Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

На правах рукописи

Русских Полина Андреевна

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
доцент, директор Института
космических и информационных
технологий Капулин Д.В.

Красноярск – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ *4*

1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ *10*

1.1 Современные методы планирования монтажно-сборочных процессов приборостроительного предприятия 12

1.2 Обзор автоматизированных систем планирования 20

1.3 Имитационное моделирование монтажно-сборочных процессов 24

1.4 Методы бережливого производства для повышения эффективности монтажно-сборочных процессов 32

1.5 Постановка задачи оперативного планирования позаказного сборочного производства 37

1.6 Выводы по главе 44

2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИК СИНХРОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА *46*

2.1 Модель метода синхронного планирования 46

2.2 Диаграмма потока создания ценности для мониторинга монтажно-сборочных процессов 52

2.3 Динамический подход к мониторингу монтажно-сборочных процессов 58

2.4 Структура системы планирования монтажно-сборочных процессов ... 63

2.5 Выводы по главе 2 66

3 ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ *67*

3.1 Представление монтажно-сборочных процессов как системы массового обслуживания 67

3.2 Исходные данные для построения имитационной модели монтажно-сборочных процессов 71

3.3 Разработка имитационной модели 76

3.4 Оптимизационный эксперимент 83

3.5 Выводы по главе 3 89

4 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ 90

4.1. Метод синхронного планирования 90

4.2 Реализация программного комплекса 98

4.3 Оценка эффективности 110

4.4 Выводы по главе 4 119

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 121

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 123

ПРИЛОЖЕНИЕ А Имитационная модель 136

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Данные имитационной модели монтажно-сборочного цеха 139

ПРИЛОЖЕНИЕ В 166

Свидетельства о регистрации интеллектуальной собственности 166

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акты внедрения 174

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Современное производство радиоэлектронной аппаратуры является дискретным, отличается позаказностью и многономенклатурностью. Многочисленные компоненты, большое число деталей и вложенность продуктов, сложные параметры управления производством, использование ручных методов планирования приводят к росту числа незавершенных заказов и снижают эффективность такого типа производств. Кроме этого, отличительной особенностью такого производства является наличие монтажно-сборочных процессов (МСП), которые являются решающими в вопросе своевременности выпуска продукции, но их трудно автоматизировать для многономенклатурного производства. Эффективность МСП определяется качеством принятия оперативных решений на уровне цеха, прогнозирования доступности оборудования, оценки производительности и устранения узких мест, т. е. уровнем автоматизации процесса оперативного планирования в режиме реального времени.

Одной из ключевых задач при разработке методов оперативного планирования является синхронизация отдельных стадий и работ производственного процесса. В частности, каждая операция МСП характеризуются определенным ритмом и темпом работ, и общий объем выпуска продукции определяет производственный темп. Необходимость синхронизации учитывается для поточных производственных линий, но не менее существенное влияние оказывает синхронность процессов для позаказного дискретного производства. Реализация принципа синхронизации предполагает необходимость сопоставления ресурсов на каждом этапе производственного цикла и их постоянное регулирование. Существующие методы оперативного планирования и реализующий их автоматизированные системы часто не синхронизированы с текущим производственным процессом, что это приводит к высокому уровню незавершенных заказов. Необходим новый взгляд на существующие автоматизированные системы оперативного планирования в рамках их применения для МСП и поиск подхода к автоматизации создания опера-

тивно-производственного плана с учетом фактической реализации обеспечиваемого производственного процесса.

Степень разработанности темы. Изучением методов построения цифровых информационно-управляющих систем производством занимаются А.И. Боровков, В.И. Абрамов, Е.П. Алемасов. В свою очередь вопросами имитационного моделирования функционирования промышленных систем занимались А.А Клочко., В.А. Смелов, Е.А Назойкин. Вопросами автоматизации процессов оперативного планирования для позаказных производств занимались отечественные исследователи, среди которых Р.Р. Загидуллин, Е.Б.Фролов, М.А. Казанцев, А.А. Баранов, так и зарубежные исследователи Т. Савик, Л.С. Гендри, С.К. Грэйвс.

Анализ работ этих ученых показал, что применение средств имитационного моделирования для прогнозирования производственных процессов и работа с фактическими производственными данными при оперативном планировании уже известны, но при этом нет комплексного подхода и соответствующей методики, позволяющих синхронизировать процессы планирования и управления в МСП. Следует разработать подход, позволяющий синхронизировать построение оперативных планов по фактическим событиям для МСП, обеспечивающий прогноз дальнейшего выполнения производственного заказа. Данная задача является более сложной, в отличие от традиционного статического построения планов: условия планирования могут меняться с течением времени, меняется приоритет выполнения заказов или добавляется новый заказ, становятся недоступны производственные ресурсы, возникают задержки в выполнении существующего плана, что требует его перестройки.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности монтажно-сборочных процессов радиоэлектронной аппаратуры за счет автоматизации оперативного планирования и управления.

Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

1. Провести анализ основных существующих методов планирования и автоматизированного управления МСП позаказного производства радиоэлектронной аппаратуры. Выполнить математическую постановку задачи построения расписания и оптимизации оперативного плана МСП.

2. Разработать метод автоматизированного мониторинга МСП с использованием комбинации фактических и модельных производственных данных.

3. Разработать имитационную модель динамического распределения ресурсов МСП при решении задачи оперативного планирования.

4. Разработать метод автоматизации оперативного планирования МСП с учетом необходимости синхронизации производственных процессов и реализовать его в виде программного обеспечения. Провести интеграцию разработанного ПО с существующей АСУП.

5. Оценить использование разработанных методов и модели в рамках достижения повышения эффективности монтажно-сборочных процессов.

Научная новизна исследования:

1. Впервые разработан метод синхронного оперативного планирования монтажно-сборочных процессов, отличающийся от известных методов планирования наличием процедуры выравнивания производственного такта с динамическим обновлением оперативного плана, что позволяет синхронизировать монтажно-сборочные процессы, тем самым обеспечить прогнозируемый срок исполнения заказов и повысить эффективность производства.

2. Разработана новая имитационная модель монтажно-сборочных процессов, обеспечивающая эффективность управления монтажно-сборочными процессами за счет динамического анализа реализуемости показателей текущего оперативного плана.

3. Предложен метод мониторинга МСП, отличающийся от известных комбинированным использованием фактических и модельных производственных данных для сокращения длительности производственного цикла и уменьшения числа незавершенных заказов.

Область исследований соответствует пунктам 11 и 13 паспорта научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод синхронного оперативного планирования монтажно-сборочных процессов позволяет синхронизировать процесс оперативного планирования и управления монтажно-сборочными процессами в режиме реального времени.

2. Имитационная модель монтажно-сборочных процессов для динамического анализа и оптимальной загрузки производственных мощностей позволяет проводить проверку реализуемости составленного производственного плана, а также рассчитать ожидаемые сроки выполнения заказа в идеальных условиях.

3. Метод мониторинга монтажно-сборочных процессов позволяет отслеживать прогресс выполнения заказа, прогнозировать последствия добавления того или иного заказа в систему, возможность выполнения заказа в срок.

4. Автоматизированная система планирования монтажно-сборочных процессов в виде комплекса программного обеспечения, разработанного на основе предлагаемых методов позволяет сократить длительность монтажно-сборочного цикла, повысить производительность рабочих мест и сократить количество незавершенного производства.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов синхронизации процессов планирования позаказных многономенклатурных производств за счет разработки алгоритмов согласования производственных ритмов. Разработанный метод мониторинга, реализуемый через автоматизированный сбор данных и параметров производственного процесса, позволяет рассчитывать статические характеристики и параметры загрузки рабочих мест с возможностью прогнозирования состояния заказа при помощи имитационного моделирования.

Практическая значимость исследования состоит в разработке программного обеспечения автоматизированной системы синхронного оперативного планирования и интеграции разработанного ПО с существующей автоматизированной системой управления предприятием АО «НПП «Радиосвязь». Предложенный метод синхронного оперативного планирования монтажно-сборочных процессов используется в деятельности монтажно-сборочного цеха и дает возможность повысить эффективность использования ресурсов предприятия, а разработанная имитационная модель монтажно-сборочных процессов позволяет многономенклатурным мелкосерийным производствам проводить проверку исполнимости оперативного плана и выявлять узкие места. Предложенные методы, которые были применены на АО «НПП «Радиосвязь», что подтверждается актом внедрения, могут быть использованы для других монтажно-сборочных производств полного цикла мелкосерийного типа, а также в учебном процессе по дисциплинам «Производственная логистика» и «Имитационное моделирование» при подготовке магистров по программам «Киберфизические системы управления производством».

Диссертационная работа была подготовлена в рамках научного проекта РФФИ № 20-07-00226 «Исследование вариантов построения архитектуры информационной системы синхронного планирования позаказного сборочного производства».

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования были представлены на международных конференциях: MIP Engineering-IV 2022: Модернизация, Инновации, Прогресс: Передовые технологии в материаловедении, машиностроении и автоматизации, Санкт-Петербург; APITECH-III 2021, Прикладная физика, информационные технологии и инжиниринг, Красноярск; ITBI 2020, Информационные технологии в бизнесе и промышленности, Новосибирск; ICMSIT 2020, Метрологическое обеспечение инновационных технологий, Санкт-Петербург; MIST: Aerospace 2019, Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации,

Красноярск; HIRM 2019, Современные технологии и инновации в науке и промышленности, Красноярск; ITBI 2018, Информационные технологии в бизнесе и промышленности, Новосибирск.

Публикации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 16 научных работ, включая 5 работ в рецензируемых научных изданиях ВАК, 6 публикаций, входящих в систему цитирования Web of Science, Scopus, получены 8 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент на изобретение. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, лично автором получены следующие результаты: [1, 5,7, 8] – анализ методов повышения эффективности МСП приборостроительного предприятия; [2, 11, 12] – имитационная модель монтажно-сборочных процессов; [3,4,9] – метод мониторинга МСП; [4, 5, 10,13] – метод синхронного оперативного планирования.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованной литературы из 118 наименований и 4 приложений. Текст диссертации изложен на 122 страницах, содержит 53 рисунка и 26 таблиц, общий объем с учетом приложений составляет 175 страниц.

1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

На современном рынке производителям приходится постоянно улучшать свои производственные показатели, чтобы сохранить свое конкурентное преимущество. Основной целью каждой производственной фирмы является достижение долгосрочной прибыльности. Для этого фирма должна последовательно производить высококачественную продукцию с конкурентоспособными удельными затратами и своевременными поставками. Быстрая и глобальная передача информации и открытые рынки являются наряду с экономическими аспектами главным фактором изменения глобальной структуры производства. Факторы, влияющие на динамику изменений производственных структур это изменения на рынке, в экономике, в социальной и политической сфере требуют динамической адаптации производства. Все это влечет за собой необходимость в обучении персонала, новых методах, новых технологиях и новых продуктах [1-4].

Ключевым фактором, позволяющим разрабатывать продукцию под требования клиентом, при этом сохраняя низкую стоимость и высокое качество товара, является короткий цикл технологической подготовки производства. Раньше, сразу после выхода новой продукции можно было наблюдать долговременный устойчивый рост объемов производства и затем следовал спад. В настоящее время объемы производства гораздо быстрее достигают количественного пика, но и сокращение производственного объема происходит резко, чаще всего из-за модификации продукта [5-7]. Новый тип жизненных циклов и растущее число моделей и вариантов продукции повышает сложность производственных процессов. Надежная поставка индивидуальных продуктов имеет наивысший приоритет на глобально распределенных рынках и этот приоритет все больше определяет потребность в развитии продуктов, процессов и производственных

мощностей. На физическом уровне производственные и сборочные системы должны быть реконфигурируемыми, а завод с его технической инфраструктурой, включая здание, должен быть трансформируемым. Логический уровень требует систем планирования, способных реагировать на изменения в дизайне продукта. Планирование и контроль производства должны реагировать на изменения в объеме продукции, смешивать или реконфигурировать технологические планы [8].

