания модели и датчиков, что также может нести высокие издержки в случае самостоятельной разработки in-house решения.

### 1.2.6. Прескриптивное обслуживание

Прескриптивное обслуживание является продолжением предиктивного, расширяя инструментарий машинного обучения и IoT инструментами имитационного моделирования и оптимизации работы производственных активов. Таким образом, предиктивное обслуживание способно построить прогноз до возникновения неисправности или иного риска при сохранении плановых уровней нагрузки и эксплуатации активов, в том время как прескриптивное обслуживание решает задачу поиска решения минимизации риска или увеличения срока использования компонента посредством моделирования различных сценариев изменения эксплуатации.

## 1.3. Анализ лучших практик в области оценки состояния и обслуживания производственных активов

### 1.3.1. Проекты в России

На текущий момент цифровые двойники успешно внедрены в единичных организациях, поэтому российская экспертиза в области цифровых двойников находится на этапе развития. Согласно дорожной карте Национальной технологической инициативы, к 2024 году планируется применение цифровых двойников уже на 250 предприятиях.

Одним из первых и наиболее известных и уже завершившихся проектов по созданию цифровых двойников является проект Новочеркасского электровозостроительного завода, в ходе которого оцифровке подверглось порядка 300 производственных узлов и 70 типов транспорта. На базе НЭВЗ, входящего в состав АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), будет опробован концепт цифрового двойника всего завода, который после апробации будет масштабирован на другие производственные компании холдинга. Руководство компании отмечает выполнение всех целей, поставленных на этапе запуска проекта и достижения ожидаемых результатов по сокращению внепроизводственных затрат благодаря повышению качества и бесперебойности процессов.

В сфере металлургии уже завершён проект по созданию цифровых двойников в компании «Северсталь» на основе решения General Electric Predix, в результате которого удалось достичь снижения издержек на внеплановое обслуживания на 20 %.

В 2021 году инициирован проект по созданию цифровых двойников в компании АО «Тагмет», входящей в состав Трубной металлургической компании (ТМК). Результаты, достигнутые «Северсталью», показали высокий потенциал применения технологии в металлургии, что повлияло на принятие решений о запуске проектов в ряде других компаний отрасли. Проект «Тагмета» пока что не подразумевает цифровую трансформацию всего производства, а концентрируется на процессе прокатки труб в линии трубопрокатного агрегата с потенциальным масштабированием на другие линии и процессы.

Совокупные результаты, достигнутые российскими компаниями, внедрившими технологию цифровых двойников, согласно опыту General Electric, показывают высокую эффективность проектов, что отражает следующая динамика:

- 1) Сокращение финансовых издержек на 10–50 %
- 2) Сокращение трудозатрат и временных издержек на 20–70 %
- 3) Увеличение прибыли на 10–50 %

Однако стоит отметить, что по мере внедрения технологии во все большее количество компаний ценность и эффект от внедрения будут неизбежно сокращаться. Так, согласно мировому исследованию консалтинговой компании PwC [6], только 27% компаний, которые были первопроходцами в своих отраслях, смогли добиться существенного эффекта, и лишь 10 % компаний, которые внедряли технологию позже, смогли также добиться хорошего результата.

### 1.3.2. Проекты в мире

Иностранные компании имеют большую экспертизу в области проектов внедрения цифровых двойников. Так, к 2016 году уже 196 компаний смогли ощутить сокращение издержек производства на 30 % в результате внедрения технологии. К 2020 году стоимость рынка цифровых двойников достигла значения в 5,1 млрд долларов США, при этом планируемое значение к 2026 году составляет 35,5 млрд долларов США, что отражает высокую инвестиционную привлекательность технологии и активную деятельность компаний по ее внедрению. Рассматривая реализованные проекты, наиболее успешными и интересным являются:

- 1) Проект Формулы 1 по созданию цифровых двойников гоночных болидов. В результате реализации проекта был реализован двойник болида, обновляемый с интервалом 0,0001 секунды, получая данные со 150 датчиков, установленных на разных компонентах машины. Двойник позволяет повысить эффективность мониторинга состояния болида во время гонки, оптимизировать обслуживание на пит-стопах, а также выполнять моделирование поведения болида в различных условиях.
- 2) Проект NASA по созданию цифровых двойников. Проект NASA призван к осознанию необходимости трансформации подхода к проектированию объектов в условиях высоких стандартов требований, высокой стоимости разработки и создания объектов космической отрасли, а также необходимости выполнения многочисленных тестов, симуляций и расчетов, которые выполнялись с помощью традиционных математических свойств, статистики и теории вероятности. Такие подходы к сертификации, обслуживанию и управлению флотом не могут быть конкурентоспособными в современных условиях, и поэтому NASA провела масштабный проект по переходу к использованию цифровых двойников своего оборудования, включая флот и системы управления жизнеобеспечением. Таким образом, был выполнен переход к качественно

новому уровню проектирования и выполнения симуляций поведения летательных аппаратов при различных условиях.

- 3) Проект China Central Television (CCTV) по созданию цифровых двойников ведущих шоу Spring Festival Gala. В результате выполнения проекта были созданы цифровые копии 4 наиболее известных ведущих китайских телешоу. Отличием от простого создания цифровых аватаров является использование моделей машинного обучения, компьютерного зрения и прочих технологий для воссоздания ведущих в виртуальном мире. Такие ведущие имеют способность самостоятельного воспроизведения контента, используя поведенческие особенности и голоса своих физических воплощений.

## 1.4. Анализ технологии цифровых двойников производственных активов

### 1.4.1. Анализ хронологии развития технологии

Основой для анализа технологии послужили статьи автора концепции цифровых двойников Майкла Гривса, озвучивший идею создания цифровых двойников еще в 2002 году [ссылка]. Концепция была озвучена в контексте управления жизненным циклом продукции. Автор статьи предлагал преодолеть разрыв между процессами жизненного цикла продукта посредством цифровой проекции, образа этого продукта. В основу концепции легло утверждение, что для любой физической системы можно создать отражающую ее свойства виртуальную. Таким образом виртуальная система является отражением реальной, и наоборот реальная является физической реализацией виртуальной.

В 2014 году Майкл Гривс [3] публикует статью, в которой он освещает три основополагающие составляющие концепции цифровых двойников:

- наличие физического продукта в физическом мире
- наличие виртуального продукта в виртуальном мире
- информационные потоки и данные, служащие связью между реальным и виртуальным продуктом.

При этом цифровой двойник должен предоставлять описание свойств и сведений о реальном объекте должно быть практически идентично реальным сведениям.

### 1.4.2. Анализ архитектуры и типизации двойников

#### 1.4.2.1. Типы цифровых двойников

В рамках работы рассматриваются 2 подхода к категоризации цифровых двойников: согласно автору концепции Майклу Гривсу и согласно компании General Electric – вендора, имеющего значительную экспертизу в области внедрения систем цифровых двойников.

Классификация Майкла Гривса:

Автор концепции цифровых двойников Майкл Гривс выделил 3 типа цифровых двойников:

- 1) Прототип: содержит полную модель объекта, включающую 3D-модель, документацию, требования и прочие документы, однако прототип цифрового двойника не имеет непосредственной связи с физическим объектом. Таким образом, прототип является статической проекцией физического объекта, неизменяемой во времени.
- 2) Экземпляр цифрового двойника: является отражением конкретного физического объекта, обновляемым сведениями, поступающими с объекта, в режим реального времени на протяжении всего жизненного цикла. Двойник содержит информацию о модели, подобно прототипу, однако также собирает сведения о состоянии, используемые для анализа и прогнозирования.
- 3) Агрегатор цифровых двойников: объединяет группу экземпляров цифровых двойников в одну связанную сеть, позволяя цифровым двойникам обмениваться информацией.

Классификация General Electric:

Компания General Electric приводит классификацию цифровых двойников в зависимости от видов объектов:

- 1) двойник компонента, объекта,
- 2) системы/комплексного объекта,
- 3) процесса.

При этом обязательными составляющими любого двойника являются модель данных – информация об объекте, принципах его функционирования и данные, поступающие в ходе эксплуатации, аналитика – модель объекта, обученные модели машинного обучения, статистические модели и прочие инструменты оценки состояния и прогнозирования поведения объекта. Последним необходимым элементом цифрового двойника является база знаний – исторические данные, экспертные оценки и прочие дополнительные сведения об объекте.

#### 1.4.2.2. Архитектура цифрового двойника

По структуре цифровой двойник является набором взаимосвязанных компьютерных моделей о каком-либо физическом объекте или процессе. Набор моделей находится в зависимости от целей и задач, которые должен решать двойник. Таким образом, из всего объема моделей об объекте необходимо сформировать выборку. В состав такой выборки могут входить следующие компоненты:

- Математические и имитационные модели: главный компонент цифрового двойника, обеспечивающий его функционирование и построение прогнозов
- Цифровые схемы, карты, чертежи: артефакты данного типа позволяют спроектировать цифровую версию объекта и ее 3D модель с высокой достоверностью
- Информационные модели: мета-данные об объекте, характеристики, описания и др. информация, позволяющая описать объект
- Операционные данные: данные, поступающие в течение эксплуатации объекта

Для обеспечения связи физического объекта с его цифровой проекцией должен быть обеспечен поток данных в режиме реального времени. Для этого необходимо подключить к физическому объекту комплекс датчиков и измерительных приборов, имеющие возможность отправлять данные самостоятельно либо направлять собранные данные на контроллер. За передачу данных о компонентах объекта на их виртуальные проекции отвечает технология промышленного Интернета вещей, которая позволяет отправлять данные с датчиков посредством традиционных HTTP-запросов к API системы цифровых двойников. Сервис, отвечающий за сбор данных, должен располагать возможностью принимать и обрабатывать данные, производить идентификацию компонентов и связывать полученные данные с цифровыми проекциями.

Таким образом, можно выделить физический, сетевой и цифровой компоненты архитектуры цифрового двойника. Несмотря на нахождение цифрового двойника в рамках цифрового пространства, по мере развития технологии и использования в производстве, цифровые двойники проникают в реальные системы посредством управления поведением физических объектов посредством использования результата выполнения симуляции имитационной моделью.

### 1.4.3. Формирование определения цифрового двойника

На текущий момент нет общепринятого единого определения цифрового двойника, однако Россия стала первой в мире страной, в области стандартизации процессов, связанных с созданием цифровых двойников и в 2021 году приказом Росстандарта был утвержден национальный стандарт серии «Численное моделирование» – ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». Стандарт вступил в силу 1 января 2022 года. В ГОСТе закреплено определение, что цифровой двойник – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

### 1.4.4. Анализ существующих решений в области цифровых двойников

В данном разделе представлены основные примеры решений, используемых для создания цифровых двойников. Существующие решения базируются, в первую очередь на лучших практиках проектирования и создания PLM - систем, технологий работы с большими данными и CAD - моделирования. Большинство решений представляют собой платформы, имеющие стек базовых функций и множество дополняющих сервисов, доступ к которым осуществляется через облачные технологии.

Основными вендорами, предлагающими решения в области цифровых двойников и имеющие экспертизу реализации проектов подобного класса являются такие компании, как General Electric, Siemens и Dassault systems. Среди российских компаний экспертизу в области создания комплексов цифровых двойников имеют компании «ЛОГОС» и AnyLogic.

General Electric является одним из лидеров рынка цифровых двойников благодаря разработанной платформе Predix. Платформа позволяет обрабатывать большие массивы данных, поступающих с датчиков в режиме реального времени и изменять сложноструктурированные цифровые проекции реальных объектов. Платформа построена по принципу PaaS, все данные хранятся в облачном хранилище. Также платформа предлагает большое количество дополнительных сервисов, упрощающие настройку сервиса под собственные нужды. Кроме того, для пользователей доступны различные конфигурации платформы в зависимости от целей и объектов моделирования – компонентов, активов и процессов. Система открывает возможности автоматизации процессов путем моделирования процессов и интеграции с другими корпоративными ИС, такими как решения класса PLM, ERP или CRM.

Компания Siemens известна крупными зарубежными проектами и постепенно инициирует ряд проектов на территории России. Программный комплекс Siemens Digital Suite состоит из нескольких модулей, позволяющих проводить автоматизацию бизнес-процессов и создание цифровых двойников. К данным модулям относятся:

1. Модуль PLM – Product lifetime management
2. Модуль MOM – Manufacturing Operations Management
3. Модуль TIA – Totally integrated automation

Модули агрегированы в общей операционной среде промышленного интернета MindSphere, в которой происходит разработка цифровых двойников.

Также компания предлагает решение SimcenterAmism, наиболее современную программную платформу, предназначенную для моделирования сложнотехнических и междисциплинарных систем. Продукт поддерживает управление разработкой систем и двойников на всех этапах жизненного цикла, начиная с формирования требований.