Многочисленные компоненты, большое число деталей и вложенности продуктов, сложные параметры управления производством, использование ручных методов планирования приводит к росту числа незавершенных заказов и снижают эффективность такого типа производств. Кроме этого отличающейся особенностью такого производства является наличие монтажно-сборочных процессов (МСП) которые являются решающими в вопросе своевременности выпуска продукции, но их трудно автоматизировать для многономенклатурного производства. Сборка представляет собой совокупность технологических операций механического соединения деталей, ЭРЭ и интегральных микросхем (ИМС) в изделии или его части, выполняемых в определенной последовательности для обеспечения заданного их расположения и взаимодействия. Выбор последовательности операций сборочного процесса зависит от конструкции изделия и организации процесса сборки. Технологический процесс сборки – это совокупность операций, в результате которых детали соединяются в сборочные единицы, блоки, стойки, системы и изделия. Эффективность МСП определяется качеством принятия оперативных решений на уровне цеха, прогнозирования доступности оборудования, оценки производительности и устранения узких мест, т.е автоматизацией процесса оперативного планирования в режиме реального времени. Оперативно-производственное планирование отвечает за обеспечение доступности всех материалов, элементов сборки в нужное время, в нужном месте и в нужных количествах для того, чтобы обеспечить ход операций в соответствии с заданными

графиками при минимально возможных затратах. Планирование производства динамично по своей природе и всегда остается в текучем состоянии, поскольку планы могут быть изменены в соответствии с изменениями обстоятельств. В то время как заводы производящие стандартизированную продукцию большими объемами удовлетворены существующими методами планирования, для мелкосерийного позаказного производства с большим числом номенклатуры изделий не существует достаточно эффективных методов.

1.1 Современные методы планирования монтажно-сборочных процессов приборостроительного предприятия

Производство, ориентированное на клиента, в котором производственная деятельность определяется заказами клиентов, является ключевой концепцией завода будущего. Эта концепция вытекает из тенденций производить малыми партий изделия по индивидуальному заказу. Крайний случай такого производства - это единственное в своем роде производство, при котором заказанный клиентом продукт производиться только раз. Более распространенный случай это производство по заказу, в рамках которого широкий ассортимент продукции со спецификацией и дизайном клиента изготавливается из комбинации стандартных материалов и компонентов. Общей чертой при производстве на заказ является то, что производство осуществляется только при получении заказа от клиента [9-12].

Исходя из существующей совокупности технологических процессов и технологических маршрутов при изготовлении заказов производственную структуру можно представить, как взаимодействие заготовительного, механообрабатывающего производства со сборочным производством. Заготовительное производство обеспечивает выполнение технологических операций резки, штамповки, лазерной обработки, механообработки, гальваники и т.д. Сборочное производство обеспечивает выполнение технологических операций сборки в рамках части производственной структуры, которая включает

совокупность складских подразделений и сборочных цехов. В соответствии с последовательностью технологических операций процесс сборки (монтажа) делится на сборку (монтаж) отдельных сборочных единиц (плат, блоков, панелей, рам, стоек) и общую сборку (монтаж) изделия. Организационно он может быть стационарным или подвижным, с концентрацией или дифференциацией операций. При стационарной сборке собираемый объект неподвижен, а к нему подаются необходимые сборочные элементы, а при подвижной сборке сборочная единица перемещается по конвейеру вдоль рабочих мест, за каждым из которых закреплена определенная часть работы.

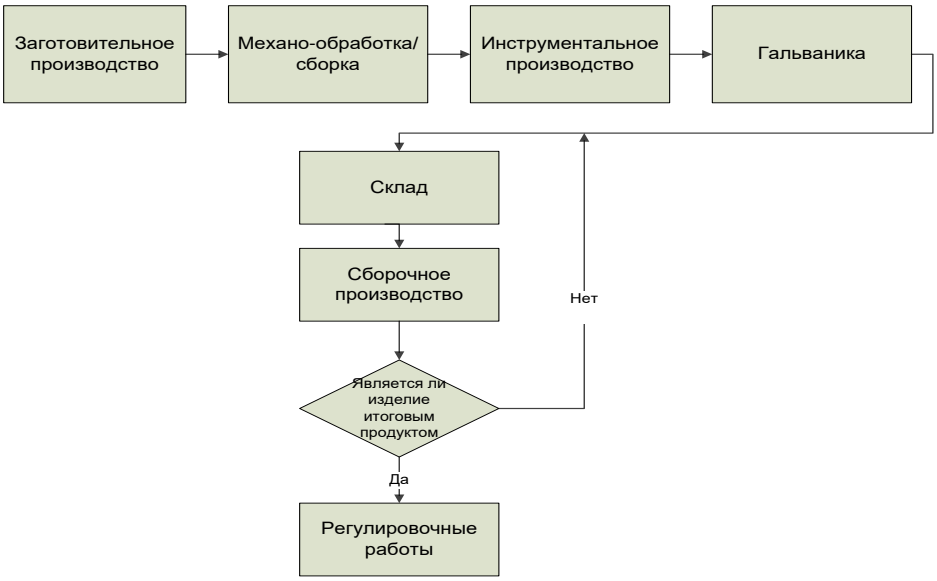


Рисунок 1.1 – Укрупненный технологический маршрут

На рисунке 1.1 представлена типовая схема изготовления изделия. К монтажно-сборочным процессам предъявляются требования высокой производительности, точности и надежности. На повышение производительности труда существенное влияние оказывают не только степень детализации процесса и специализации рабочих мест, уровень механизации и автоматизации, но и такие организационные принципы, как параллельность, прямоточность, непрерывность, пропорциональность и ритмичность.

Ведущими элементами производственной структуры при выполнении технологических процессов сборки изделий являются сборочные цеха, в которых завершается цикл изготовления изделий. Важной особенностью сборочных цехов является то, что на этапе сборки стоимость незавершенного

производства приближается к предельной величине — себестоимости готовой продукции. Поэтому сокращение длительности цикла сборки обеспечивает не только ускорение оборачиваемости оборотных средств, но и наиболее эффективное использование производственных площадей. При этом уровень автоматизации сборочных производств в России крайне низок, а трудоёмкость данного вида работ в единичном и мелкосерийном производстве составляет 20 - 60% от общей трудоёмкости производства в приборостроении, в то же время длительность цикла самой сборки невелика. Надо отметить, что уровень организации сборочных работ дает представление об организационно-техническом уровне всего производства.

Чтобы обеспечить надежную дату поставки для производства по заказу требуются реалистичные и гибкие операционные планы, а также механизм контроля для простого отслеживания прохождения заказа. Большая часть современных приборостроительных предприятий состоит из малых и средних предприятий, работающих исключительно с мелкой серией. Постоянное изменение объемов производства и комплектующих приводит к неравномерному и малоэффективному использованию мощностей предприятия [13]. Поскольку планирование производства является связующим процессом между разработкой продукта и его производством , оно является ключевым фактором для снижения затрат и ускорения выхода на рынок. Тем самым задача планирования, которая стоит перед любым предприятием усложняется [14].

Планирование – это процесс по разработке планов производства с учетом существующих ограничений. Целью производственного планирования является удовлетворение потребительского спроса при минимальных затратах. Исходя из срока планирования можно выделить следующие категории : долгосрочное (стратегическое) планирование, среднесрочное (тактическое) планирование и краткосрочное планирование [15]. Долгосрочное планирование определяет структуру поставок, краткосрочное же назначает задачи подразделениям и последовательности выполнения заказов в каждом подразде-

лении. На уровне производства краткосрочное планирование называется оперативно-производственным [16-19].

Производственное и календарное планирование связывают две важнейшие функции в компании: проектирование и производство. Проектирование определяет вид изделия, в то время как производство определяет скорость изготовления. Планирование производства связано с подготовкой производства, в частности с разработкой технологического плана изделия. Этот план содержит информацию об используемом сырье, последовательности изготовления, инструментарии и соответствующем нормативном времени. Календарное планирование в свою очередь определяет задачу или задачи для каждого рабочего места. В то время как производственное планирование не учитывает никакой информации о загрузке оборудования на уровне цеха, календарное планирование назначает задания с учетом оборудования.

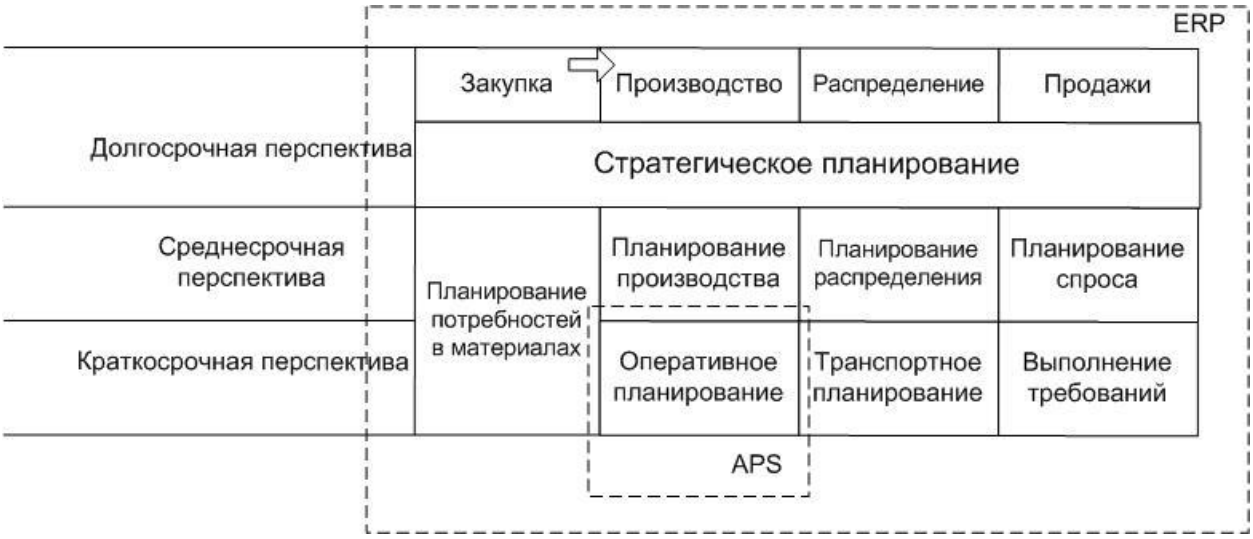


Рисунок 1.2 – Категории планирования предприятия

Организация планирования позаказного мелкосерийного производства имеет свои особенности [20-27]. В контексте промышленного производства термин «Единичное производство » и « Мелкосерийное производство» основано на количестве изделий на партию и частоте повторения заказов в год. Среднее количество для мелкосерийного производства составляет около 50 изделий на партию, которые производятся менее 12 раз в год [28].

Стратегии производства могут быть различные и зависят от типа продукта который производит компания. Есть две принципиально разные концепции: изготовление на заказ и изготовление на склад. Производство на склад обычно происходит без конкретных заказов клиентов исходя из существующих прогнозов, а возникающие заказы удовлетворяются запасами готовой продукции [29-31].При стратегии производства на заказ возникновение заказа от клиента запускает производственный заказ. Компании, изготавливающие на склад, чаще всего выпускают стандартную продукцию без какого-либо специфического влияния заказчика. При изготовлении на заказ влияние клиента на продукт является существенным, что в итоге приводит к большему числу номенклатуры и вариации изделий. Объем выпускаемой продукции на единицу номенклатуры значительно меньше, чем при производстве на склад [32]. При изготовлении на склад часто выпускают недорогие продукты с простой структурой. С другой стороны, при изготовлении на заказ, как правило, выпускают многосоставные продукты со сложной структурой. При стратегии изготовления на склад организация производства имеет поточный вид. Рабочие места расставлены согласно материальному потоку. Количество вариантов итоговой продукции строго ограничено. Позаказное производство как уже упоминалось, производит сложные продукты, поэтому материальный поток является неориентированным и сложным. В связи с этим по цеховое производство является типичным для такого типа производства. Кроме этого эти стратегии отличаются и с точки зрения логистики. При производстве со склада необходимо иметь в наличии необходимые детали и немедленно удовлетворять покупательский спрос [33-35].