Dassault systems специализируется на создании цифровых двойников городов, так, уже реализованы двойники Сингапура, Бостона и ряда других городов. Решение компании под названием 3DEXPERIENCE состоит из 5 логических блоков:

1. Инструменты создания моделей систем или комплекса взаимосвязанных систем разного масштаба
2. Обеспечение междисциплинарного взаимодействия
3. Моделирование и тестирование систем – сбор требований, документации, создание сценариев тестирования и виртуальные испытания
4. Консолидированное хранение инженерной и технической документации в рамках единой платформы
5. Интеграции – система поддерживает возможность интеграции с прочими корпоративными ИС

К числу российских комплексов программ по развитию цифровых двойников относится «Логос», разработка которого ведется при компании «Росатом». Система предназначена для создания моделей систем и выполнения расчетов на основании этих моделей. На данный момент в эксплуатацию запущено решение «ЛОГОС Аэро- Гидро», предназначенное для решения задач моделирования аэро- и гидродинамики

## 1.5. Анализ технологии нейроинтерфейсов

Технология нейроинтерфейсов (BCI) предоставляет возможность создания соединения головного мозга с компьютером или иным цифровым устройством. При этом формируется прямая связь человека с компьютером, способная расширить возможности оценки работоспособности человека как физически, так и когнитивно или психоэмоционально. Технология уже показала свою эффективность в медицине, в частности в процессах реабилитации пациентов. Несмотря на достигнутые результаты, технология является неоднозначной с точки зрения этики по мере расширения сфер и целей ее применения. Так, известный предприниматель Илон Маск озвучил идею изучению разума человека с помощью сверления и вживления датчиков в мозг человека, продвигая этим предложением концепцию «thoughts-as-an-interface». Технология набирает популярность по мере придания ей большей огласки со стороны медийных личностей: капитализация рынка BCI к концу 2022 года, согласно ожиданиям, должна вырасти на 11,5 % и составить 1,72 млрд долларов США.

### 1.5.1. Анализ хронологии развития технологии

Первые публикации и исследования в области BCI были выполнены в 1973 году. Джей Джей Видал [15] публикует статью о потенциальном применении нейроинтерфейсов для ускорения процессов нейрореабилитации и создания системы управления предметами посредством импульсов напрямую из мозга. Следующим исследованием, повлиявшим на развитие технологии, была статья Фарвелла и Дончина в 1988 г. [16] о создании прямой связи между мозгом и компьютером для расширения возможностей для людей с нарушениями опорно-двигательной системы. С 1995 года по настоящее время количество научных групп выросло с 6 до 20 и количество публикаций показывает резкий рост на фоне развития цифровизации и технологий передачи и анализа данных. Так, с 44 публикаций в 1994 году, их количество выросло до 2224 в 2020 году.

В 2010-х годах все чаще технология рассматривается не только с медицинской и психологической точек зрения, но и с точки зрения производительности работы мозга и других показателей, связанных с эффективностью функционирования организма. Так, в 2018 году выходит публикация П.Арико об обнаружении сонливости сотрудников на рабочем месте [18] в течение рабочего дня, Д.Ву выпускает статью об изучении реакции человека [17] и ряд других. Таким образом, технология находит свое применение в бизнесе и производстве для мониторинга состояния сотрудников в ходе выполнения задач.

### 1.5.2. Анализ архитектуры

Состав архитектуры решения ВСІ имеет много общих с цифровыми двойниками компонентов:

- Математические модели классификации и кластеризации, отвечающие за интерпретацию получаемых от мозга сигналов
- Датчики, отвечающие за сбор, обработку и отправку сигналов головного мозга субъекта
- Физический предмет или процесс, на управление которым направлены отправляемые мозгом сигналы

Таким образом, система ВСІ занимается сбором и отправкой сигналов в информационную систему с обученными моделями машинного обучения или нейросетями для выполнения классификации, перевода или кластеризации сигналов в конкретное действие, необходимое к выполнению над каким-либо предметом. При этом передача данных может осуществляться как непосредственно по кабелю на считывающее устройство с установленным ПО, также и посредством интеграции с REST API или SOAP с информационной системой.

### 1.5.3. Оценка возможности применения совместного использования цифровых двойников для оборудования и персонала

Исходя из описанных требований к архитектуре, схожести их компонентов и используемых инструментов математического моделирования, а также роста интереса к применению нейроинтерфейсов в сфере промышленности, можно сделать вывод о том, что потенциал совместного использования данных технологий с целью создания цифрового двойника человека высок, однако оставляет проблему создания цифровой модели человека в рамках информационной системы ввиду сложности физического и психо-эмоционального устройства. Цифровые двойники способны ускорить процесс тестирования и отладки ВСІ систем посредством заложенных инструментов моделирования и симуляций поведения физического объекта при изменении параметров окружающей среды и характеристик объекта.

Совместное использование описанных технологий на примере опасного производства способно оказать существенное влияние на обеспечение промышленной безопасности в части снижения рисков возникновения ЧП и производственных травм, поскольку мониторингу состояния будут поддаваться не только производственные мощности, но и их операторы и иные участники производственного процесса.

## 1.6. Вывод к первой главе

Подводя итог данного раздела, можно заключить, что применение цифровых технологий как способно открыть новые возможности по совершенствованию процессов и ценности для клиентов, так и создавать новую ценность в различных областях бизнеса. Наличие широкого спектра интеграционных возможностей открывает пути совместного использования технологий, расширяя области применения и сценарии использования каждой из них по отдельности, обеспечивая тем самым обширное поле для исследований и реализации проектов. Такие проекты, согласно исследованиям эффективности, способны принести существенную отдачу в ответ на совершенные инвестиции. Российские компании находятся, во многом, в начале пути развития технологий цифровых двойников и промышленного применения нейроинтерфейсов, поэтому те компании, которые первыми обратят внимание на применение данных технологий будут способны наиболее полным образом ощутить на себе, преимущества, которые они открывают.

## 2. Анализ проблемы оценки состояния и обслуживания на конкретном предприятии и формирование представления о текущем состоянии

### 2.1. Описание компании и ее бизнес-модели

#### 2.1.1. Характеристика компании

Компания ПАО «МЛНК» - один из крупнейших металлургических комбинатов, производитель полного металлургического цикла, выполняющий работы, начиная с обработки железной руды, заканчивая переработкой черных металлов. Компания занимает 1 места в России по поставкам стали на рынке, по поставке стали для автопрома и по поставкам премиальной металлопродукции

Компания является публичным акционерным обществом с 2007 и показывает стабильный рост за исключением периодов существенного внешнеполитического влияния на фондовый рынок и котировки российских компаний. Текущая капитализация компании составляет 440 млрд рублей. Компания имеет активы в трех сегментах: стальной сегмент в России, стальной сегмент в Турции и угольно-добывающий сегмент. Финансовые показатели за 2021 год [] показывают стабильный рост во всех сегментах компании, а также успешно реализует политику устойчивого развития, о чем свидетельствуют достижения компании за 2021 г. Компания заняла первое место в России по индексу ESG-прозрачности среди компаний и банков согласно Рейтинговому агентству «Эксперт РА», вошла в топ-4 компаний по открытости информации в сфере экологической ответственности, а также заняла первое место в номинации «Экопредприятие» за проведение модернизации в области природоохранных инициатив.

Однако несмотря на достигнутые результаты, у компании есть проблемы с организацией промышленной безопасности. В 2021 г. было выявлено 122 случая нарушений промбезопасности в результате проверки Ростехнадзором после летального исхода одного из рабочих цеха. Направление промбезопасности также существенно влияет на имидж компании и как надежного контрагента и партнера, и как социально ответственного работодателя. Таким образом, необходимо сфокусировать внимание на устранении текущих проблем в сфере промбезопасности, а также предложить решение по организации ее системного устойчивого развития.

## 2.1.2. Описание бизнес-модели

Целью организации, согласно годовому отчету компании, является производство и поставка потребителям высококачественной металлопродукции, создавая ценность для акционеров и других заинтересованных сторон, повышая качество жизни сотрудников и жителей в регионах присутствия Компании, используя силу и прочность стали в интересах клиентов и всего мира.

### 2.1.2.1. Анализ капитала

Компания разделяет капитал на 6 категорий:

- Финансовый – по финансовым показателям компания имеет сильный баланс, широкий и дифференцированный инвестиционный портфель
- Бизнес – крепкие взаимоотношения с партнерами, поставщиками и клиентами, современное оборудование и модернизированные активы
- Природный – запасы железорудного сырья, угольного концентрата
- Кадровый – уникальные компетенции и опыт, накопленные пятидесятитысячным персоналом, стратегии по мотивации и росту сотрудников
- Интеллектуальный – инвестиции в развитие компетенций и накопление базы знаний и компетенций
- Социальный – конструктивные взаимоотношения с органами власти, самоуправления и местными сообществами

Таким образом, можно заключить, что компания видит в качестве своего капитала не только материальные, финансовые активы, но и накопленный опыт, компетенции и тот уровень взаимоотношений, которого удалось достигнуть за время существования компании.

### 2.1.2.2. Анализ сегментов производства и рынков сбыта

К ключевым отраслям, которые обслуживает компания, можно отнести:

- Строительная отрасль
- Трубная отрасль
- Машиностроение
- Автомобильная промышленность

Присутствие на этих рынках и обладание первых позиций среди поставщиков металлопродукции делает компанию стратегически важной для большей доли экономики России. К вторичным отраслям, в которых компания также имеет высокую долю присутствия, можно отнести:

- Тара и упаковка
- Вагоностроение и судостроение
- Мостостроение
- Бытовая техника

Приведенные отрасли отражают направленность компании на работу, в первую очередь, с ключевыми игроками российского рынка, участие в масштабных проектах регионального/федерального значения, оставляя потребительское производство и розничную торговлю на втором плане.

#### 2.1.2.3. Анализ ценности

Ценностные показатели отражают разделение понимания ценности организацией на несколько категорий:

- 1) Ценность для инвесторов – компания показывает рост стоимости акций и имеет высокий уровень дивидендной доходности – 7,7%. Инвесторы получают возможность осуществить доходные вложения и получать с них дивидендные доходы
- 2) Ценность для сотрудников – при численности персонала в 56 тысяч человек, за 2021 год обучение по повышению квалификации было пройдено 11,4 тысячей людей, то есть примерно 20% всего персонала. Этот факт отражает высокую готовность и желание компании инвестировать в своих сотрудников и позволять им расти.
- 3) Ценность для клиентов – компания стремится повышать качество как продукции, так и клиентского сервиса. Об этом свидетельствует высокий балл индекса удовлетворенности клиентов – 8,16 из 10 баллов
- 4) Ценность для государства – компания вносит существенный вклад в получаемые налоги – за 2021 год в бюджет было выплачено 220 млн долларов

#### 2.1.2.4. Анализ процессов

ПАО «МЛНК» стремится выстраивать интегрированное и эффективное производство, обеспечивая высокий уровень самообеспеченности сырьем и ресурсами: железнорудным

сырьем, угольным концентратом, металлоломом, а также собственной выработкой электроэнергии. Сырье поддается переработке, в результате обеспечивая производство чугуна, стали и выпуска из полуфабрикатов плоского и сортового проката – готовой продукции. При этом основной фокус компания делает на производстве премиальной линейки продуктов. В 2021 году доля премиальной продукции от общего выпуска составила 48%.

### 2.1.3. Стратегические цели компании

Стратегические цели МЛНК на горизонт планирования до 2025 года делятся на 4 блока:

- 1) Поставки – компания стремится повышать клиентоориентированность и расширять портфель продукции как количественно, в части номенклатуры, так и качественно
- 2) Операционная эффективность – блок целей операционной эффективности сводится к реализации стратегии по развитию процессов управления запасами, цепочками поставок, жизненного цикла продукции и совершенствования производственных процессов
- 3) Ответственность и устойчивое развитие – раздел посвящен социальной, экологической ответственности и развитию корпоративной культуры. В рамках данного блока подразумевается реализация целей программы «Ноль травм» и снижения негативного влияния на окружающую среду
- 4) Развитие поддерживающих инструментов – непроизводственные цели, которые при этом способны повысить ценность деятельности компании, включают программы цифровизации, развития умных финансовой и инвестиционной политик, раскрытия информации и обеспечения прозрачности

Таким образом, поставленные цели служат логическим продолжением текущей стратегии в части стремления совершенствования внутренних процессов, взаимоотношений с партнерами, клиентами и регуляторами, а также учитывает проблему промышленной безопасности.

### 2.1.4. Вызовы и проблемы компании

В дополнение вышеперечисленным проблемам в области обеспечения безопасности и охраны труда, промышленной безопасности, стоит отметить внешние по отношению к ПАО «МЛНК» факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность деятельности организации. Поскольку 89% бизнеса связано с реализацией продукции на

внутреннем рынке, в первую очередь, фокус анализа будет сделан именно на проблемах внутреннего рынка:

- 1) Политические факторы – данный блок включает внешнеполитические санкции, накладываемые как на саму компанию, так и на прочие заинтересованные стороны. В данном случае компания находится в стабильном и безопасном положении ввиду низкой долговой загрузки и работы с внутренними контрагентами, в то время как функционирование стратегических партнеров подвержено рискам санкций и ограничений на ведение бизнеса, что может оказать существенное влияние на спрос на продукцию МЛНК и платежеспособность по текущим контрактам. Такой риск выдвигает требования к МЛНК в части управления взаимоотношениями с клиентами, управления дебиторской задолженностью, а также вынужденного поиска путей сокращения затрат на производство для снижения себестоимости и увеличения маржинальности производства.
- 2) Социальные факторы – деятельность компании относится к категории опасных производств, поэтому вопросы промышленной безопасности, контроля условий труда и их безопасности, экологический вопрос – важные факторы, на которых необходимо акцентировать внимание компаниям такого рода.
- 3) Экономические и финансовые факторы – волатильность курса национальной валюты, ограничения на ведение бизнеса с поставщиками за пределами Российской Федерации, усложнение процессов логистики и расчетов – факторы, которые вынуждают организацию совершенствовать процессы управления запасами для избегания рисков простоя оборудования, как по части сырья, так и оборудования и его комплектующих

Перечисленные факторы поднимают актуальность задачи вопросов эффективности, бесперебойности и безопасности производственных процессов, чтобы быть в состоянии противостоять описанным вызовам с внешней стороны.

## 2.2. Характеристика производства основной продукции

### 2.2.1. Характеристика направления

Основная продукция ПАО «МЛНК», производимая подразделением «Сталь Россия», приносящая 91% всей выручки, состоит из нескольких категорий:

- Премияльное производство – 48% общего выпуска
- Горячекатанный прокат – 40% выпуска

- Сортовой прокат – 12 % выпуска

Премиальное производство является ключевым направлением производства, основной продукцией которого являются толстый лист стана 5000, холоднокатанный прокат, прокат с полимерным покрытием и др. Производство включает в себя полный цикл, включая:

- Работу с сырьем
- Производство
- Обработку полуфабрикатов
- Изготовление готовой продукции

Рассматривая показатели операционной эффективности, исходя из целей, поставленных в работе, провести анализ динамики выручки и загруженности производственных активов.

#### 2.2.1.1. Результаты 2020 года.

Выручка за 2020 год составила 5.972 млрд долларов, что на 17,4% ниже того же показателя за 2019 год в связи с ухудшением рыночной конъюнктуры и падением спроса на продукцию ввиду пандемии. При этом себестоимость производства также сократилась на 11,8% ввиду девальвации рубля и снижения стоимости угольного концентрата, нивелировав рост непроизводственных затрат, что позволило увеличить EBITDA несмотря на увеличение брака и доли окатышей в сталеплавильной шихте.

#### 2.2.1.2. Результаты 2019 года.

Выручка за 2019 год составила 434,9 млрд рублей и также показала падение относительно прошлого года. Одним из важных факторов снижения выручки является сокращение выпуска ввиду обслуживания и реконструкции стана 2500 г/п. Вторым существенным фактором является отрицательная динамика цен на металлопродукцию.

#### 2.2.1.3. Анализ загруженности производственных активов.

Рассматривая показатель загруженности основных мощностей необходимо учитывать специфику металлургического производства в части его доменного направления: остановка работы и обратный запуск доменных печей является трудоемким, затратным в части времени и дорогим процессом, поскольку на остановку, запуск и начало использования печи может уйти от двух до трех недель с учетом невозможности использования выходной

продукции ввиду ее несоответствующего стандартам качества. Поэтому остановка печи является крайней мерой, на которую идет производственный цех, однако непрерывное функционирование не является гарантом полной технической исправности и обеспечения надлежащего качества продукции. Загруженность основных мощностей на ПАО «МЛНК» в сегменте Сталь Россия имеет следующие показатели:

- Доменное производство: 100%
- Сталь ККЦ: 95%
- Сталь ДСП: 51%
- Сортовой прокат: 81%
- Г/к прокат: 98%
- Х/к прокат: 90%
- Прокат с покрытием: 87%

Показатели активов имеют ожидаемо высокие значения загруженности, однако значение по блоку «Сталь ДСП» составляет лишь 51%, что означает частую остановку дуговых сталеплавильных печей ввиду из строения и уязвимых мест, которые могут оказывать влияние на качество получаемой стали, ее химического состава и наличия примесей. Также довольно низкий показатель загруженности имеет блок сортового проката ввиду необходимости частой отладки работы оборудования и настройки под изготовление конкретного вида продукции.

### 2.2.2. Проблемы и вызовы направления

Одним из главных направлений работы по управлению проблемами является построение системы риск-менеджмента, которая является обязательным требованием на пути реализации стратегии организации по созданию безопасного, прозрачного производства и обеспечению его устойчивого развития. В производственном направлении выделяются следующие риски и их классификация:

- 1) Возникновение аварий и инцидентов – недопустимый риск с высокой вероятностью реализации
- 2) Несчастные случаи – недопустимый риск с высокой вероятностью реализации
- 3) Экологический риск – недопустимый риск с высокой вероятностью реализации
- 4) Социальная напряженность – неприемлемый риск со средней вероятностью реализации
- 5) Киберриск – неприемлемый риск со средней вероятностью реализации

- 6) Корпоративное мошенничество – неприемлемый риск со средней вероятностью реализации
- 7) Климатический риск – неприемлемый риск со средней вероятностью реализации. Необходимо также отметить, что данный риск впервые введен в 2021 г.

Описанные риски и установленные категории подтверждают необходимость разработки политик и мер по минимизации угрозы реализации рисков в дополнение к текущим имеющимся регламентам и документам.

## 2.3. Характеристика оценки состояния и обслуживания производственных активов

### 2.3.1. Характеристика направления

За оценку состояния и обслуживание производственных активов ПАО «МЛНК» отвечает Центр технического обслуживания и ремонта (ЦТОиР). Основной задачей Центра является поддержание производственных мощностей в надлежащем состоянии и обеспечение бесперебойной работы в ходе эксплуатации. В состав должностных обязанностей специалистов Центра входит:

- 1) Регулярная диагностика состояния оборудования перед запуском эксплуатации в начале производственной смены, производимая как визуально, так и с помощью измерительных приборов
- 2) Регулярная диагностика состояния оборудования по завершении производственной смены и окончания эксплуатации
- 3) Плановый ремонт и обслуживание активов
- 4) Внеплановый ремонт, диагностика, обслуживание при сбоях и/или выходе активов из строя

К активам Центра относится собственный цех, оборудованный необходимым для операционной деятельности инвентарем. Работы, выполняемые ЦТОиР, в первую очередь включают выполнение процессов монтажа, демонтажа, технического обслуживания, транспортировки объектов эксплуатации, а также управление закупками инвентаря и запасных частей.

### 2.3.2. Карта процессов

Для комплексного понимания структуры деятельности Центра был выполнен анализ процессов и составлена карта процессов. С точки зрения всей деятельности компании

рассматриваемые процессы внутри ЦТОиР относятся, по классификации процессов в рамке цепочки создания добавленной ценности, к обслуживающим процессам, отвечающим за поддержку основной деятельности по производству готовой продукции. Однако рассматривая Центр как автономную единицу необходимо также разделить процессы на основные, создающие ценность для внутреннего клиента, а также вспомогательные, обслуживающие процессы. Для наглядного отображения процессов была составлена карта процессов в нотации Archimate, представленная на Рисунке 2.1.

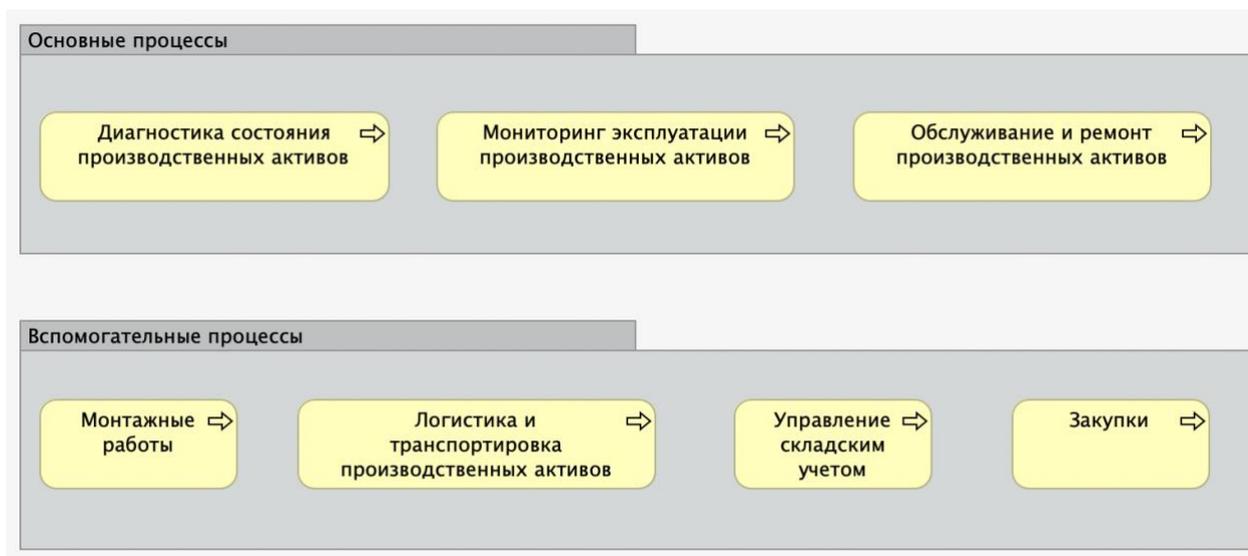


Рисунок 2.1 Карта процессов ЦТОиР

К основным процессам, создающим ценность, относятся диагностика производственных активов, мониторинг их эксплуатации и выполнение работ по обслуживанию и ремонту, включая как плановые, так и внеплановые работы.

За бесперебойное выполнение основных процессов отвечают вспомогательные процессы по выполнению монтажа и демонтажа оборудования при необходимости в обслуживании в цехе, транспортировка оборудования и активов, управление запасами и закупками, обеспечивающие наличие всех необходимых для работы комплектующих и инвентаря.

### 2.3.3. Тактические цели, поставленные перед направлением

Для анализа целей направления была составлена система сбалансированных показателей Центра технического обслуживания и ремонта, представленная в Таблице 2.1.

## Система сбалансированных показателей ЦТОиР

Область	Показатель	Текущее значение на 2021 г.	Целевое значение к 2025 г.
Финансы	Издержки выполнения внеплановых работ	1 000 000 руб/мес	200 000 руб/мес
	Процент перерасхода бюджета на закупки	45%	0%
Бизнес-процессы	Среднее время простоя оборудования из-за сбоев в работе	17 ч	4 ч
	Среднее время простоя оборудования из-за сбоев поставок	30 ч	6 ч
	Процент SLA (выполнения обслуживания в срок)	60%	95%
	Частота мониторинга состояния критически значимых активов	Дважды в сутки	Непрерывно
Обучение и развитие	Частота проведения повышения компетенций сотрудников	Ежегодно	Ежеквартально

На основании системы сбалансированных показателей была составлена модель мотивационной диаграммы ЦТОиР в нотации Archimate, представленная на Рисунке 2.2.