Существует промежуточная стратегия известная как сборка под заказ. В таких производствах продукты собираются из компонентов после получения заказа от клиента. Ключевые компоненты производятся заранее и хранятся в ожидании заказа клиента. Получение заказа инициирует сборку индивидуального продукта. Эта стратегия может применяться, когда есть большое количество конечных продуктов, различающихся разными опциями

и аксессуарами, может быть собрано из общих компонентов [36]. В случае, когда продукты слишком сложны или потребительский спрос непредсказуем, производители предпочитаются держать продукты в полуфабрикатах. При такой стратегии производители не могут производиться продукты так же быстро как при производстве на склад, поскольку для завершения окончательной сборки требуется дополнительное время. В укрупненном виде стратегия сборки под заказ близка к стратегии производства под заказ, главное отличие заключается в уровне запасов для каждого стратегии.

Первым этапом планирования является возникновение заказа или запроса от клиента. Когда клиент приглашает к участию в тендере на конкретный продукт потенциальным поставщикам, требуя определенной цены и даты поставки. Для производств со стратегией производства на заказ планирование должно начинаться здесь, поскольку каждый заказ может быть разным и решения принятые здесь влияют на все последующие этапы. Далее идет этап проектирования, где происходит детальное проектирование и инженерное планирование для принятых заказов. При проектировании уникального изделия, что так же происходит в мелкосерийном производстве, каждый заказ клиента приводит к уникальному набору деталей, спецификаций и производственных маршрутов. Среда проектирования на заказ является самой медленной для выполнения, требуется время не только для создания продукта, но и для индивидуального проектирования в соответствии с уникальными требованиями заказчика. Следующим этапом планируется производство подтвержденного заказа, в том числе потребность в материалах, закупки, маршрутизация цехов.

Создание производственного плана для крупносерийного/массового производства является линейной функцией, поскольку каждое оборудование в технологической цепочке используется один раз. Для мелкосерийного производства каждая номенклатура изделия имеет собственный маршрут изготовления. При одновременном изготовлении различных изделий, маршруты их изготовления пересекаются. Кроме этого, технологический

процесс может быть построен таким образом, что для выполнения очередной технологической операции деталь повторно поступает на обработку на один и тот же станок. Это приводит к возникновению так называемых «потоков возврата» в структуре материальных потоков деталей и существенно усложняет планирование производства.

Большое число операций, прикрепляемых к одному рабочему месту, создает обстановку часто меняющихся производственных условий на рабочих местах, что выражается в частых изменениях настройки оборудования, заменах инструмента и приспособлений, смене на рабочих местах сортов и марок материала, подвергающегося обработке, в постоянном освоении новых работ по новым чертежам и техническим условиям. Все это требует дополнительного времени, которое должно учитываться при планировании, а в оптимальном случае при планировании необходимо группировать сходные заказы для уменьшения количества требуемых переналадок.

Оптимизация производственных расписаний имеет решающее значение в условиях дискретного производства на заказ. Календарное планирование в производственных системах основано на математических и эвристических методах, которые позволяют правильно распределить ограниченные производственные мощности согласно необходимой производственной деятельности, и решает задачи многокритериальной оптимизации. Создание производственного расписания является недетерминированной полиномиальной задачей, высокого уровня сложности. Формально задача планирования - это размещение семейства работ, $N = \{1, 2,\ldots, n\}$, на множестве машин, $M = \{1, 2,\ldots, m\}$. Каждое задание j состоит из класса операций $O_{j,}$ где операция O_{ij} задания j должна выполняться на машине i. Каждой операции O_{ij} соответствует время обработки $p_{ij} \in \mathbb{N}$ на машине i. Каждое задание j будет связано с упорядочиванием R_j операций O_j, отражая порядок приоритета среди операций. Весь смысл составления расписания состоит в том, чтобы найти расписание π ра-

бот на машинах, дающее оптимальное значение $F(\pi)$, где F обозначает некоторую целевую функцию [37].

Проблема создания расписаний – сводится к проблеме планирования проекта с ограниченными ресурсами (RCPSP - Resource-Constrained Project Scheduling Problem). В зависимости от типа организации производственного процесса задачи оперативного планирования можно разделить на несколько классов. Создание расписания для «открытого цеха»(Open shop) это задача планирования, в которой каждый заданный набор заданий должен обрабатываться в течение заданного количества времени на каждой из заданного набора ресурсов в произвольном порядке., и цель состоит в том, чтобы определить время, в которое каждое задание должно быть обработано на каждой рабочей станции. В свою очередь критерий оптимальности для данного типа задач это время запаздывания - количество времени, на которое срок выполнения отличается от установленного срока. Следующий тип расписание для « рабочего цеха» (Job shop) это задача оптимизации, в которой задания назначаются ресурсам в определенное время, критерий оптимальности общее время выполнения работ. Расписание «потокового цеха»(Flow shop) фиксирует порядок использования машин и предполагает последовательное многостадийное выполнение каждого требования на каждой машине в установленном порядке; решением задачи является последовательность требований, при которой минимизируется общее время обслуживания. В качестве критерия оптимальности служит наличие опоздания - это опоздание задания j, если оно не соответствует сроку выполнения, или ноль [38,39].

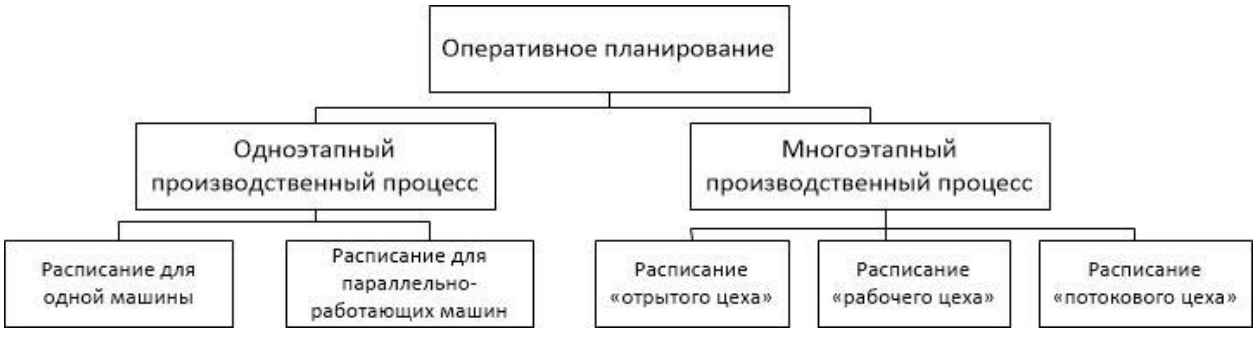


Рисунок 1.3 – Система классификации оперативного планирования производства

Современную задачу оперативного планирования можно определить как динамичный и адаптивный процесс итеративного принятия решений, влияющие на аспекты производства в ответ на немедленные или ожидаемые проблемы. Возможность решение проблем в режиме онлайн – является необходимой, потому что проблема планирования обычно должна быть решена за очень ограниченное время, и отсутствует время для корректировок из-за невыполнимого графика. Поскольку оперативное планирование - это самый низкий уровень контроля на заводе, нет промежуточного уровня управления для корректировки после ошибок.

Практика показывает, что при всей своей сложности, планирование мелкой серии в производстве на заказ часто является ручным. Сам процесс планирования при этом отнимает много времени и не является эффективным, потому что напрямую зависит от уровня знаний и умений ответственного сотрудника. Ручное планирование подразумевает постоянное создание новых рабочих планов, которые являются производными от текущих или предыдущих планов [40]. Усовершенствование компьютерных подходов породило ряд систем автоматизированного планирования. Большинство систем планирования разработаны для нужд производства на склад. Типичные функции таких систем включают в себя планирование потребностей в материалах, управление спросом, планирование производственных мощностей, оперативное планирование. Все это должно сокращать незавершенное производство, время выполнения заказов, снижать затраты на хранение запасов, улучшать соблюдение сроков поставки [41].

1.2 Обзор автоматизированных систем планирования

С математической точки зрения создание расписаний представляет собой решение задачи многокритериальной оптимизации. Задачи оптимизации включают в себя более одной целевой функции оптимизации, где несколько переменных функций должны быть оптимизированы одновременно. Характерной чертой самой оптимизационной задачи является то, что в качестве

конечного результата не существует единого решения, которое могло бы одновременно оптимизировать тот или иной критерий [42]. Среди таких методов: оптимизация по Парето, лексиграфическая оптимизация, оптимизация по приоритету критериев, метод анализа иерархий, метод целевого программирования и эволюционные методы. С точки зрения исследования все они хорошо изучены, но когда рассматривается реальная проблема оперативного планирования сложных многомерных задач , использование данных методов напрямую возможно только с существенными нереалистичными упрощениями. сложных задач многовариантного позаказного производства показывает, что большинство опубликованных статей представляют собой методологические исследования, основанные на гипотетическом решении проблем оперативного планирования, и их практическое применение сомнительно [43].

Учитывая сложность создания оперативного расписания, использование автоматизированных систем является очевидным. Хотя в литературе доступен ряд тематических исследований и описаний реализации инструментов оперативного планирования производства, функциональные возможности этого программного обеспечения сильно различаются: от относительно простых приложений, ориентированных на конкретную проблему, до сложных информационных систем, способных поддерживать широкий спектр решений по планированию. Типичные функции таких систем включают в себя планирование потребностей в материалах, управление спросом, планирование производственных мощностей, оперативное планирование и т.д. Все это должно сокращать незавершенное производство, время выполнения заказов, снижать затраты на хранение запасов, способствовать соблюдение сроков поставки [44].

За последние 20 лет появилось целое направление в индустрии разработки программного обеспечения для производства. В настоящее время, взамен устаревшим стандартам автоматизированных систем планирования классов MRP (Material Requirements Planning) и MRP-II (Manufacturing Resource Planning), пришли системы нового поколения — ERP (Enterprise resource

planning), APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) и MES (Manufacturing Execution Systems). Эти системные решения, апробированные за последние 15-20 лет на различных предприятиях, имеют различное назначение, функциональность и могут быть использованы как в отдельности, так и вместе.

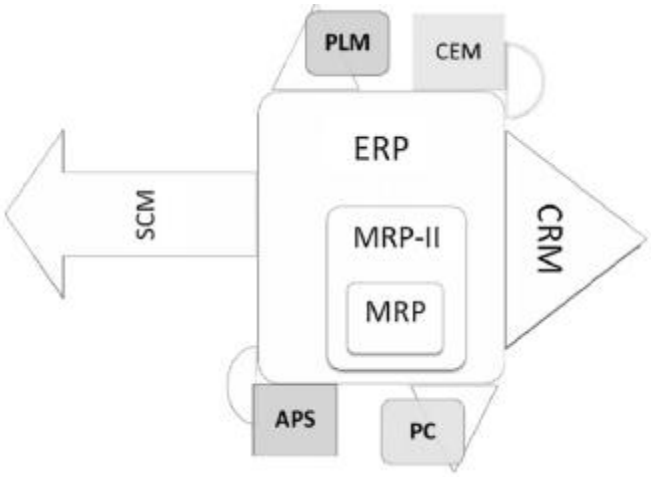


Рисунок 1.4 – Автоматизированные системы производственного планирования

Как видно из рисунка 1.4, каждая из вышеупомянутых информационных систем охватывает оперативное планирование. Эта область планирования является одной из наиболее сложных ввиду ряда факторов, таких как специфика производимой продукции и технологических процессов, а также является одной из наиболее изученных. Большое распространение получили системы класса ERP. Эти системы для управления производством, трудовыми ресурсами, финансами, ориентированные на оптимизацию ресурсов предприятия. Управление цепями поставок, учет запасов, управление взаимоотношения с клиентами, управление персоналом- все это возможности таких систем. При эффективном внедрении ERP-системы, предприятию будут обеспечены бизнес- преимущества [45]. Данные системы стали фактически стандартом управления бизнесом, где возможна автоматизация [46]. Программные продукты такого класса широко представлены на рынке, и поставщики утверждают, что их продукты широко применимы и настраиваются для удовлетворения потребностей любого производства. Но компании произ-

водящие продукцию на заказ , а так же продукцию имеющую высокие требования к качеству имеют достаточно сложные требования в поддержке принятия решений. Остается неясным могут ли ERP системы удовлетворить их требованиям [47]. Важно заметить что ERP системы так же имеют недостатки в области планирования [48]. В связи с этим компаниям требуется более конкретная система управления производственным и оперативным планированием для оптимизации материальных и людских ресурсов.