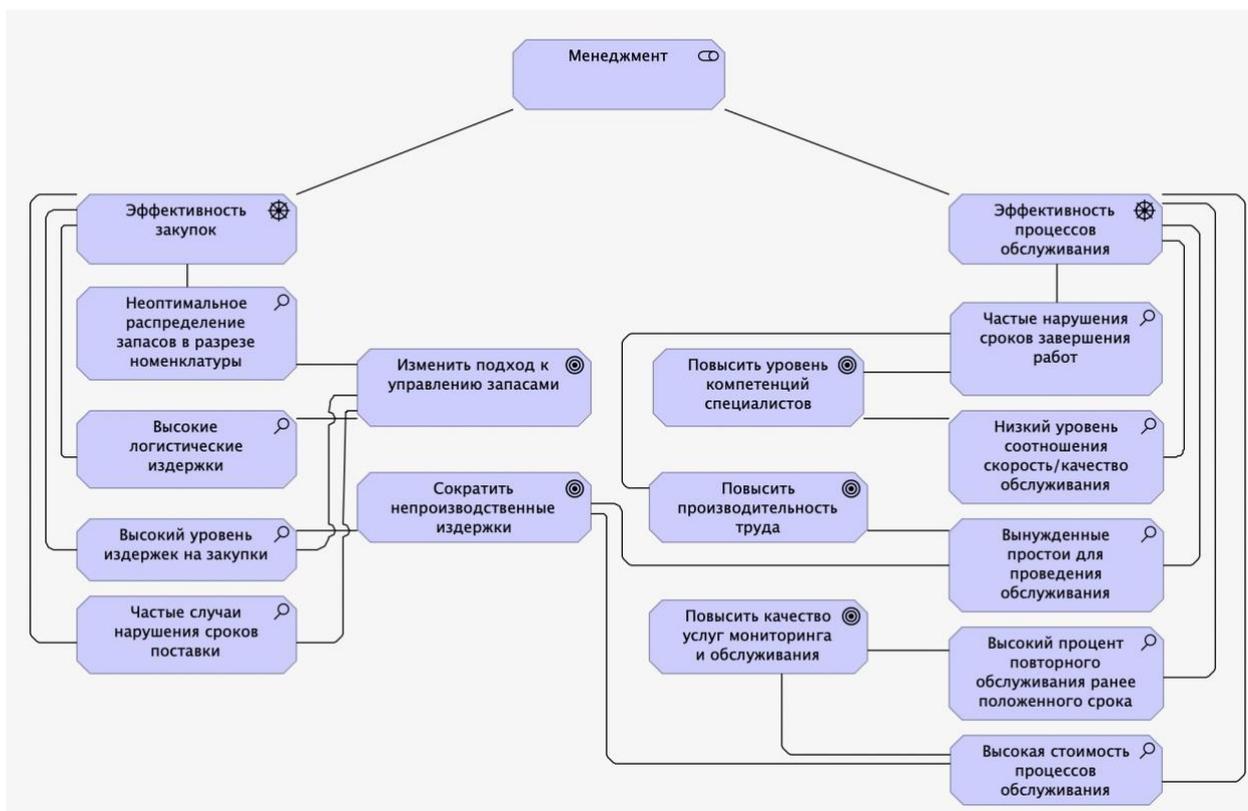


Рисунок 2.2 Модель мотивационной диаграммы ЦТОиР

#### 2.3.4. Архитектура подразделения

Раздел освещает текущее состояние архитектуры в части производственного направления, а также связанных с ним процессов, включая мониторинг и техническое обслуживание. Анализ архитектуры позволил идентифицировать компоненты архитектуры на ее бизнес-, системном и технологическом уровнях, а также проследить связи между всеми компонентами от бизнес-процессов до серверов. Для отображения результатов анализа была выбрана модель трехслойной архитектуры в нотации Archimate для упрощения их интерпретации для заинтересованных сторон. Модель архитектуры представлена на Рисунке 2.3.

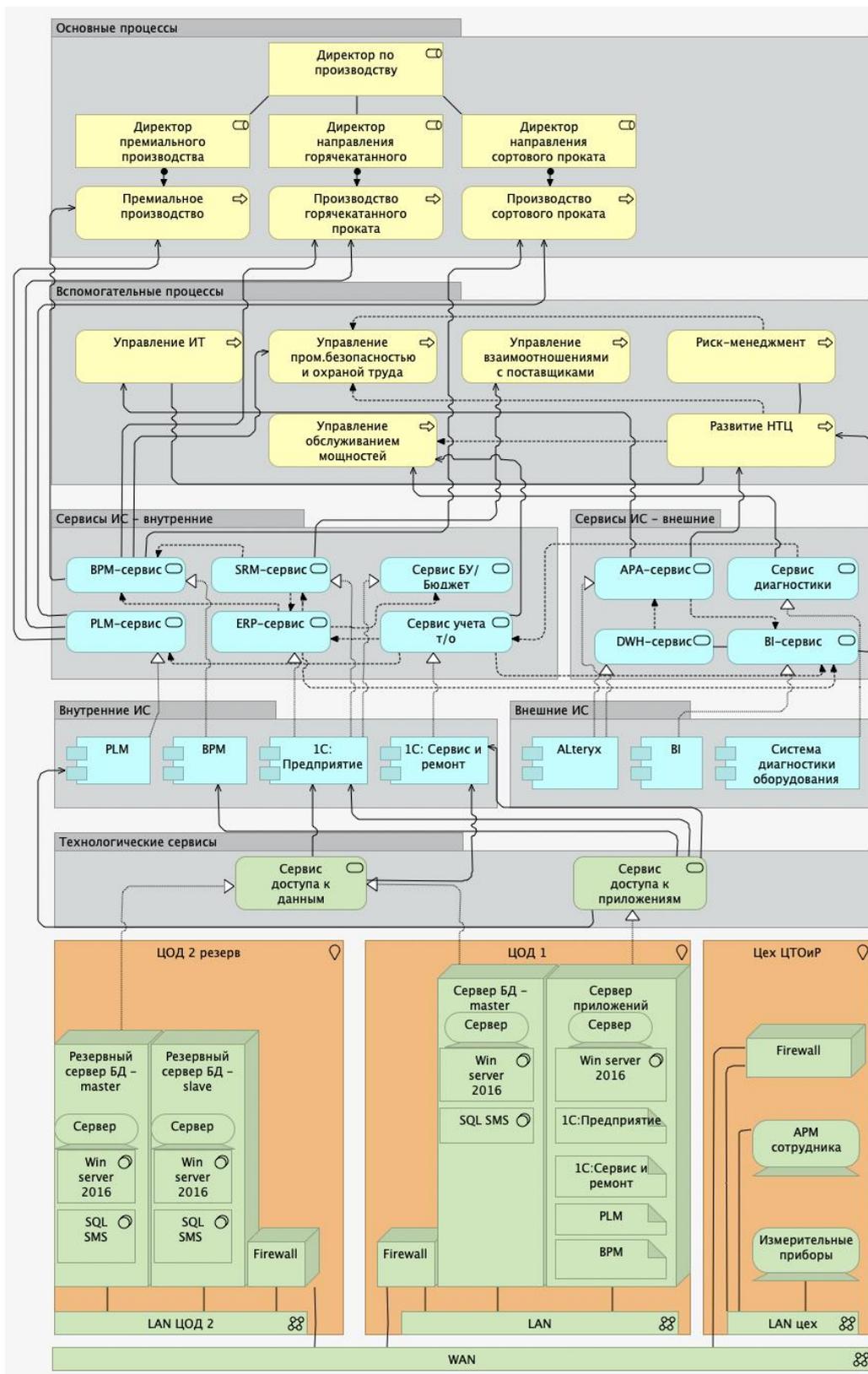


Рисунок 2.3 Модель трехуровневой архитектуры производственного направления и ЦТОиР

Производственный сегмент «Сталь Россия» состоит из трех основных видов производства: премиальное, сортовое и горячекатанное производства. Каждое направление возглавляется директором, который, в свою очередь, находится в прямом подчинении у

директора по производству. Ключевыми вспомогательными процессами, поддерживающими основное производство, которые представляют интерес и ценность в рамках исследования, являются процессы, связанные с ИТ, промышленной безопасностью и охраной труда, а также с техническим обслуживанием производственных активов – основным рассматриваемым в данной разделе процессом.

За поддержку функционирования всех процессов направления отвечают внутренние, развернутые на инфраструктуре компании, и внешние, облачные, сервисы. Внутри предприятия развернуты сервисы по:

- 1) Управлению и автоматизацией бизнес-процессов
- 2) Управлению жизненным циклом продукта
- 3) Управлению взаимоотношениями с поставщиками
- 4) Управлению запасами и закупками
- 5) Управлению бухгалтерским и управленческим учетом и процессами бюджетирования
- 6) Управлению учетом ремонтных работ и обслуживанию производственных активов

К внешним сервисам относятся сервисы по:

- 1) Управлению сбором данных и диагностике производственных активов
- 2) Управлению поддержки принятия решений и визуализации данных – BI
- 3) Управлению данными - DWH
- 4) Автоматизации аналитики процессов – ARA

Рассматривая ИТ-ландшафт стоит выделить использование решения компании 1С для решения задач по управлению запасами, взаимоотношениями с поставщиками и всеми видами учета. Облачные сервисы обеспечиваются использованием решения Alteryx connect, BI системы и комплексной системы, обеспечивающей необходимый спектр диагностик производственных активов.

ИТ-инфраструктура развернута в 2 ЦОД и частично в производственных цехах. ЦОД 1 является основным ЦОДом TIER 3 уровня, расположен в городе присутствия компании. Несмотря на бесперебойность и гарантированную доступность серверов 99,982% времени в году, компания располагает резервной инфраструктурой в ЦОДе 2 TIER 2 уровня с доступностью 99.971 % времени. В запасном ЦОДе располагается горячая, обновляемая совместно с продуктивной, резервная копия БД, которая далее копируется в холодную копию с периодичностью раз в час. Система хранения данных построена по технологии

RAID 1, позволяющая обеспечить высокую сохранность данных и бесперебойность в работе с БД.

На территории цехов развернуты автоматизированные рабочие места сотрудников с установленным на них ПО как толстый/тонкий клиент, настроены средства и инструменты проведения диагностики с последующей их облачной обработкой в специализированном ПО.

### 2.3.5. Анализ процесса технического обслуживания

Для выполнения моделирования и анализа процесса технического обслуживания был выполнен анализ документации, регламентов, должностных инструкций сотрудников, проведено интервьюирование заинтересованных сторон и участников процесса, а также проведено наблюдение за полным жизненным циклом выполнения потока работ в рамках процесса. В результате сбора и анализа данных была составлена модель процесса в нотации BPMN для наглядного отражения этапов процесса, а также для дальнейшего использования модели в целях автоматизации. Модель представлена на Рисунке 2.4.

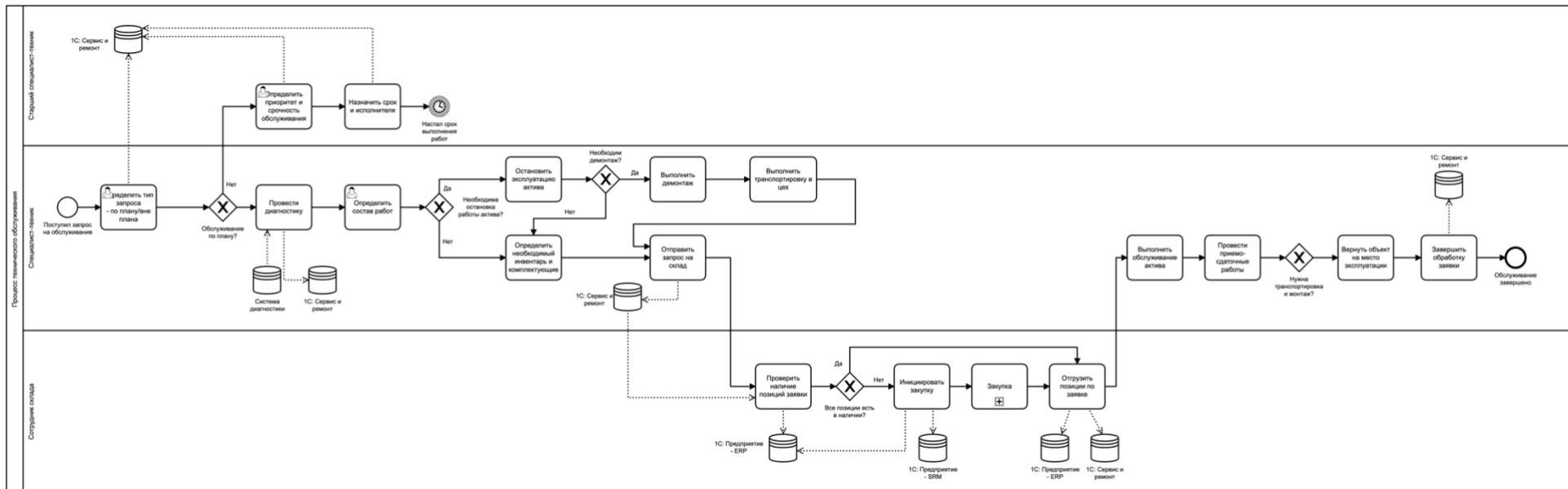


Рисунок 2.4 Модель процесса технического обслуживания ЦТОиР

Рассматривая процесс, верхнеуровнево можно выделить следующие этапы процесса:

- 1) Обработка запроса на обслуживание или инцидента
- 2) Диагностика и определение состава работ
- 3) Подготовка к выполнению обслуживания
- 4) Реализация работ по обслуживанию и ремонту
- 5) Выполнение приемки
- 6) Возвращение объекта обслуживания в эксплуатацию

Состав операций и продолжительность их выполнения имеет существенный временной разброс ввиду зависимости от ряда факторов, таких как:

- 1) Сложность и трудоемкость работ
- 2) Оценка приоритета обработки заявки
- 3) Компетентность ответственного специалиста
- 4) Наличие необходимых комплектующих и инвентаря

Таким образом, процесс имеет низкий уровень зрелости ввиду зависимости от человеческого фактора и компетенций конкретного сотрудника, а также от ведения закупок и обеспечения складского запаса. Процесс имеет низкий уровень автоматизации, только часть наиболее чувствительных к поломкам и дорогостоящих активов обслуживается по подходу обслуживания по состоянию, в то время как большая часть остальных активов обслуживается превентивно раз в заданный промежуток времени.