Системы расширенного планирования- APS возникли из-за ограничений в классических ERP системах. Даже в современных ERP-системах определение оптимального размера партии и последовательность выполнения заказов не зависят друг от друга [49]. В целом, APS имеют лучшую производительность и более полные функциональные возможности, чем ERP-система в области планирования производства, потому что это их главная цель. Используя данные , полученные из ERP или MES системы, APS является программным продуктом позволяющим оптимально загружать производственные мощности с учетом существующих ограничений. Ее определяют как концепцию и методологию процесса принятия решений календарного и оперативного планирования , позволяющую синхронизировать отдельные отделы и цеха внутри предприятия для достижения автоматической оптимизации [50].

В реальности успешное использование APS систем в секторе производств, имеющих большое число номенклатуры и большое число заказов, ограничено. Большая часть APS систем имеет сложную структуру, которую достаточно сложно дорабатывать под нужды конкретного предприятия. Кроме того алгоритмы, используемые для принятия решений в этих системах требуют огромный объем данных для корректной работы, зачастую излишний. Наконец, само по себе приобретение и техническое обслуживание коммерческой системы APS достаточно затратное.

Для связи финансово-хозяйственные ориентированной ERP системой и оперативной производственной деятельностью предприятия была разработа-

на концепция систем класса MES (Manufacturing Execution System - автоматизированная исполнительная система производственного уровня). Входными данными в MES систему является список работ, поступающий от ERP системы либо допустимый план-график, выдаваемый APS системой, далее система сама строит более точное расписание для оборудования и в оперативном режиме отслеживает его выполнение. В целом MES системы реализуют подходы позволяющие строить расписания работ по принципу многокритериальности и в определенной степени более эффективны для оперативного планирования.

Все перечисленные системы в определенной степени решают задачу автоматизации процесса оперативного планирования, но их применимость для сложных многономенклатурных производств имеет ряд трудностей. В первую очередь – это высокая стоимость таких систем, так и стоимость их внедрения и сопровождения, необходимость адаптации сложной структуры системы под особенности производства. Невозможна покупка только системы APS, она должна быть интегрирована к данным ERP системы. Для осуществления эффективного оперативного планирования и MES системы требуют существования на предприятии SCADA системы. Все это накладывает дополнительные ограничения для внедрения таких систем в уже существующее информационное пространство предприятия. Добавим к этому многомерность оптимизационной задачи планирования, и получается, что внедрение любой из таких систем на предприятии помимо высокой стоимости имеет сомнительную эффективность в вопросе создания расписаний, по причине требований огромных вычислительных мощностей.

1.3 Имитационное моделирование монтажно-сборочных процессов

Исследование сложных систем предполагает построение абстрактных математических моделей, представленных на языке математических отношений, позволяющей получить функциональные зависимости характеристик исследуемой системы от параметров [51]. Математическое

моделирование это процесс установления соответствия реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и применение соответствующих математических методов исследования этой модели с целью получения необходимых данных о реальном объекте. Но применение аналитического решения для данной ситуации невозможно, их применяют лишь в простейших случаях при последовательной обработке изделия одного типа и постоянном времени его обработки на каждом этапе [52].

Для более детальной информации о поведении объекта используют имитационное моделирование. Имитационное моделирование — это частный случай математического моделирования. Оно позволяет воспроизводить процесс функционирования системы во времени с сохранением элементарных явлений, их логической структуры и последовательности протекания во времени. Это позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в будущем в определенные моменты времени[53]. Имитационные модели позволяют учитывать такие факторы, как нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и другие, которые часто создают трудности при аналитических исследованиях. Результаты имитационного моделирования, описывают поведение системы, влияние различных параметров системы на ее характеристики, выявляют преимущества и недостатки предлагаемых изменений, и позволяют прогнозировать поведение системы [54].

Если мы хотим оптимизировать функционирование производственной системы многономенклатурного производства, чистые методы оптимизации, как и инструменты планирования, оказываются непригодными, по причине сложности задачи. Имитационная оптимизация обычно применяется в тех случаях, когда производственные задачи характеризуются высоким уровнем сложности, что делает нецелесообразным аналитически формулировать лежащую в их основе задачу [55]. Оптимизация на основе моделирования - это набор инструментов и методы, обычно используемые для помощи исследова-

телям и практикам в отношении анализа и принятия решений, в отношении распределения ресурсов в новых или уже существующих системах. Общей целью этого подхода является предложение методов и инструментов поддержки принятия решений для производственного планирования, в особенности для управления и оптимизации производственных инструментов.

Компьютерное моделирование и имитация относятся к манипулированию вычислительной моделью с целью улучшения анализа поведения системы и оценки стратегий ее функционирования в описательном или прогнозирующем режимах. Термин «модель» рассматривается как «абстрактное и упрощенное представление данной реальности, либо уже существующей, либо только запланированной. Модели обычно определяются для того, чтобы изучать и объяснять наблюдаемые явления или предвидеть будущие явления [56]. Моделирование - это видимое проявление модели, представленное компьютерной программой, которая дает представление о исследуемой системе или приложении. Имитационная модель относится к вычислительным алгоритмам, математическим выражениям и уравнениям, которые инкапсулируют поведение и производительность системы в реальных сценариях.

Существует три основных подхода ИМ: динамическое моделирование, системная динамика (СД), дискретно-событийный (ДС) и агентное моделирование [57]. Каждый метод применяется в некотором диапазоне уровней абстракции. Системная динамика предполагает очень высокий уровень абстракции и, как правило, используется для стратегического моделирования. Дискретно-событийное моделирование поддерживает средний и низкий уровни абстракции. Между ними находятся агентные модели, которые могут быть как очень детализированными, когда агенты представляют физические объекты, так и предельно абстрактными, когда с помощью агентов моделируются конкурирующие компании или правительства государств [58-61]. Прежде чем выбрать метод моделирования, следует тщательно исследовать моделируемую систему и цели моделирования.

1. Имитационное моделирование дискретных событий:

Данный метод в основном используется на оперативном и тактическом уровнях. Большинство бизнес-процессов обычно представляют собой последовательность дискретных событий. Это подход, основанный на потоке транзакций. Эта модель учитывает сущности, ресурсы и элементы управления. Эта форма моделирования предназначена для анимации движения материала или информации дискретными шагами. Например, грузовик подъезжает к складу и идет к разгрузочным воротам, где выгружает товары и затем отправляется. Он не идеален для моделирования непрерывного материала, представленного дифференциальными уравнениями. Например, протекание воды по резервуарам и трубам. Этот метод широко используется для моделирования производств, систем здравоохранения, колл-центров и логистики.

2. Моделирование динамики системы:

Этот инструмент моделирования очень абстрактен. Это не очень подробное, но более обобщенное представление сложной системы. В отличие от дискретного моделирования, этот метод больше подходит для моделирования непрерывно перемещающихся материалов или информации. Этот инструмент можно использовать для долгосрочного стратегического моделирования и симуляции. Например, организация может моделировать и анализировать идеи для маркетинговой кампании без необходимости моделировать индивидуальные взаимодействия с клиентами.

3. Агентное имитационное моделирование:

В то время как метод дискретных событий ориентирован на процесс, а инструмент системной динамики более абстрактный, агентное моделирование сосредоточено на отдельных активных компонентах системы. Идентифицируются активные объекты или агенты, которые могут иметь отношение к системе, такие как люди, домохозяйства, автомобили, продукты, оборудование или компании. Затем определяется их поведение.

Для запуска моделирования устанавливаются связи между ними и устанавливаются переменные среды.

4. Мультиметодовое имитационное моделирование.

Для того чтобы позволить использовать сильные стороны каждого из подхдов существуют программные продукты реализующие мультиметодовое моделирование. Мультиметодное моделирование органично объединяет различные методы, чтобы преодолеть ограничения отдельных методов и максимально использовать их. Цель состоит в том, чтобы создавать эффективные модели, которыми легко управлять, не прибегая к каким-либо обходным путям. Большинство программных решений для моделирования и имитации используют этот метод для получения наилучших результатов без каких-либо компромиссов.

Среди наиболее популярных программных продуктов, такие как ExtendSim, Arena, FlexSim, Simio, SIMUL8,AnyLogic. Технологические возможности современных систем моделирования характеризуются:

1) универсальностью и гибкостью базовой и альтернативной к базовой концепций структуризации и формализации моделируемых динамических процессов, заложенных в систему моделирования. Сегодня популярны среди систем моделирования дискретного типа процессно-ориентированные концепции структуризации, основанные на сетевых парадигмах, автоматном подходе, и некоторые другие; среди систем моделирования непрерывного типа – модели и методы системной динамики;

2) наличием средств проблемной ориентации, когда система моделирования содержит наборы понятий, абстрактных элементов, языковые конструкции из предметной области соответствующего исследования;

3) применением объектно-ориентированных специализированных языков программирования, поддерживающих авторское моделирование и процедуры управления процессом моделирования;

4) наличием удобного и легко интерпретируемого графического интерфейса, когда блок-схемы дискретных моделей и системные потоковые

диаграммы непрерывных реализуются на идеографическом уровне, параметры моделей определяются через подменю;

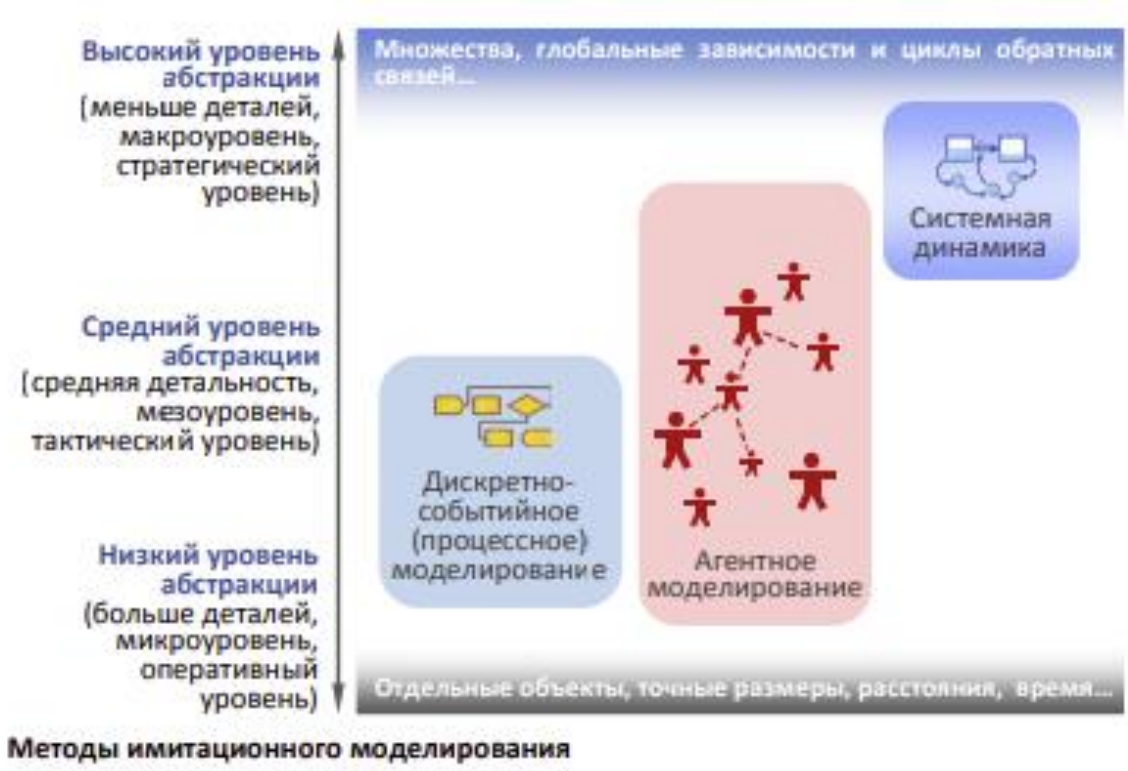


Рисунок 1.5 – Подходы к имитационному моделированию

5) использованием развитой двух- и трехмерной анимации в реальном времени;

6) возможностью для реализации нескольких уровней представления модели, средствами для создания стратифицированных описаний. Современные системы моделирования применяют структурно-функциональный подход, многоуровневые иерархические, вложенные структуры и другие способы представления моделей на разных уровнях описания;

7) наличием линеек и инструментов для проведения и анализа результатов сценарных, вариантных расчетов на имитационной модели;

8) математической и информационной поддержкой процедур анализа входных данных, анализа чувствительности и широкого класса вычислительных процедур, связанных с планированием, организацией и

проведением направленного вычислительного эксперимента на имитационной модели;

9) экспериментальные исследования на имитационной модели информативны, поэтому необходима реализация подхода Simulation Data Base, основанного на доступе к базам данных моделирования. Технологически это решается при помощи собственных специализированных аналитических блоков системы моделирования или за счет интеграции с другими программными средами;

10) исполнительный модуль может функционировать вне среды для разработки модели.

Таблицы 1 и 2 приводят сравнительные характеристики данных программных продуктов.

Таблица 1 – Обзор характеристик систем моделирования

Программный продукт	Продавец	Модули продукта	Подходит для моделирования
AnyLogic	The AnyLogic Company	Мультиметодовое имитационное моделирование	Производство, цепочки поставок и логистика, складирование, бизнес процессы, здравоохранение, движение пешеходов железные дороги, автомобили и транспорт ,нефть и газ, горное дело, социальные процессы, порты, авиотерминалы.
Arena	Rockwell Automation	Дискретное моделирование	Производство, цепочки поставок, правительство, здравоохранение, логистика, продукты питания и напитки, упаковка, майнинг, колл-центры
FlexSim	FlexSim Software Products, Inc.	Дискретное моделирование	Производство, упаковка, складские услуги, погрузочно-разгрузочные работы,цепочки поставок и логистика,здравоохранение, завод, аэрокосмическая промышленность
SIMUL8	Simul8 Corporation	Дискретное моделирование	Производство, здравоохранение, образование, инженерия, снабжение сети и логистика, бизнес, экономичный, колл-центры

Simio	Simio LLC	Дискретное моделирование	Аэрокосмическая отрасль и оборона, аэропорты, здравоохранение, производство, горное дело, военное дело, нефть и газ, сети поставок, транспорт
extendSim	Imagine That	Дискретное моделирование	СМО, включая сбытовую логистику, колл-центры с большой нагрузкой, упаковочные линии и т.д.

Таблица 2 – Обзор характеристик систем моделирования

Программный продукт	Системные Требования	Совместимое программное обеспечение	Оптимизация	Бесплатная учебная версия
AnyLogic	Windows, Mac, Saas	Excel, Access, любая база данных, OptQuest, Stat:: Fit, любая библиотека Java / DLL	OptQuest ,любой пользовательский алгоритм	Да
Arena	Windows	OptQuest	OptQuest	Нет
FlexSim	Windows	Excel, C++ приложения	OptQuest	Да
Simul8	Windows, Saas	Excel, Stat::Fit, OptQuest, SQL	OptQuest	Нет
Simio	Windows, Saas	Microsoft Azure, Wonderware, OptQuest, .Net Programs, Excel, Access, SQL Server, MySQL	OptQuest, с участием многоцелевой оптимизации	Да
ExtendSim	Windows, Mac, Saas	Excel, Access, SQL Server, MySQL, Stat::Fit, JMP, Minitab	Эволюционный оптимизатор	Нет

Программа моделирования AnyLogic является профессиональной средой для имитационного моделирования и позволяет описать поведение дискретных, непрерывных, агентных и смешанных сложных систем. Непревзойденная гибкость AnyLogic позволяет пользователям фиксировать сложность практически любой системы на любом уровне детализации и получать более глубокое представление о взаимозависимых процессах внутри и вокруг организации. Его библиотеки позволяют реализовать системы управления, движения, динамические системы, производство, линии поставок, телекоммуникации, сети, компьютерные системы, машины,

химикаты, очистка сточных вод, социальные процессы и др. AnyLogic является гибким инструментом, и может предложить различные методы моделирования: метод объектно-ориентированного моделирования на основе UML, метод моделирования блок-схемами, дифференциальные и алгебраические уравнения, моделирование Java. Anylogic также включает возможность работы с базами данных, которые можно использовать для быстрого построения моделей.

1.4 Методы бережливого производства для повышения эффективности монтажно-сборочных процессов

Снижение затрат - одна из основных задач, с которыми сегодня сталкивается производство. Есть разные способы снизить затраты. Один из самых простых способов сэкономить - использовать некачественные и дешевые материалы. Тем не менее, это также быстрый способ выйти из бизнеса. Поэтому производствам следует искать лучшие решения, чтобы снизить затраты. Один из эффективных и зарекомендовавших себя подходов это бережливое производство [61-65]. С момента разработки компанией Toyota в 1940–50-х гг. данный подход стал одним из доминирующих управленческих парадигм в деловой среде, обширные теоретические и эмпирические данные продемонстрировали его эффективность для повышения конкурентоспособности организаций. Бережливое производство сосредоточено на резком сокращении деятельности, не приносящей добавленной стоимости, т. е. потерь, и полагается на обширный набор инструментов и методик.

Ключевым понятием, позволяющим раскрыть сущность бережливого производства, является понятие ценности [66]. С точки зрения конкуренции ценность – это та сумма, которую покупатели согласны заплатить за то, что им предоставляет фирма. Ценность измеряется общим доходом, отражающим цену, которую можно назначить за продукт, и количеством единиц такого продукта, которое можно продать. Говоря на языке японских «гуру ме-

неджмента», ценность – это именно тот продукт, который требуется, нужном количестве, в нужное время, наивысшего качества и по надлежащей цене. Потребитель покупает товар, потому что он имеет для него определенную ценность. В процессе производства происходит добавление ценности, когда материалы так изменяются, что приобретают ценность для потребителя. Если предприятие поднимает цену, а ценность останется той же, то предприятие рискует потерять своего потребителя.

Вторым важным понятием является понятие потерь (муда). Потери – это действия, которые требуют временных и иных затрат, но при этом не добавляют ценности продукту [67]. С точки зрения бережливого менеджмента качества каждое действие должно быть подвергнуто проверке на факт создания им необходимой величины ценности. Только в этом случае могут быть устранены причины проблем, ведущих к потерям. В концепции бережливого производства потери могут быть, во-первых, связаны с действиями, не прибавляющими ценности, но в данный момент необходимыми для осуществления операций. Такие действия ничего не дают клиенту, но помогают менеджерам или заинтересованным сторонам. Согласно такой позиции накладные затраты являются изначально по своей природе потерями и в идеальном случае должны быть равны нулю. Усилия менеджмента в первую очередь должны быть направлены на их минимизацию. Во-вторых, необходимо различать потери, связанные с действиями, которые не только не прибавляют, но и отбирают ценность с точки зрения каждого заинтересованного лица, включая клиентов, акционеров и сотрудников. Такие действия приносят прямой убыток компании и должны быть устранены как можно раньше.

Таблица 3 – Причины и последствия потерь на производстве

Тип	Причины	Последствия	Как посчитать потери?	Как устранить?
Перепроизводство	-большие партии; -невозможность быстрой переналадки; -упреждающее производство; -избыточное оборудование, -нестабильное качество.	-преждевременный расход сырья; закупки материалов; -избыточные запасы, -потеря качества.	Стоимость невостребованной продукции и заготовок на складах и промежуточных операциях.	-вытягивающая система поставок; -выравнивание загрузки производственных линий.
Избыточные запасы	длительная переналадка; выпуск продукции большими партиями; несовершенство системы планирования производства и поставки материалов.	-увеличение площадей; -дополнительная рабочая сила; -необходимость поиска; -возможность повреждения; -необходимость дополнительных поддонов.	Стоимость материалов, в которых нет необходимости в ближайшую неделю (месяц – в зависимости от цикла поставок)	-вытягивающая система производства; выравнивание производства; -сокращение размера партии; -улучшение системы планирования.
Транспортировка	-нерациональное размещение оборудования; -большое расстояние между производственными участками; -неэффективно организованный производственный поток; -отдаленность складских помещений.	-увеличение издержек на перемещение; дополнительные затраты на поиск; -повреждение продукции при транспортировке.	Стоимость перемещения заготовок от одной операции к другой, и на складе. Возможный брак при неправильной транспортировке. Карта потока создания ценности.	-оптимизация расположения оборудования; -оптимизация производственных участков; -оптимизация расположения складов.

Перемещения	-нерациональная организация рабочего пространства; -нерациональное расположение оборудования и тары; -несогласование операций; -отсутствие стандартизованных процессов.	-снижение производительности труда; -утомляемость персонала; -рост травматизма и профзаболеваний.	Хронометраж перемещений рабочего, определение времени и расстояния.	-оптимизация производственного процесса; -повышение квалификации персонала; -оптимизация распределения оборудования; -эффективно организованные рабочие места.
Ожидание	- несбалансированность производственных процессов; несовершенство планирования; производство продукции большими партиями.	-увеличение времени на изготовление единицы продукции; -снижение производительности; -демотивация персонала.	Хронометраж работы персонала и оборудования. Общее время простоев за смену, месяц, год.	выравнивание производственных процессов; оптимизация расположения оборудования; сокращение времени на переналадку.
Излишняя обработка	-отсутствие стандарта; -отсутствие понимания чего хочет потребитель; -несовершенство технологий.	-увеличение затрат на изготовление продукции; -увеличение времени на изготовление продукции.	Выяснить у заказчика какие свойства продукции он считает нужными, а какие второстепенными, или вовсе не нужны. Затраты на излишнюю обработку.	-стандартизация; -тщательное изучение требований потребителя.
Дефекты переделка	-нарушение технологии; -низкая квалификация работника; -несоответствующий инструмент, оборудование, материалы.	-возникают дополнительные затраты: на доработку, на контроль; -на организацию места для устранения дефектов.	Количество брака – его стоимость, либо затраты на переделку.	организация процесса обеспечения выпуска качественной продукции; внедрение системы эффективной эксплуатации оборудования.

Среди множества инструментов бережливого производства, картирование потока создания ценности (КПСЦ) считается одним из

наиболее существенных, который понадобится специалистам по бережливому мышлению, чтобы добиться устойчивого прогресса в устранении потерь. КПСЦ это простой и наглядный инструмент, основанный на процессах, который позволяет документировать, визуализировать и понимать потоки материалов и информации в производственных процессах, чтобы идентифицировать потери и помогать в их устранении. Техника картирования потока создания ценности (КПСЦ) объекта исследования позволяет сформировать логику взаимодействия отдельных элементов системы, а так же собрать данные и параметры по каждому объекту системы. Философия бережливого производства, применяемая для постоянного совершенствования процессов, основана на концепции ценности продукта. Стоимость продукта, с точки зрения бизнеса, определяется как то, за что платит клиент [68-70].Если есть производство, то существует и поток стоимости. Пересечение концепции бережливого производства и имитационного моделирования рассмотрено в нескольких исследованиях. Компании любого уровня, от малого бизнеса до крупных производств, применяют имитационные модели для анализа логистических сетей, поэтому картирование этого потока необходимо. Во время производственного процесса могут возникать потери по разным причинам. Методом для анализа, предотвращения, оптимизации, поиска решений является совместное использование метода моделирования потока создания ценности и имитационного моделирования (симуляции). Преимущество использования данного подхода заключается в том, что он помогает поддерживать или даже увеличивать стоимость производимой продукции, устранять негативно влияющие факторы и ненужные отходы.

КПСЦ представляет собой технику, которая используется для построения и анализа материального и информационного потоков, которые присутствуют при удовлетворении требований клиента [71].КПСЦ это «Схема, изображающая каждый этап материального и информационного потока, необходимых для того, чтобы выполнить заказ потребителя» .Таким

образом, можно определить потери в потоке стоимости и найти решения для их сокращения или устранения. Анализ потока значений и дизайн диаграммы выражается в изображении процессов на всех уровнях, от сырья до доставки заказчику, что приводит к лучшему пониманию процесса в целом [72].