### 2.3.6. Проблемы направления

Рассматривая проблемные зоны и узкие места деятельности подразделения и организации процессов можно выделить следующие группы:

#### 2.3.6.1. Методология.

Данная группа проблем связан с выбором подхода к осуществлению контроля состояния и обслуживания производственных активов: вынужденные остановки и простои оборудования. Часть активов не может останавливаться и должна поддерживаться в рабочем состоянии непрерывно, что сокращает возможности проведения полноценной диагностики. Также присутствует проблема управления частотой мониторинга и периодичностью обслуживания. Для части оборудования ежедневные двойные замеры являются излишней мерой, для наиболее опасных активов требуется более частый мониторинг. Таким образом, подход к методологии ведения мониторинга и оценки

состояния, на текущий момент, находится на уровне между превентивным обслуживанием и обслуживанием по состоянию, что оставляет широкое поле для совершенствования процессов и сокращения издержек.

#### 2.3.6.2. Персонал

Мониторинг и оценка состояния производится, во многом, аналоговыми методами, дополняемые измерительными приборами и датчиками, что не исключает совершения ошибок со стороны персонала ввиду человеческого фактора и/или недостатка компетенций для идентификации той или иной проблемы или отклонения в работе активов. Также решение о готовности запуска процесса эксплуатации основывается исключительно на решении относительно технического состояния материальных активов и мощностей, не учитывая физическое и психоэмоциональное состояние персонала, работающего как в части оценки состояния, так и в части непосредственного взаимодействия с активами в ходе эксплуатации. Решение относительно персонала принимается медицинской комиссией в начале смены, что также является недостаточной мерой для снижения рисков на производстве.

#### 2.3.6.3. Закупки

Управление запасами и закупками ЦТОиР является отчасти автономным процессом, отдельным от общего процесса «Сталь России», включая самостоятельный процесс бюджетирования, работы с поставщиками, управления расчетами с поставщиками и прочими контрагентами, управления запасами и др, однако при этом сохраняется контроль со стороны материнской компании в части регламентации и стандартизации процедур, а также обеспечения прозрачности всех процессов. Одной из ключевых проблем, возникающих у подразделения, является обеспечение процессов ремонта и обслуживания всеми необходимыми для проведения работ инструментами и запасными частями, что осложняется необходимостью работы в непредвиденных обстоятельствах при внеплановых работах и сбоях в работе активов. Долгий процесс поставки компонентов увеличивает время простоя и сокращает выпуск продукции, что негативно влияет на выручку производственного подразделения. С другой стороны, создание широкого номенклатурного списка запасов несет риски потерь ввиду невостребованности части позиций и затрат в виде больших складских помещений.

#### 2.4. Вывод к 2 главе

Резюмируя данный раздел работы, стоит акцентировать внимание на том, что несмотря на описанные проблемы и наличие явных зон потенциального роста эффективности, компания ПАО «МЛНК» занимает лидерские позиции российского рынка и показывает хорошие финансовые результаты, являясь, как следствие, привлекательной для инвесторов организацией. Внутренние и внешние вызовы перед производственным сегментом вынуждают компанию искать нетривиальные решения, которые позволят наиболее эффективным образом решить проблемы производства и проведения технического обслуживания. Трансформация процессов ЦТОиР окажет положительное влияние на все производство в целом, обеспечивая достижение поставленных стратегических целей.

### 3. Предложение решения сложившейся проблемы оценки состояния и обслуживания производственных активов

Данный раздел освещает выбор конкретного решения описанных в предыдущей главе проблем организации, а также направлен на описание проекта реализации данного решения. Раздел представляет собой описание возможных программно-аппаратных комплексов, их ранжирование по степени применимости на предприятии в рамках поставленных задач, описание экономических выгод от внедрения решения, а также описывает бизнес- и системные требования к внедряемому решению.

#### 3.1. Выбор рационального решения и программно-аппаратного комплекса для его поддержки

Выбор вендора и конкретного продукта является основополагающей задачей, поскольку продукт должен в наибольшей степени достигать поставленные перед ним цели и задачи в рамках эксплуатации при наименьшем уровне доработок и внесения изменений в «коробочный» продукт. Этот раздел посвящен описанию доступных и наиболее распространенных решений и платформ в области цифровых двойников, а также отбору наиболее подходящего решения на основе экспертных оценок решений по отобранным критериям.

##### 3.1.1. Формирование критериев оценки решений

В рамках проекта внедрения программно-аппаратного комплекса (ПАК) цифровых двойников в производственные процессы и процессы технического обслуживания был составлен набор следующих критериев оценки:

- 1) Стоимость внедрения – совокупные затраты на закупку оборудования, лицензий, разработки и оплаты услуг интегратора
- 2) Сложность внедрения – оценка необходимости внесения доработок в стандартное «коробочное» решение для полноценного внедрения в компании, включая интеграции с существующими информационными системами ИТ-ландшафта организации
- 3) Интеграционные возможности – наличие в ПАК шлюзов и API, документация и прочие возможности, облегчающие процесс подключения новых устройств/датчиков/систем к информационной системе
- 4) Функциональные возможности – располагаемый функционал «коробочного» решения

- 5) Уровень использования решения в отрасли – наличие существующий реализаций проектов по внедрению данного решения в компаниях-конкурентах
- 6) Опыт работы вендора на российском рынке – данный критерий показывает, насколько вендор ориентирован на работу с российскими компаниями для оценки степени знакомства вендора со спецификой российского бизнеса, а также оценки потенциального развития проектов

Для ранжирования критериев были задействованы 6 экспертов, в том числе внутренние сотрудники ИТ-департамента и развития бизнеса, а также внешние эксперты из компании-интегратора. В Таблице 3.1 приведены результаты оценок критериев экспертами.

Таблица 3.1

**Результаты приоритизации критериев сравнения систем методом экспертных оценок**

№	Фактор	Эксп.1	Эксп.2	Эксп.3	Эксп.4	Эксп.5	Эксп.6	AVG	W
1	Стоимость внедрения	4	5	4	4	5	5	4.5	0.9
2	Сложность внедрения	4	5	5	5	5	3	4.5	0.9
3	Интеграционные возможности	4	4	5	4	3	5	4.17	0.83
4	Функциональные возможности	4	5	4	5	3	5	4.33	0.87
5	Использование решения в отрасли	3	3	2	4	5	3	3.33	0.67

6	Опыт вендора на российском рынке	2	2	3	1	2	2	2	0.4
---	----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Из результатов оценки видно, что наиболее значимыми факторами являются стоимость внедрения и сложность внедрения, поскольку эти факторы сильно влияют на требования к эффекту от внедрения. Следующими по значимости являются интеграционные и функциональные возможности, которые предлагает решение, поскольку, с одной стороны, компания имеет широкий ИТ-ландшафт специфичных для российских компаний решений от 1С, которые необходимо интегрировать с ПАК, с другой стороны, необходимо иметь широкие интеграционные возможности для обеспечения работы с нейроинтерфейсами. Наименее значимыми являются факторы использования решения в отрасли и опыта работы вендора в России, поскольку эти факторы имеют скорее отношение к выбору интегратора, который будет вести проект внедрения комплекса, однако для общей оценки эти факторы также могут быть полезны.

### 3.1.2. Характеристика программно-аппаратных комплексов

В качестве продуктов, которые были отобраны для оценки по критериям, выступают платформенные решения:

- 1) Siemens PLM Software
- 2) AnyLogic
- 3) General Electric Predix

Компании Siemens и GE располагают обширной базой реализованных проектов и являются одними из лидирующих решений в области цифровых двойников в мире. Решение AnyLogic является одним из наиболее развитых отечественных решений, предлагаемых на российском рынке, однако оно же является наиболее молодым и требует существенного развития.

### 3.1.3. Экспертные оценки по критериям и выбор рационального решения

Для выбора решения, которое будет внедряться в рамках проекта были привлечены эксперты для выполнения работ по анализу открытой документации, дорожных карт

развития продуктов и аналитические сводки внедрений. В результате были составлены оценки данных решений в соответствии с отобранными факторами и их весами, представленные в Таблице 3.2.

Таблица 3.2

**Сравнительный анализ систем по взвешенным оценкам факторов**

№	Фактор	Siemens PLM Software	GE Predix	Anylogic
1	Стоимость внедрения	18	21	25
2	Сложность внедрения	17	19	25
3	Интеграционные возможности	20	24	10
4	Функциональные возможности	21	23	15
5	Использование решения в отрасли	14	13	16
6	Опыт вендора на российском рынке	5	7	10
Суммарная взвешенная оценка в баллах		95	107	101

Из приведенных оценок видно предпочтение в пользу решения компании General Electric, набравшее наиболее количество баллов. Решение пользуется популярностью в том числе среди других российских компаний металлургического сектора России – проект по внедрению был выполнен в Северстали.

Рассматривая ПАК GE Predix подробнее, стоит выделить конфигурацию Asset Performance Management, направленную на создание цифровых двойников производственных активов и их компонентов, что соответствует требованиям и поставленным целям проекта уже в коробочном решении, что сводит необходимость доработок под конкретный проект к минимуму. Решение предлагается в 3 пакетах в зависимости от размеров организации и объема создаваемых двойников. ПАО «МЛНК» относится к блоку крупных, уровня enterprise, организаций. Решение АРМ имеет архитектуру PaaS, платформа как сервис, что подразумевает размещение датчиков, процессов сбора и отправки данных на уровне «МЛНК», а вычислительных процессов и обработку данных на облачных ресурсах GE, используя модули платформы Predix, значительно упрощая процесс разработки и интеграции.

### 3.2. Оценка эффекта от проекта по внедрения решения

Для экономического обоснования целесообразности проекта необходимо провести оценку ожидаемых эффектов, включая оценку затрат на поддержку решения и влияния проекта на достижение целей производственного блока, а также ЦТОиР, оценить срок окупаемости и запас прочности доходности проекта, а также оценить возможные риски и их влияние на ход проекта и его результаты.

#### 3.2.1. Оценка стоимости владения

В первую очередь необходимо провести анализ капитальных вложений для запуска цифровых двойников, стоимости владения системой и оценить ее влияние на затраты поддержки производственных процессов и процессов обслуживания.

#### 3.2.2. Капитальные издержки

К капитальным издержкам относятся затраты на закупку необходимого оборудования, на расширение штата, оплату услуг интегратора, всех необходимых компонентов для инициализации и реализации проекта. Структура издержек приведена в Таблице 3.3.

## Структура капитальных издержек проекта

№	Статья расходов	Кол-во, шт.	Стоимость, руб./шт.	Сумма, руб.
1	Датчики	100 000	100	1 000 000
2	Нейроинтерфейсы	100	150 000	15 000 000
3	Подписка GE Predix Cloud core for Medium Enterprise	1	25 920 000	25 920 000
4	Дополнительные АРМ операторов	15	200 000	3 000 000
5	Поиск и наём сотрудников	15	80 000	1 200 000
Сумма				46 120 000

## 3.2.2.1. Совокупная стоимость владения

Стоимость владения (ТСО) подразумевает под собой совокупность регулярных, условно-постоянных издержек, необходимых на поддержку работы информационной системы после завершения работ в рамках проекта в условиях промышленной эксплуатации. Структура издержек в годовом выражении представлена в Таблице 3.4.

**Структура стоимости владения системой в годовом выражении (ТСО)**

№	Статья расходов	Кол-во, шт.	Стоимость, руб./шт.	Сумма, руб.
1	Подписка GE Predix Cloud core for Medium Enterprise	1	25 920 000	25 920 000
2	Затраты электроэнергии	50 Квт	4.5	225 000
3	Заработная плата персонала	15	1 200 000	17 250 000
4	Резерв под обновление датчиков и расширение штата	н/а	1 500 000	1 500 000
Сумма				44 895 000

Таким образом, система цифровых двойников является капиталоемкой и затратной как на стадии запуска проекта, так и в рамках ее эксплуатации, что обостряет акцент на необходимости обеспечения существенных финансовых выгод от внедрения для обоснования необходимости реализации проекта. При этом из приведенных таблиц видно, что стоимость первоначальных инвестиций в проект лишь немного превосходит сумму ежегодной поддержки работы системы. Для подтверждения целесообразности необходимо провести анализ экономической эффективности проекта.