Методика разработки КПСЦ широко освещена в литературе [73-75]. Упрощенно процесс ее создания можно описать так: выбор семейства продуктов, построение карты текущего состояния процесса, ее анализ на наличие потерь (перепроизводство, избыточные запасы, транспортировка, ожидание, дефекты, излишняя обработка) и узких мест. И завершает все разработка карта будущего состояния с минимизированными потерями. После будущее состояние моделируется, и результаты моделирования сравниваются с предыдущими результатами, оценивается изменение основных показателей. Модель, полученная в итоге является статическим объектом, но нами поставлена задача создать динамическую модель, позволяющую в реальном времени, исходя из собранных данных, рассчитывать оптимальную загрузку производственных мощностей.

1.5 Постановка задачи оперативного планирования позаказного сборочного производства

Проблема планирования для дискретных позаказных производств состоит в разнородной среде заказов. Каждый заказ включает в себя различные сборочные работы, которые не могут быть унифицированы для разных изделий, производство которых требует как внутренних изготовленных деталей, так заблаговременной закупки составных частей. Главная сложность состоит в координации изготовления и сборки в условиях ограниченных мощностей предприятия, так чтобы минимизировать стоимость всей производственной цепочки. Стоит отметить, что проблема планирования производства напрямую влияет на повышение производительности производства и поэтому необходимо рассматривать оба этих понятия вместе [80]. Чтобы обеспечить надежную дату поставки, для

производства по заказу требуются реалистичные и гибкие операционные планы, а также механизм контроля для простого отслеживания прохождения заказа. Большая часть современных приборостроительных предприятий состоит из малых и средних предприятий, работающих исключительно с мелкой серией. Постоянное изменение объемов производства и комплектующих приводит к неравномерному и малоэффективному использованию мощностей предприятия. Поскольку планирование производства является связующим процессом между разработкой продукта и его производством, оно является ключевым фактором для снижения затрат и ускорения выхода на рынок. Тем самым задача планирования, которая стоит перед любым предприятием усложняется.

Представим полный цикл производства и сбыта при изготовлении на заказ с четырьмя уровнями: заказчики, сборка, изготовление и поставщики. На уровне клиента есть несколько заказов с конкретными сроками оплаты. Каждый заказ представлен на уровне сборки как набор сборочных работ, которые ограничены технологическим приоритетом. Предшествуют сборке закупка у поставщика комплектующих и производство собственных деталей. Целью оптимизации является производственный план, позволяющий минимизировать затраты и соблюсти дату поставок. Задачу планирования можно представить следующим образом. В таблице 4 введем обозначения для формализации задачи по каждому уровню производственной цепочки.

Таблица 4 – Обозначения параметров задачи оперативного планирования

Переменная	Значение
Заказчик	
$a = 1, \dots, A$	Заказы
d_a	Срок выполнения заказа
d^{max}	Максимальный срок выполнения заказов
Сборка	
$j = 1, \cdots, J$	Все сборочные работы
$j = s_a, \dots, e_a$	Сборочные работы по заказу a
$0(J+1)$	Фиктивный источник интегрировано графа сборки
J	Количество не фиктивных сборочных работ
J	Набор всех сборочных работ (включая 0 и $J+1$) интегрированной

Переменная	Значение
	сборочной сети
$ES_j(LS_j)$	Самое раннее (позднее) время начала сборочных работ j
p_j	Время обработки для сборочного задания j
P_j	Набор непосредственно предшествующих заданий для сборочного задания j
$\tilde{P}_j$	Набор всех предшествующих заданий для сборочного задания j
I_j	Набор непосредственных связанных заданий для сборочного задания j
$t_{h,j}^{min}$	Минимальная временная задержка между временем окончания задания h и началом заданий непосредственно связанных задания j
h_j^A	Стоимость хранения всех деталей , собранных по заданию j
$q_{j,i}$	Количество деталей типа i, собранных по заданию j
$r = 1, \dots, R^A$	Множество типов оборудования участвующего в сборке
$C_{r,t}^A$	Доступность сборочного оборудования r в момент t
$c_{j,r}$	Доступность оборудования r запрошенного сборочным заданием j в процессе обработки
$x_{j,t}$	Бинарная переменная, равная 1, если сборочное задание j начинается в момент времени t, и 0 в противном случае
Производство комплектующих	
$i = 1, \dots, I$	Типы деталей
h_i^F	Стоимость хранения деталей типа i
s_i	Затраты на переналадку для деталей типа i
$r = 1, \dots, R^F$	Множество типов производственного оборудования участвующего в процессе изготовления
$C_{r,t}^F$	Доступность производственного оборудования типа r в период t
r_i^F	Производственное оборудование, на котором обрабатывается деталь типа i
$Q_{i,t}$	Количество производства детали типа i в период t
$I_{i,t}$	Запасы детали типа i на конец периода t
$y_{i,t}$	Бинарная переменная, равная 1, если деталь типа i произведена в период времени t, и 0 в противном случае
Закупка	
h_j^P	Стоимость хранения закупленных деталей

На уровне покупателя мы имеем $A \geq 0$ разных заказов, где заказ $a = 1, \dots, A$ имеет срок выполнения $d_a \geq 0$. На уровне сборки заказ a состоит из сборочных работ $j = s_a, \dots, e_a$. Число всех сборочных работ $J = e_A$. За счет агрегации каждое сборочное задание j представляет собой набор операций. Сборочные работы j имеют время обработки $p_j \geq 0$ и требуют $c_{j,r} \geq 0$ доступности разных типов оборудования для выполнения операции, без прерывания работы. Множество типов оборудования участвующего в сборке $r = 1, \dots, R^A$ имеет доступность $C_{r,t}^A$ в момент времени $t \geq 0$. Сборочные за-

дания взаимосвязаны в виде сети , где каждая работа j связана с набором непосредственно предшествующих заданий P_j . Старт сборочных работ в момент времени t определяет потребность на собственные произведенные детали и на внешние закупленные. Стоимость хранения всех деталей , собранных по заданию j равно h_j^A. Графически заказы , сроки, сборочные работы с их технологическим приоритетом задаются графом сборки, где каждое задание сборки j изображается вершиной ,а каждое отношение связи между сборочной работой h и его непосредственным преемником j изображается дугой $h \to j$ с весом $t_{h,j}^{min} = 0$. Введем дополнительные переменные : фиктивный источник $j = 0$ и фиктивный сток $j = (J + 1)$. Соединим дополнительными дугами фиктивный источник 0 и каждую сборочную работу без предшественников и каждую последнюю сборочную работу с фиктивным стоком $j = (J + 1)$. Дуги из источника имеют вес 0,а дуги из последних сборочных работ $e_a(a = 1, \dots, A)$ к источнику имеет вес $t_{e_{a,J+1}}^{min} = d^{max} - d_a$,где d^{max} максимальный срок исполнения заказов. С помощью $J = \{0, \dots, J + 1\}$ обозначим множество всех сборочных работ сети.

График сборки определяет поэтапный спрос на типы деталей, которые должны либо производиться на собственном производстве, либо закупается у сторонних поставщиков. Типы деталей собственного производства $I \geq 0$ и количество деталей каждого типа $i = 1, \dots, I$ необходимых для сборочных работ j это $q_{j,i} \geq 0$. Собственное производство включает R^F различные производственные единицы. Производственная единица может быть как единичным производственным участком, так и целым цехом, набором идентичных машин, либо каким то единичным оборудованием. Производственная единица $r = 1, \dots, R^F$ за период t имеет доступность $C_{r,t}^F \geq 0$, где период времени t промежуток времени между t=1 и t. Период может составлять от одного дня до недели. Каждая деталь типа $i = 1, \dots, I$ изготавливается исключительно производственной единицей $r_i^F \in \{1, \dots, R^f\}$ в рамках одноуровневого производственного процесса. Для производства одной детали i

требуется доступность c_i. В течение каждого периода производится деталь i с фиксированными затратами на переналадку s_i. Чтобы осуществить выполнимость производственных планов установим доступный период производственных единиц $C_{r,t}^F$ не равный общей доступности, уберем часть доступной мощности, чтобы оставить неиспользуемый производственный потенциал. Производство одной единицы за период $\tau < t$ по спросу в период t требует издержек по хранению запасов h_i^F за период. Комплектующие, закупленные у внешних поставщиков, должны в наличии до начала этапа сборки. Издержки по хранению всех деталей , которые закупаются для этапа сборки j равны h_j^P.

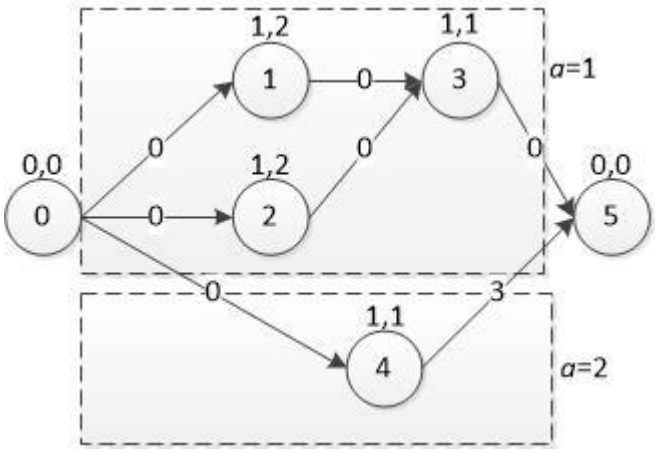


Рисунок 1.6 – Граф сборки заказа

На рисунке 1.6 приведен пример графа сборки, где число заказов A=2, сроки выполнения $d_1 = 5$ и $d_2 = 3$. Время обработки заказа p_j и доступность оборудования $c_{j,1}$ по ресурсу $R^A = 1$ даны над узлами графа. Задания для каждого заказа заключены в пунктирный прямоугольник, т.е заказ a=1 состоит из сборочных работ *1,..,3* и $s_1 = 1$, $e_1 = 3$, a заказ a=2 состоит из 4 сборочных работ и $s_2 = e_2 = 4$. Доступность производственных единиц для сборочных и производственных работ равны $C_{1,t}^A = 3$ и $C_{1,t}^F = 10$ для каждого момента времени t. Количество изготовленных типов деталей $I = 3$, без внешних закупленных деталей. Доступность производственного оборудования, затраты на переналадку и стоимость хранения трех типов внутренних

сборных деталей равны $C^F = (1,1,1)$, $s = (20,10,10)$ и $h^F = (1,2,1)$ соответственно.