### 3.2.3. Оценка экономической эффективности.

Основой для расчетов экономической эффективности послужили данные исследования PwC [ссылка] о том, каких результатов стоит ожидать компаниям в зависимости от степени внедрения технологии в отрасли. Проекты по внедрению цифровых двойников набирают популярность среди российских металлургических компаний и уже не являются инновационными, что лишает возможность рассчитывать на максимальный

эффект, однако проекты цифровых двойников персонала и использования нейроинтерфейсов являются новинкой для российских компаний ввиду отсутствия внедрений такого рода на производствах. В совокупности данные два фактора позволяют ожидать средний результат между инновационным и рядовым внедрениями. Потоки положительных финансовых результатов имеют два основных источника:

- 1) Сокращение внепроизводственных издержек от простоя оборудования и закупки необходимых для выполнения работ по обслуживанию компонентов
- 2) Рост выручки от реализации основной продукции ввиду повышения качества, сокращения доли брака и повышения производительности на единицу продукции

Ожидаемые результаты от внедрения представлены в Таблице 3.5.

Таблица 3.5

#### Оценка эффекта от внедрения системы

№	Статья дохода	Относительное изменение, %	Абсолютное изменение, млн руб.
1	Выручка	5 %	23.1
2	Себестоимость единицы продукции, в т.ч. снижение затрат на внеплановое обслуживание, ремонт, простои и закупки	-15 %	50.5
Сумма			73.6

Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что проект позволит существенно повысить эффективность производственных процессов и процессов ЦТОиР, оказывая положительное воздействие на достижение цели сокращения себестоимости продукции. Для оценки срока окупаемости был вычислен NPV проекта, а также была выполнена оценка прочности доходности проекта посредством расчета IRR. Расчет значения NPV, используя в качестве ставки дисконтирования ставку рефинансирования

Центрального Банка России на уровне 7.5%, курса доллара на уровне 80 рублей, с горизонтом на 3 года, срока потенциального устаревания системы и необходимости ее модернизации, приведен в Таблице 3.6.

Таблица 3.6

**Расчет NPV проекта**

Период	0	1	2	3
Сумма	-46 120 000	-19 417 674	5 421 698	28 528 091

Расчет NPV показывает, что проект окупается, начиная со 2 периода ввиду высокой стоимости владения системой и приносит значительный доход, начиная с 3 периода. IRR проекта составил 11.79 %, что является хорошим показателем с запасом прочности в почти 4 % при высокой ставке дисконтирования.

**3.2.4. Оценка рисков проекта**

Условия высокой динамичности окружения проекта – области цифровых технологий, геополитических условий и высокой волатильности курсов валют – вынуждают расширить рамки оценки эффекта от внедрения и рассмотреть как более, так и менее благоприятные сценарии развития по завершении проекта. Такой подход позволит оценить запас прочности доходности проекта. Для этого был выполнена оценка вероятности достижения показателей роста выручки на основе экспертных оценок с помощью привлечения экономического отдела и отдела планирования ПАО «МЛНК». Результат расчетов представлен в Таблице 3.7.

Таблица 3.7

**Оценка вероятности рисков волатильности доходности проекта\***

Относительный прирост выручки	0%	5%	10%	15%
Вероятность наступления	0.15	0.7	0.1	0.05

NPV проекта за 3 года	-31.544 млн руб.	28.528 млн руб.	88.6 млн руб.	118.636 млн руб.
-----------------------	------------------	-----------------	---------------	------------------

\*Оценки вероятностей получены путем экспертных оценок с привлечением экспертов со стороны интегратора

Среднее значение NPV проекта оценивается в 30.029 млн руб. при среднеквадратическом отклонении в 36,136 млн. Такой результат можно считать хорошим, поскольку NPV, учитывающий только первые 3 периода, из которых полноценная эксплуатация подразумевается лишь в 2, имеет высокое значение. Однако высокое значение СКО сигнализирует о высоких рисках, связанных с проектом, которым необходимо уделить достаточное внимание.

Также ввиду высокой динамики фондовых рынков необходимо принять во внимание риски волатильности курса доллара, валюты расчетов по подписке на ресурсы General Electric. Был выполнен анализ эффекта на стоимость владения и эффект от внедрения в зависимости от потенциального изменения курса валют при прочих равных. Результат расчетов представлен в Таблице 3.8.

Таблица 3.8

**Оценка вероятности рисков волатильности курса доллара США по отношению к российскому рублю\***

Средний курс доллара за 3 года	70 руб.	80 руб.	90 руб.	100 руб.
Вероятность наступления	0.25	0.5	0.2	0.05
NPV проекта за 3 года	41.273 млн руб.	28.528 млн руб.	17.222 млн руб.	5.796 млн руб.

\*Оценки вероятностей получены путем экспертных оценок с привлечением экспертов экономического отдела и отдела планирования

Среднее значение NPV проекта в данных условиях оценивается в 28.316 млн руб. при среднеквадратическом отклонении в 9.589 млн руб. Такой расчет показывает слабую

зависимость результатов проекта от курса доллара, несмотря на необходимость совершения расчетов за услуги компании General Electric в долларах.

### 3.3. Формирование требований к решению

Данный раздел посвящен анализу подходов к сбору и формированию требований к информационной системе, а также освещению реестра требований. В рамках формирования требований к проектируемой системе была выбрана классификация требований FURPS+, наиболее раскрывающая весь спектр возможных требований к информационным системам. Следующим этапом был составлен перечень методов сбора требований, наиболее релевантных в рамках проекта. К отобранным методам описания требований относятся:

- 1) Интервьюирование – сбор требований с ключевых стейкхолдеров в части необходимого функционала для обеспечения комфортной и полноценной работы всех пользователей
- 2) Анкетирование – сбор требований со специалистов и сотрудников, которые будут осуществлять непосредственное взаимодействие с системой. Вопросы анкеты следует составлять по результатам выполнения первого пункта сбора требований – интервьюирования ключевых сторон, имеющих влияние на ход проекта
- 3) Анализ вариантов использования – верхнеуровневое описание внедряемого функционала для синхронизации видения проекта со стороны всех заинтересованных сторон
- 4) Пользовательские истории – описание последовательности действий стейкхолдеров в системе, начиная с возникновения потребности в каком-либо действии, заканчивая его реализацией и оценкой результатов.

Таким образом, на начальном этапе была составлена диаграмма вариантов использования для отражения функциональности системы в доступном и понятном, в том числе нетехническим специалистам и менеджменту, графическом виде. Такое решение позволит на раннем этапе подготовить стейкхолдеров к будущим этапам описания требований, а также снижает риски изменений в составе ожидаемой функциональности на более поздних этапах, когда внесение таких изменений будет иметь высокую стоимость. После согласования верхнего уровня требований и концепции проекта проведен более глубокий анализ требований, а также изменений в процессах, ИТ-ландшафте и ИТ-

инфраструктуре компании, необходимых для поддержки работы информационной системы.

### 3.3.1. Проектирование решения на бизнес-уровне

#### 3.3.1.1. Диаграмма вариантов использования информационной системы цифровых двойников

Диаграмма вариантов использования, созданная с помощью универсального языка моделирования UML, отражает верхний уровень требований к тому функционалу, который должен быть реализован в рамках информационной системы, в понятном для заказчиков со стороны бизнеса графическом виде. Результат составления диаграммы представлен на Рисунке 3.1.

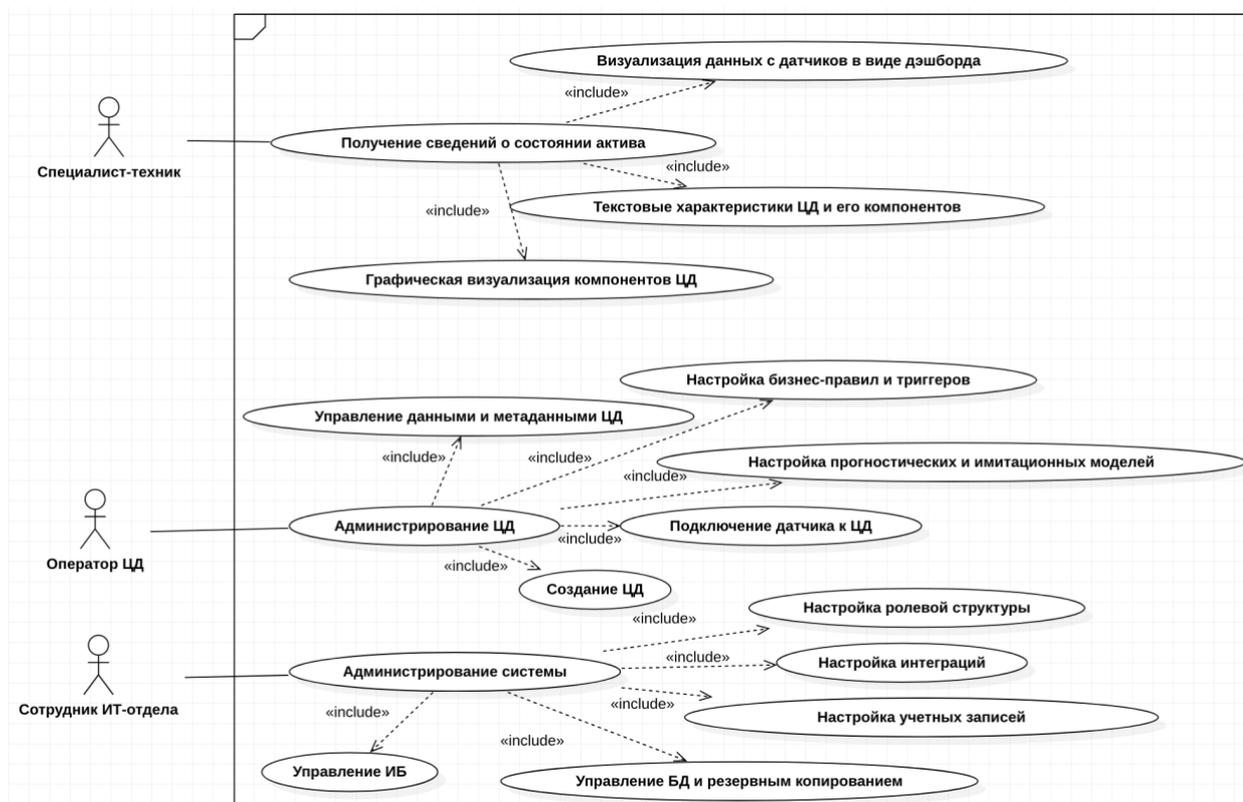


Рисунок 3.1. Диаграмма вариантов использования системы цифровых двойников

По итогам согласования описанных на Диаграмме сценариев взаимодействия и перечня функциональности системы необходимо провести более детальный анализ изменений в процессах и архитектуре на бизнес- и системном уровнях.

### 3.3.1.2. Анализ организационных изменений

Создание информационной системы цифровых двойников подвергает изменениям штатное расписание Центра технического обслуживания и ремонта, поскольку цифровые двойники также нуждаются в обслуживании и. требует наличия специалистов, отвечающих за мониторинг и контроль их нормального функционирования. Также наличие цифровых двойников подразумевает наличие специалистов, в должностные обязанности которых входит настройка и поддержка системы по завершении ее внедрения. Описанные изменения требуют существенного дополнения организационной структуры и создания новых должностных инструкций. Для отражения изменений в организационной структуре была составлена модель на языке Arhimate, представленная на Рисунке 3.2.

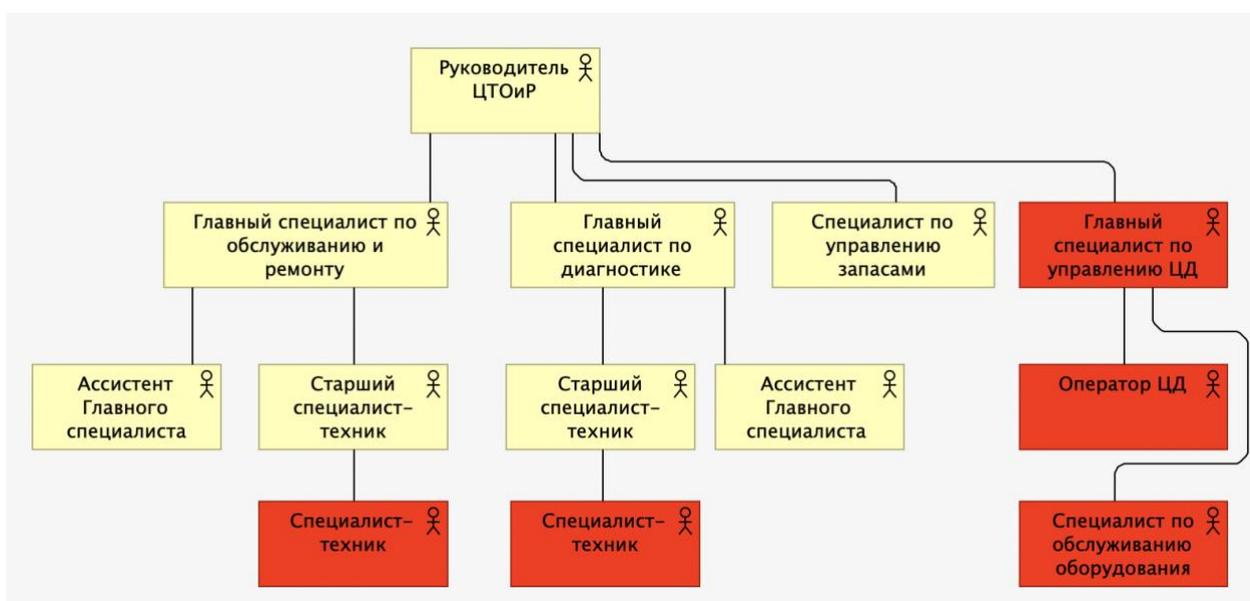


Рисунок 3.2 Модель целевой организационной структуры ЦТОиР

### 3.3.1.3. Анализ процессных изменений

В рамках проекта необходимо проведение реинжиниринга раннее описанного процесса технического обслуживания производственных активов, управления закупками, а также расширение процессной карты ЦТОиР в части процессов поддержки функционирования информационной системы цифровых двойников. Для отображения вносимых изменений была составлена целевая карта процессов ЦТОиР на языке Archimate, представленная на Рисунке 3.3.



Рисунок 3.3. Модель целевой карты процессов ЦТОиР

Основным изменением является учреждение нового процесса по управлению цифровыми двойниками, состоящего из ряда подпроцессов:

- 1) Управление данными, метаданными и прототипами – в зону ответственности подпроцесса входит настройка и поддержка актуальности информации и моделей внутри системы для корректного и адекватного отражения физических аналогов
- 2) Контроль работы датчиков – подпроцесс отвечает за обслуживание физических датчиков и контроль их нормальной работы для обеспечения качества сбора и передачи данных в систему
- 3) Управление и контроль интеграций и передачи данных – задачей подпроцесса является управление интеграцией датчиков, а также других систем с платформой цифровых двойников для обеспечения бесперебойного потока данных и их обмена. Также в задачи входит обеспечение подключения новых устройств и датчиков к системе цифровых двойников.

Помимо создания комплекса новых процессов, существенным изменениям подвергаются основные процессы технического обслуживания ЦТОиР, описанный во 2

главе. Модель целевого состояния процесса, описанная в нотации BPMN, представлена на Рисунке 3.4.

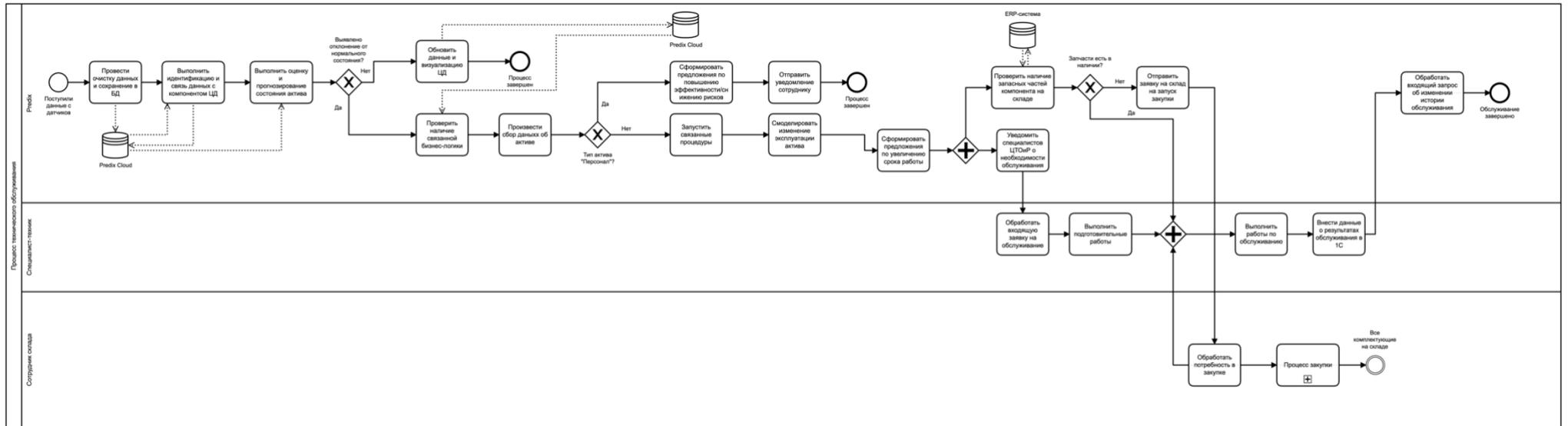
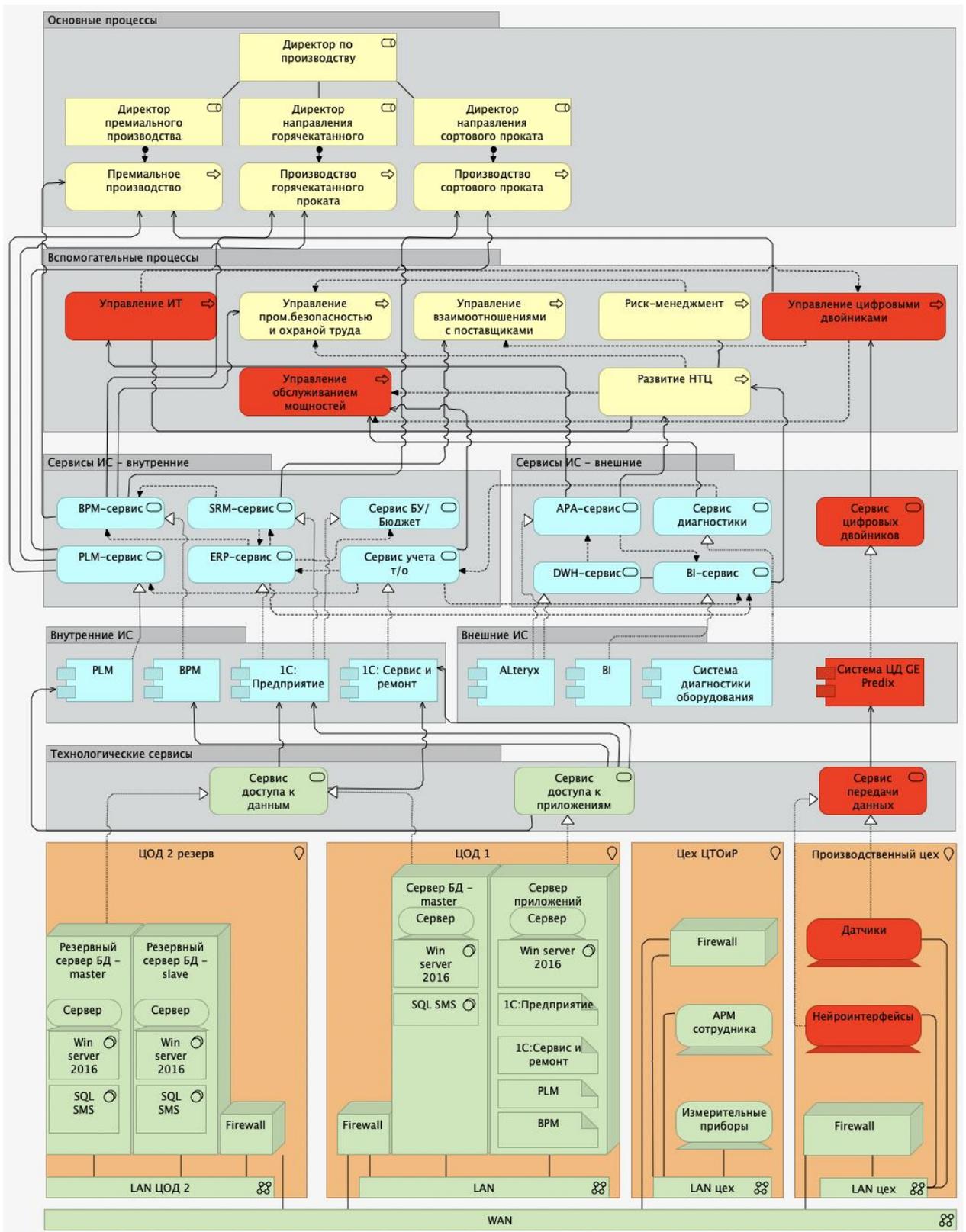


Рисунок 3.4. Модель целевого процесса технического обслуживания ЦТОиР

#### 3.3.1.4. Анализ инфраструктурных изменений

Трансформация ИТ-инфраструктуры и ИТ-ландшафта, с одной стороны, упрощена ввиду облачной архитектуры решения, что устраняет потребность в масштабировании вычислительных мощностей компании и разворачивании системы на собственных серверах, с другой стороны, существенно увеличивает нагрузку на ресурсы сети и требует закупку большого количества датчиков. Для отображения вносимых изменений в контексте всей архитектуры организации в рамках, обозначенных во второй главе, была составлена целевая модель архитектуры, представленная на Рисунке 3.5.



**Рисунок 3.5. Модель целевой трехуровневой архитектуры производственного направления и ЦТОиР**

Рассматривая технологический слой, можно заметить добавление элементов датчиков, подключенных к локальной вычислительной сети для безопасной маршрутизации данных при отправке в облако GE Predix. Наибольший интерес в данной модели представляет слой

информационных систем: платформа GE Predix является облачным решением с архитектурой PaaS, состоящим из 3 основных компонентов:

- 1) GE Predix Edge OS – ядро системы, главный модуль платформы, отвечающий за общую работоспособность модулей и их взаимодействие
- 2) GE Predix Agent – интеграционный шлюз, отвечающий за все входящие и исходящие потоки данных
- 3) GE Predix Apps – пользовательские, системные и интеграционные модули платформы, направленные на решение определенных задач. Данные модули формируют конечную ценность от использования платформы цифровых двойников

Описанные компоненты информационной системы отвечают за реализацию сервисов, с которыми работают сотрудники в рамках выполнения своих операционных задач. Такими сервисами являются:

- 1) GE Predix APM – сервис управления производственными активами, отвечающий за реализацию и поддержку бизнес-логики цифровых двойников, связь данных с датчиков с компонентами цифровых двойников, запуска бизнес-процессов, визуализации данных прочей логики
- 2) GE Predix Data Cloud – облачное хранилище данных, отвечающее за первичную обработку и очистку данных, поступаемых с датчиков, а также создание и хранение резервных копий
- 3) GE Predix ML – сервис машинного обучения, состоящий из набора математических моделей, направленных на решение задач построения прогнозов состояния активов на основе полученных данных с физических активов

Данные сервисы совместно отвечают за поддержку бизнес-процессов, связанных с обслуживанием производственных активов и мониторингом их состояния.

### 3.3.2. Проектирование решения на системном уровне

Для реализации готового решения в виде комплекса цифровых двойников после определения границ проекта, выбора необходимых компонентов платформы, формирования верхнего уровня бизнес-требований и множества пользовательских сценариев, необходима более детальная проработка требований, как бизнес, так и системных, а также необходимо

сформировать реестр необходимого оборудования и датчиков к закупке. Данный раздел освещает требования к оборудованию и к системе в целом.

### 3.3.2.1. Анализ необходимого оборудования

Для решения задачи по оцифровке производственных активов необходимо провести закупку оборудования и датчиков для установки на физические активы. При этом необходимо разделить активы на 2 категории: производственные мощности – станки, печи и другие физические объекты, и персонал – операторы станков и сотрудники, отвечающие за изготовление готовой продукции как собственноручно, так и посредством работы со станками. Обязательным требованием к датчикам является наличие микропроцессора для обеспечения сбора и отправки данных, а также коммутационного модуля для устранения необходимости передачи данных на контроллер в пользу прямого подключения датчика к облаку. Для первой категории активов необходимыми датчиками являются:

- 1) Датчик температуры
- 2) Датчик давления
- 3) Датчик наклона
- 4) Датчик вибрации
- 5) Датчик обнаружения препятствий

Для второй категории, персонала, необходима закупка следующего оборудования:

- 1) Нейроинтерфейс с возможностью интеграции в каску
- 2) Датчик чистоты воздуха в непромышленных помещениях

Совокупность этих датчиков позволит снимать показания фактического состояния оборудования и персонала для прогнозирования и идентификации рисков и прочих факторов, имеющих потенциальное негативное влияние на производственный процесс, для обеспечения заблаговременной реакции на их возникновение. Взаимодействие датчиков с платформой при этом должна осуществляться посредством отправки HTTP-запросов в API GE Predix с указанием уникального идентификатора датчика и актива.