Задачу планирования неоднородной производственной системы позаказного производства можно сформулировать как необходимость планирования одновременно большого числа заказов с учетом ограничения мощностей с одной стороны и одновременной калибровки объема партии изготовления таким образом, чтобы общие затраты на производство были сведены к минимуму. Для реализации принципов синхронного планирования производства необходимо создание интегрированной модели состоящей из четырех основных частей :

1. Оперативное планирование этапа сборки
2. Координация изготовления и сборки
3. Определение размера партии для этапа производства
4. Минимизация затрат на хранение и настройки всей производственно-сбытовой цепочки/

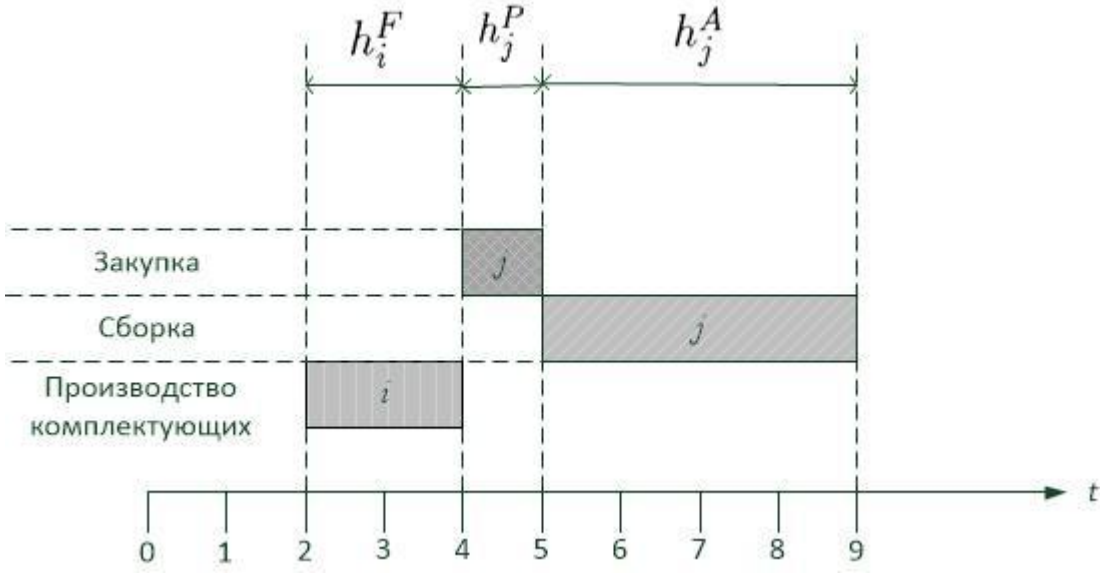


Рисунок 1. 7 – Схема учета затрат на заказ по разным категориям

Чтобы смоделировать комплексную задачу сборки и изготовления введем следующие переменные. Для сборки есть двоичная переменная $x_{j,t}$ равная 1, если сборочное задание j начинается в момент времени t, и 0 в противном случае. Можно уменьшить количество искомых переменных путем

расчета для каждого сборочного задания j времени начала работ ES_jи времени завершения работ $E = LS_j$ с помощью прямой и обратной рекурсии от t=0 и d^{max} соответственно. Для производственного этапа используем переменные $Q_{i,t} \geq 0$, которая показывает количество деталей типа i произведенных за период t и $I_{i,t} \geq 0$,равную запасам детали типа i на конец периода t. Переменная $y_{i,t}$ равна 1, если деталь типа i произведена в период времени t, и 0 в противном случае. Теперь мы можем моделировать интегрированную задачу оперативного планирования с одновременным определением оптимальной производственной партии:

Минимизировать: $Z = \sum_{a=1}^{A} \sum_{j=s_a}^{e_a} h_j^A \left(d_a + 1 - \sum_{t=ES_j}^{LS_J} t \cdot x_{j,t}\right) + \sum_{i=1}^{I} \sum_{t=0}^{T} (h_i^F \cdot I_{i,t} + s_i \cdot y_{i,t})$ (1)

При условии:

$\sum_{t=ES_j}^{LS_j} (t + p_{e_a}) x_{e_a,t} \leq d_a \ (a = 1, \cdots, A)$, (2)

$\sum_{t=ES_j}^{LS_j} x_{j,t} = 1 \ (j = 1, \cdots, J)$, (3)

$\sum_{t=ES_h}^{LS_j} (t + p_h) x_{j,t} - \sum_{t=ES_j}^{LS_j} t x_{j,t} \leq - t_{h,j}^{min} \left(j = 1, \cdots, J; h \in P_j\right)$, (4)

$\sum_{j=1}^{J} \sum_{\tau=max\{0,t-p_j\}}^{t-1} c_{j,r} \, x_{j,r} \leq C_{r,t}^{A} \ (r = 1, \cdots, R^A; t = 1, \cdots, T)$, (5)

$I_{i,t-1} + Q_{i,t} - \sum_{j=1}^{J} q_{j,i} \, x_{j,t} = I_{i,t} \ (i = 1, \cdots, I; t = 1, \cdots, T)$, (6)

$\sum_{i=1 | \, r_i^F = r}^{I} c_i \, Q_{i,t} \leq C_{r,t}^{F} \ (r = 1, \cdots, R^F; t = 0, \cdots, T)$, (7)

$y_{i,t} \sum_{j=1}^{J} q_{j,i} \geq Q_{i,t} \ (i = 1, \cdots, I; t = 1, \cdots, T)$ (8)

$x_{j,t} \in \{0,1\} \left(j = 1, \cdots, J; t = ES_j, \cdots, LS_j\right)$, (9)

$y_{i,t} \in \{0,1\}, Q_{i,t} \geq 0, I_{i,t} \geq 0 \ (i = 1, \cdots, I; t = 1, \cdots, T)$, (10)

Применение аналитической модели позволяет минимизировать затраты производственного процесса, находясь в условиях ограничения времени. Практический инструмент по решению вопросов планирования должен иметь возможность обрабатывать неожиданные события, но при этом пред-

лагать пользователю осуществимые и надежные решения. Имитационное моделирование является дополнительным инструментом, позволяющим визуализировать процессы и проверить производственный план .Создание динамической модели позволит использовать потенциальные возможности производства, а планируемое программное обеспечение, ориентируясь на собранные данные о технологическом процессе спрогнозирует максимально возможный выпуск продукции за определенный период при условии использования закрепленных за данным подразделением средств труда в полном объеме.

1.6 Выводы по главе

1. Проведен анализ особенностей автоматизации и управления монтажно-сборочными процессами производства радиоэлектронной аппаратуры. Большое число операций, прикрепляемых к одному рабочему месту, создает обстановку часто меняющихся производственных условий на рабочих местах, что выражается в частых изменениях настройки оборудования, заменах инструмента и приспособлений, смене на рабочих местах сортов и марок материала, подвергающегося обработке, в постоянном освоении новых работ по новым чертежам и техническим условиям.

2. Проведен обзор автоматизированных систем планирования и их применимости для монтажно-сборочных процессов мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры. Учитывая сложность производственной структуры таких предприятий предприятия и процессов построения каждого заказа, зачастую доработки существующих не приносят результатов для синхронизации производственных расписаний. Можно заключить, что известные программные решения для автоматизации процессов оперативного планирования трудно напрямую применить для производств с монтажно-сборочным принципом работы и обладающих широким ассортиментом производимой продукции.

3.Актуальной задачей является разработка инструментов планирования монтажно-сборочных процессов с помощью имитационного моделирования.

4. Мониторинг монтажно-сборочных процессов эффективно осуществлять путем динамического создания карты потока создания ценности.

5. Выполнена математическая постановка задачи построения оперативного плана МСП

2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИК СИНХРОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

2.1 Модель метода синхронного планирования

Ключевым и весьма сложным аспектом управления процессом планирования монтажно-сборочных процессов многономенклатурного позаказного производства является обеспечение согласованности различных этапов и операций. Ритмичность и скорость производственных процессов на предприятии обычно определяются уровнем спроса на продукцию. Когда производство и реализация товаров находятся в балансе, система работает гладко. Однако, когда спрос меняется внезапно, равновесие нарушается из-за того, что производственная система не может мгновенно адаптироваться к новым условиям и требует времени для перестройки. Это запоздание может привести к перебоям в производстве и сбыте, созданию избыточных запасов некоторых товаров и дефициту других. Поэтому возникает необходимость в тщательной настройке и синхронизации скорости производства с изменениями в потребительском спросе.

Термин "синхронизация" относится к одновременности или согласованности во времени различных процессов или действий. Это понятие подразумевает, что разные процессы происходят с одинаковой скоростью или так, что их ключевые моменты совпадают по времени. Синхронизация часто используется для обозначения точной настройки и координации действий в сложных системах, будь то механизмы, электронные устройства или организационные процессы. Синхронизация в управлении производственными процессами — это тема, которая еще не полностью изучена и применяется в основном в контексте создания поточных производственных линий. В таких системах синхронизация касается отдельных операций, стремясь увязать их продолжительность с общим ритмом производства. Однако, ограниченное понимание этого явления не дает полной картины его потенциала для использования на

уровне всего предприятия и во взаимодействии между различными подразделениями. Поэтому представляется важным более глубоко исследовать сущность синхронизации и четко определить, что подразумевается под синхронизацией производственных процессов.

Хотя универсально принятое определение синхронизации производственных процессов отсутствует, существуют концепции, связанные с этим явлением в производственной сфере. Одной из таких концепций, которая тесно связана с идеей синхронизации, является принцип "точно в срок" (JIT), который был внедрен в производственной системе Toyota (TPS). Сторонники этого подхода утверждают, что производственные процессы должны создавать необходимые компоненты в строго определенное время и поддерживать только минимально необходимый запас деталей для обеспечения непрерывности процессов. Исследования в области синхронизации производства обычно фокусируются на процессах и системах. В широком смысле, синхронизация означает одновременное или согласованное выполнение нескольких процессов таким образом, что их соответствующие или одинаковые элементы происходят с постоянным временным интервалом или одновременно.

Синхронизация производственных монтажно-сборочных процессов обеспечивается осуществлением одинаковых скоростей подачи и использования деталей, а также установления постоянной пропорциональности между начальными этапами последовательных операций. Выравнивание временных интервалов выполнения отдельных операций и создание организационно-технических предпосылок для обеспечения равенства или пропорциональности скоростей подачи и использования компонентов являются ключевыми задачами синхронизации. В этом контексте, синхронизация монтажно-сборочных производственных процессов определяется как координированное осуществление двух или более операций, характеризующееся синхронностью или постоянным временным сдвигом моментов их старта и завершения, а также

сбалансированным объемом производства и потребления компонентов. Целью синхронизации является достижение согласованности ритмов всех сборочных этапов с ритмом заключительного этапа. Организация синхронизированного производства предполагает равномерную активность всех звеньев производственной цепи и требует высокой степени синхронности операций.

Монтажно-сборочные процессы должны быть сбалансированы при их планировании. Сбои и задержки, асинхронность процессов возникают из за постоянной смены изделий проходящих этап сборки. Повышение эффективности линии за счет снижения тактовых потерь: Это включает в себя устранение простоев и неэффективных операций, что позволяет уменьшить общее время, необходимое для производства единицы продукции.

Время такта *(tt*), это метрика, используемая в производственном менеджменте для балансировки работы производственной линии. Оно рассчитывается как отношение доступного времени производства *(T)* к количеству требуемых единиц продукции *(D),* которые необходимо произвести в определенный период времени. Формула времени такта выглядит следующим образом:

$$tt = \frac{T}{D} \qquad (11)$$

Это позволяет определить, сколько времени можно выделить на выполнение одной операции на производственной линии, чтобы удовлетворить спрос покупателей и обеспечить непрерывность производственного процесса. Согласование времени цикла с временем такта обеспечивает, что каждый этап процесса будет настроен таким образом, чтобы соответствовать требованиям клиентов и обеспечивать своевременное выполнение заказов. Это особенно важно в системах "точно в срок" (Just-In-Time, JIT), где производственные задержки могут привести к недостатку запасов и упущенным возможностям продаж.

Для синхронизации монтажно-сборочных процессов необходимо определить средневзвешенное время операции:

$$R_n = \sum_{l \in L_n} (ot_l * P_l) \quad (12),$$

где R_nСредневзешенное время выполнения операции на рабочем месте n,l −индекс сборочной операции,L_n индекс набора сборочных операций для рабочего места n,ot_l время сборки для операции l,P_l вероятность возникновения сборочной операции l.