### 3.3.2.2. Формирование реестра требований

Для описания требований была выбрана классификация FURPS+, позволяющая описать требования со широкого спектра точек зрения и наиболее полным образом описать требования к системе. Данный реестр служит основой для дальнейшего составления SLA комплекса цифровых двойников, поэтому помимо традиционного описания требований, необходимо расширить реестр данными о приоритете и рисках, связанных с требованиями, а также оценке частоты внесения изменений в требование. Реестр описанных требований представлен в Таблице 3.9.

**Реестр требований к проектируемой системе цифровых двойников**

№	Название	Описание	Группа	Приоритет	Риск	Стабильность	Пользователи требования
1	Частота обновления данных ЦД	Максимальный интервал обновления данных ЦД должен составлять не более 3 секунд	F	1	Средний	Средняя	ЦТОиР  ИТ-отдел
2	Управление ЦД	Система должна обеспечивать возможность выполнения операций с ЦД:  1) Создание прототипа ЦД 2) Подключение источников данных ЦД 3) Редактирование ЦД 4) Удаление ЦД	F	1	Высокий	Низкая	ЦТОиР  ИТ-отдел

3	Управление математическими моделями	Система должна иметь возможность выполнять следующие действия с моделями машинного обучения:  1) Построение модели 2) Тестирование модели 3) Редактирование модели 4) Удаление модели 5) Настройка бизнес-правил и процессов по событиям	F	1	Высокий	Средняя	ИТ-отдел
4	Реализация симуляций	Система должна поддерживать возможность выполнения симуляций поведения производственных активов при заданных параметрах эксплуатации	F	2	Средний	Средняя	ИТ-отдел
5	Обработка данных	Система должна обеспечивать качество данных посредством	F	1	Низкий	Высокая	ИТ-отдел

		валидации и очистки получаемых с датчиков данных					
6	Управление метаданными ЦД	Система должна позволять расширять модели ЦД метаданными о физическом объекте и хранить их в привязке как ко всему ЦД, так и к конкретным компонентам	F	3	Средний	Средняя	ЦТОиР ИТ-отдел
7	Интеграция с бизнес-сервисами	Система должна поддерживать связь с существующими системами посредством интеграции по REST API систем. Для обеспечения ценности системы цифровых двойников должна быть обеспечена возможность:  1) Описания бизнес-логики и правил	F	2	Низкий	Высокая	ЦТОиР ИТ-отдел

		<p>2) Связи правил и логики с триггерными событиями ЦД</p> <p>3) Написания процедур с запросами к внешним системам</p>					
8	Визуализация ЦД	<p>Система должна поддерживать:</p> <p>1) Загрузку САД-моделей физических объектов и связь модели с компонентами ЦД</p> <p>2) Отображать графическое представление ЦД в пользовательском интерфейсе просмотра состояния ЦД</p> <p>3) Использовать цветовые индикаторы на модели для упрощения восприятия</p>	U	3	Низкий	Высокая	<p>ЦТОиР</p> <p>ИТ-отдел</p>

		состояния пользователями актива					
9	Управление учетными записями	Система должна поддерживать ролевую модель пользователей с обеспечением:  1) Разграничения прав и доступов 2) Администрирования существующими учетными записями	F	1	Высокий	Средняя	ЦТОиР  ИТ-отдел
10	Управление резервными копиями	Система должна поддерживать горячее резервное копирование всех данных для обеспечения сохранности данных при сбоях в продуктивной СХД, также должна создавать холодные копии каждый час и хранить данные с холодными копиями в течение суток	R	1	Высокий	Высокая	ИТ-отдел

11	Обеспечение доступности сервисов	Система ЦД должна быть доступна 98% планового времени работы. Простой системы должен быть запланирован за 2 рабочих дня и согласован	R	1	Высокий	Средняя	ЦТОиР  ИТ-отдел
12	Управление Service Desk	Служба технической поддержки системы силами, как внутренних специалистов, так и специалистов поддержки GE Predix должна быть доступна в течение всего срока работы системы без перебоев	R	1	Высокий	Высокая	ЦТОиР  ИТ-отдел
13	Максимальное время отклика системы	Система должна обеспечивать производительности с максимальным временем ответа на запросы на уровне 50 мс при пиковых количествах сеансов – 1 000 000 сеансов датчиков и 100 сеансов специалистов	P	2	Высокий	Высокая	ЦТОиР  ИТ-отдел

14	Максимальное время построения прогноза	Система должна обеспечивать высокую скорость построения прогнозов на уровне до 1 секунды на 1 полученный набор данных. При этом необходимо построение параллельного прогнозирования по нескольким наборам данных	P	2	Средний	Высокая	ЦТОиР ИТ-отдел
15	Управление инцидентами	Необходима поддержка системы управления инцидентами со стороны ИТ-отдела согласно подходу, описанному в ITILv3. Инциденты, в зависимости от их критичности, должны быть устранены:  <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Критический приоритет – 1 час</li> <li>2) Высокий приоритет – 3 часа</li> <li>3) Средний приоритет – 1 рабочий день</li> </ol>	S	1	Высокий	Средняя	ЦТОиР ИТ-отдел

		4) Низкий приоритет – 1 рабочая неделя					
16	Управление проблемами	<p>Необходима поддержка системы управления проблемами со стороны ИТ-отдела согласно подходу, описанному в ITILv3. Инциденты, в зависимости от их критичности, должны быть устранены:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Критический приоритет – 1 рабочий день</li> <li>2) Высокий приоритет – 1 рабочая неделя</li> <li>3) Средний приоритет – в рамках спринта работы ИТ-отдела</li> <li>4) Низкий приоритет – в рамках «большого» спринта работы ИТ-отдела</li> </ol>	S	1	Средний	Средняя	ЦТОиР  ИТ-отдел

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог исследованию, можно заключить, что поставленная цель в рамках работы описания проекта цифровой трансформации достигнута. При этом были выполнены следующие задачи:

- 1) Осуществлен поиск и анализ информации о существующих подходах к оценке состояния и обслуживания производственных активов
- 2) Проведен анализ технологии цифровых двойников и нейроинтерфейсов
- 3) Сформировано описание осуществленных проектов и проведен анализ их эффекта
- 4) Составлено описание и проведен анализ компании, ее бизнес-модели и стратегических целей
- 5) Проведен анализ текущего состояния производственного сегмента ПАО «МЛНК» и Центра технического обслуживания и ремонта
- 6) Выполнен поиск узких мест и проблем выделенных направлений
- 7) Выявлены факторы оценки систем и выполнен выбор рационального программно-аппаратного комплекса посредством экспертной оценки
- 8) Выполнено проектирование целевого состояния архитектуры и процессов
- 9) Сформирован реестр требований и выполнена подготовка к составлению SLA комплекса цифровых двойников
- 10) Выполнены оценка ожидаемых результатов и анализ рисков волатильности доходности проекта при различных сценариях

Выполнение данных задач обеспечило рассмотрение проекта с внутренней и внешней сторон, позволив выявить наиболее приоритетные направления развития бизнеса в целом, а также выявить проблемы для определения путей их решения. В результате был выполнен поиск решения в соответствии с целями организации и составлен проект программно-аппаратного комплекса цифровых двойников с использованием нейроинтерфейсов, включая оценку эффективности его внедрения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интегрированный годовой отчет ММК за 2020 год [Электронный ресурс]. URL: [https://mmk.ru/upload/iblock/c5f/t80bjab1uofvi6fjvfr1i26w23xtape8/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82\\_RUS.pdf](https://mmk.ru/upload/iblock/c5f/t80bjab1uofvi6fjvfr1i26w23xtape8/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_RUS.pdf) (дата обращения: 10.04.2022).
2. THE DIFFERENT TYPES OF MAINTENANCE IN MANUFACTURING, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.machinemetrics.com/blog/types-of-maintenance-manufacturing> (дата обращения: 10.04.2022).
3. Michael W. Grieves Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication - LLC, 2014, 7 p.
4. Digital Twin Technology As A Basis Of The Industry In Future, 2018 г., [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/330029542DigitalTwinTechnologyAsABasisOfTheIndustryInFuture>
5. Digital twins: Bridging the physical and digital, 2020 г., [Электронный ресурс]. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends/2020/digital-twin-applications-bridging-the-physical-and-digital.html>
6. The Connected Project – Capital Projects and the Digital Twin, 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pwc.com/us/en/industries/capital-projects-infrastructure/library/digital-twin-platform-capital-projects.html>
7. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies, 14 апреля 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/326822934DigitalTwinsTheConvergenceofMultimediaTechnologies>
8. Soderberg R. et al. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production //CIRP Annals. - 2017. - Т. 66. - №. 1. - С. 137140.
9. Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use, 21 февраля 2019 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream>
10. Severstal Reduces Unscheduled Maintenance Delays by 20% with Predix Asset Performance Management [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ge.com/digital/customers/severstal-reduces-unscheduled-maintenance-delays-20-asset-performance-management> (дата обращения: 21.04.2021).
11. Product Owner Talks: 20 Digital Twins Solution Providers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dashdevs.com/blog/product-owner-talks-20-digital-twins-service-companies/> (дата обращения 28.04.2021)
12. How Digital Twins Simplify the IoT, 23 января 2019 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/how-digital-twins-simplify-the-iot/>
13. Digital Twin Service towards Smart Manufacturing, 2018 г., [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118302580>
14. Making your asset smarter with the digital twin, 2019 г., [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dnvgl.com/article/making-your-asset-smarter-with-the-digital-twin-63328>
15. Vidal, J. J. (1973). Toward direct brain-computer communication. Annu. Rev. Biophys. Bioeng. 2, 157–180.

16. Farwell, L. A., and Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 70, 510–523.
17. Wu, D., Lance, B. J., Lawhern, V. J., Gordon, S., Jung, T.-P., and Lin, C.-T. (2017b). EEG-based user reaction time estimation using riemannian geometry features. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 25, 2157–2168.
18. Aricó, P., Borghini, G., Di Flumeri, G., Colosimo, A., Bonelli, S., Golfetti, A., et al. (2016). Adaptive automation triggered by EEG-based mental workload index: a passive brain-computer interface application in realistic air traffic control environment. *Front. Hum. Neurosci.* 10:539
19. Michael W. Grieves, *Origins of the Digital Twin Concept*, 2016, 7 p.
20. Feng Xiang, Zhang Zhi, GuoZhang Jiang, *Digital twins technology and its data fusion in iron and steel product life cycle*, 2018 г., [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8361293>
21. Yuchen Wang, Xingzhi Wang, Fei Tao, Ang Liu, *Digital twin-driven complexity management in intelligent manufacturing*, 2021, 17 p.
22. Tao F. et al. *Digital twin-driven product de-sign framework //International Journal of Production Research.* – 2018. – С. 1-19.
23. Толстых Т. О., Гамидуллаева Л. А., Шка-рупета Е. В. Ключевые факторы развития про-мышленных предприятий в условиях цифрового производства и индустрии 4.0 // *Экономика в про-мышленности.* – 2018.
24. Werner Kritzinger, *Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification*, 2016, pp. 1016-1022
25. Российский институт стандартизации, ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. цифровые двойники изделий. общие положения, 2021 г.
26. Александр Прохоров, Михаил Лысачев, Алексей Боровков, *Цифровой двойник: Анализ, тренды, мировой опыт // ООО «АльянсПринт», 2020.* – 401 стр., ил.
27. Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев, А.Г. Шаклеин, Д.Е. Намиот, *Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации Производства*, 2019 г.
28. Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, Chris Barlow, *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research*, 2020, 20 p.
29. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. *A cyber-physi-cal systems architecture for industry 4.0-based manu-facturing systems //Manufacturing letters.* – 2015. – Т. 3. – С. 18-23.
30. Bolton R. N. et al. *Customer experience chal-lenges: bringing together digital, physical and social realms //Journal of Service Management.* – 2018. – Т. 29. – №. 5. – С. 776-808.
31. Дли М. И., Власова Е. А., Соколов А. М., Моргунова Э. В. *Creation of a chemicaltechnological system digital twin using the Python language // Прикладная информатика.* 2021. Т. 16. № 1
32. E. H. Glaessgen, D.S. Stargel, *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*
33. *Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use*, URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mai>
34. *Severstal Reduces Unscheduled Maintenance Delays by 20% with Predix Asset Performance Management [Электронный ресурс]*. URL: <https://www.ge.com/digital/customers/severstal-reduces-unscheduled-maintenance-delays-20-asset-performance-management>

35. Зараменских Е. П., Кудрявцев Д. В., Арзуманян М. Ю. АРХИТЕКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ. Учебник для бакалавриата и магистратуры // Издательство Юрайт, 2018.
36. Understanding Predix (for Developers): Predix technology overview [Электронный ресурс]. URL: [https://www.predix.io/resources/tutorials/tutorial-details.html?tutorial\\_id=1602](https://www.predix.io/resources/tutorials/tutorial-details.html?tutorial_id=1602) (дата обращения 24.04.2020)