Эффективность балансировки производственной линии — это мера того, насколько равномерно распределены рабочие нагрузки между рабочими станциями на производственной линии. Цель балансировки — минимизировать простои и уменьшить время цикла, увеличивая при этом производительность и снижая затраты.

$$E_{al} = \frac{C_b}{C_v} * 100\% = \frac{\sum_{n=1}^{N} R_n}{N*T} * 100\% \quad (13),$$

где E_{al} эффективность балансировки производственной линии, C_b фактическая требуемая мощность,C_v существующий объем производственных мощностей, n –число сборочных рабочих мест ,Rn– средневзешенное время выполнения операции на рабочем месте n, T – время такта

$$TA = \frac{N*T - \sum_{n=1}^{N} R_n}{N*T} * 100\% \quad (14)$$

Таблица 5 – Данные для синхронизация рабочих мест

Рабочее место 1				Рабочее место 2				Рабочее место 3			
	ot_l	P_l	$ot_l * P_l$		ot_l	P_l	$ot_l * P_l$		ot_l	P_l	$ot_l * P_l$
Операция 1	1	1	1	Операция 5	4	1	4	Операция 8	6	1	6
Операция 2	4	1	4	Операция 6	5	1	5	Операция 9	2	1	2
Операция	2	1	2	Операция	2	1	2	Операция	6	1/3	2

3				7				10			
Операция 4	4	1/2	2								

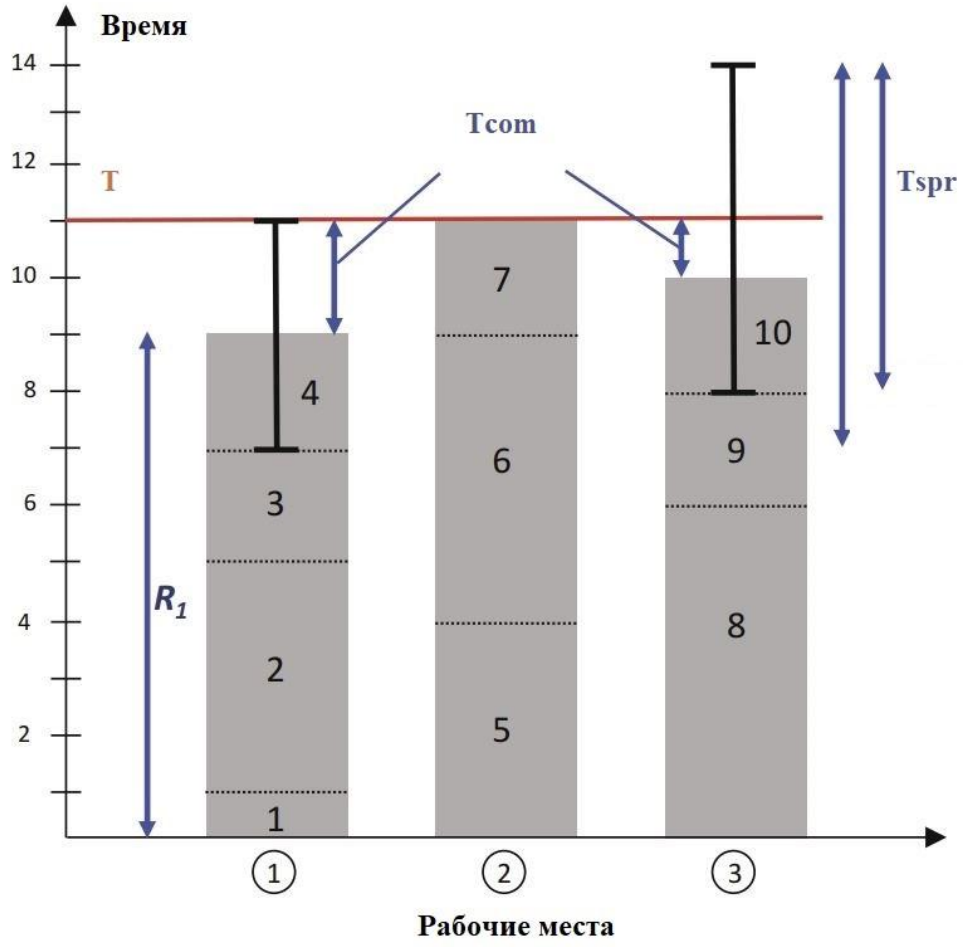


Рисунок 2. 1 – Модель синхронизации трех рабочих мест

Разница во времени между временем средневзвешенным временем на рабочем месте и временем такта по отношению к общему запасу производственных мощностей является коэффициентом компенсации такта. Показатель *Tspr*- время разброса такта, относится к разбросу или диапазону тактового времени в производственной системе, где производятся различные продукты. Это понятие используется для оценки гибкости и способности производственной линии справляться с разнообразием продукции и колебаниями в спросе. В контексте производства указывает на разницу между самым коротким и самым длинным тактовым временем для разных

продуктов или заказов. Маленький разброс тактового времени указывает на то, что производственная линия более унифицирована и менее гибкая, в то время как большой разброс может свидетельствовать о высокой гибкости, но также может привести к неэффективности из-за частых перенастроек и изменений в процессах. Задачей синхронизации стоит уменьшение времени разброса такта.

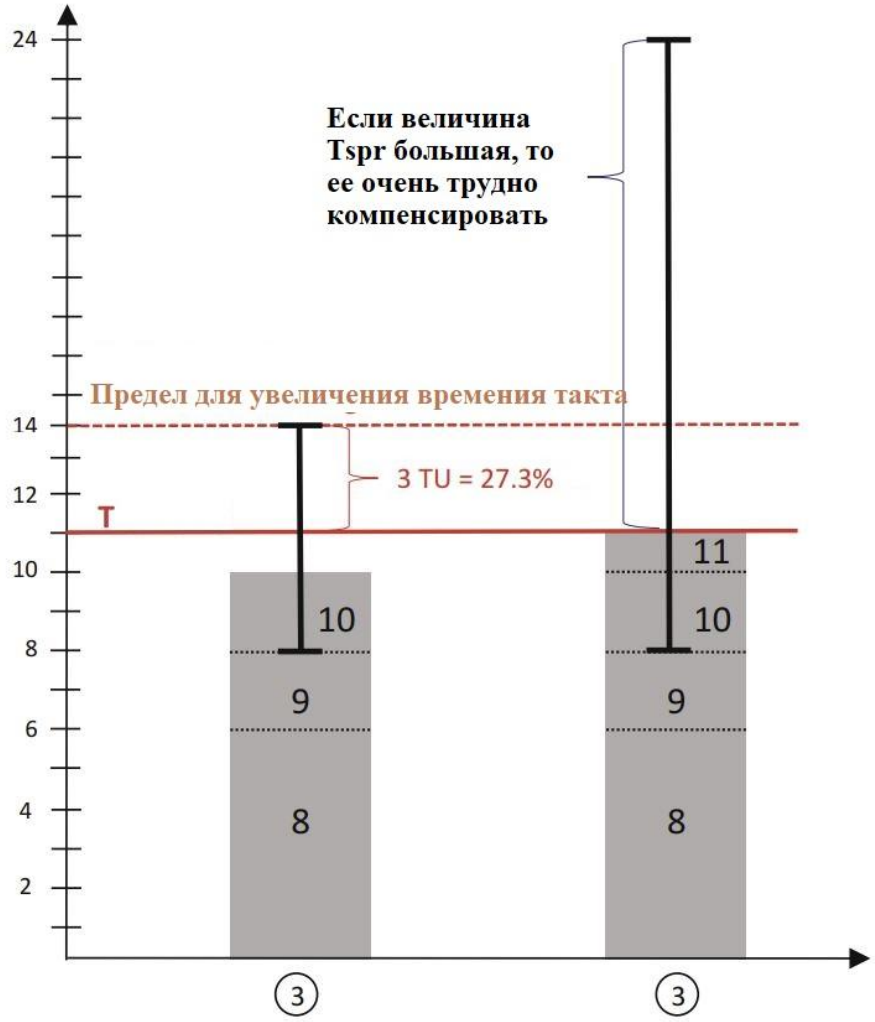


Рисунок 2. 2 – Ограничение времени такта при синхронизации рабочего места дополнительной операцией

2.2 Диаграмма потока создания ценности для мониторинга монтажно-сборочных процессов

Для многономенклатурных мелкосерийных производств, каким является производство радиоэлектронной аппаратуры, актуален поиск методов и средств производственного планирования. Базовым элементом планирования является модель загрузки производственных мощностей предприятия. При этом целью является разработка модели позволяющей компании рассчитать оптимальную загрузку производственных мощностей и разработка программного приложения для этих целей. КПСЦ представляет собой технику, которая используется для построения и анализа материального и информационного потоков, которые присутствуют при удовлетворении требований клиента [78]. КПСЦ это «Схема, изображающая каждый этап материального и информационного потока, необходимых для того, чтобы выполнить заказ потребителя». Таким образом, можно определить потери в потоке стоимости и найти решения для их сокращения или устранения. Анализ потока значений и дизайн диаграммы выражается в изображении процессов на всех уровнях, от сырья до доставки заказчику, что приводит к лучшему пониманию процесса в целом [79]. Эта техника позволяет сформировать логику взаимодействия отдельных элементов системы, а также собрать данные и параметры по каждому объекту системы. Задачей анализа потока создания ценности является поиск решения от текущего состояния производства к более эффективному, позволяющему загрузить производственные мощности в оптимальном режиме.

Рынок специализированной радиоэлектронной аппаратуры представлен, в основном, станциями спутниковой и тропосферной связи, угломерной аппаратурой, навигационной аппаратурой и другой сложной наукоемкой продукцией. Частая смена производимой продукции, а также постоянное увеличение числа номенклатуры в условиях высоких требований к качеству выпускаемой продукции накладывают свои сложности на

оперативное планирование производства [76]. Для повышения эффективности производства следует вести планирование с целью достижения необходимых показателей в заданных требованиях в условиях реального времени [77]. Такие задачи можно решить эффективным оперативно-календарным планированием, которое позволяет организовать слаженную работу всех звеньев предприятия с целью обеспечения своевременного выпуска продукции согласно установленных в договорах объемам, номенклатуре и срокам поставки при наиболее полном использовании всех ресурсов.

Для исследования был выбран один из продуктов АО «НПП «Радиосвязь» - прибор Л521-Ж3 (рисунок 2.3). Все работы по изготовлению проводятся в сборочном цехе. Режим работы сотрудников 8 часовой рабочий день в 1 смену.

Рисунок 2.3 – Прибор Л521-Ж3

В таблице 6 и 7 приведены данные по производству прибора Л521-Ж3. Под номерами 1-15 следующие технологические операции согласно технологическому маршруту изготовления прибора:

1. Комплектование покупными деталями

2. Комплектование деталями собственного производства
3. Сборка
4. Монтаж
5. Сборка
6. Монтаж
7. Маркировка
8. Монтаж
9. Контроль
10. Регулировка
11. Техническая тренировка
12. Подчистка
13. Приемо-сдаточные испытания в отделе технического контроля
14. Предъявление на этапах ПРИ и ПСИ, подкраска на тех же этапах
15. Приемо-сдаточные испытания представителю заказчика

Таблица 6 – Операции по производству прибора и их характеристики: текущее состояние

№ операции			1	2	3	4	5	6	7	8
Время создания ценности		мин	10	12	476	354	60	1020	84	150
Время в течение, которого ценность не создается	Транспортировка	мин	2	4	2	1	1	1	1	1
	Контроль	мин								
	Переналадка	мин			10	60	60	60	180	60
	Хранение, сушка клеев	мин			1440	1440	1440	2880	4320	
Количество операторов		чел.	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 7 – Операции по производству прибора и их характеристики: текущее состояние

№ п.п			9	10	11	12	13	14	15
Время создания ценности		мин	100	155	447	120	150	160	180
Время в течение, которого	Транспортировка	мин	2	4	4	4	2	2	1
	Контроль	мин							

ценность не создается	Переналадка	мин	60	75	40	60	60	60	60
	Хранение, сушка клеев	мин						1440	
Количество операторов		чел.	1	1	2	1	2	1	2

Исходя из данных собранных по ходу маршрута изготовления изделия, была нарисована карта потока создания ценности - текущее состояние (рисунок 2.4). Время, добавляющее стоимость составляет 3623 минуты, а общее время на производство составляет 17406 минут. Соотношение составляет 0.2, это несомненно свидетельствует о том, что потерь в производстве достаточно много. Производственные потери настолько велики, что исследуемый процесс имеет явную необходимость оптимизации. Исходя из того, что на данный момент рассматриваемый цех работает в одну смену 8 часов, отсюда доступное время 480 минут. Для производства данного прибора потребуется 36 рабочих дней. Спрос на данный прибор составляет 50 штук в год, что при актуальных мощностях невозможно. Проанализировав диаграмму можно сказать, что одной из самых существенных потерь является ожидание. Ожидание – простаивание по причине нехватки материалов, отсутствия информации, поломки станков или недоступности работников. Эти потери, связанные с ожиданием персоналом ресурсов, очередной технологической операции, так же к этому виду потери относятся простои оборудования в ходе неравномерной загрузки, отсутствие необходимых материалов. Одной из основных причин возникновения данной потери является отсутствие эффективного оперативного планирования.

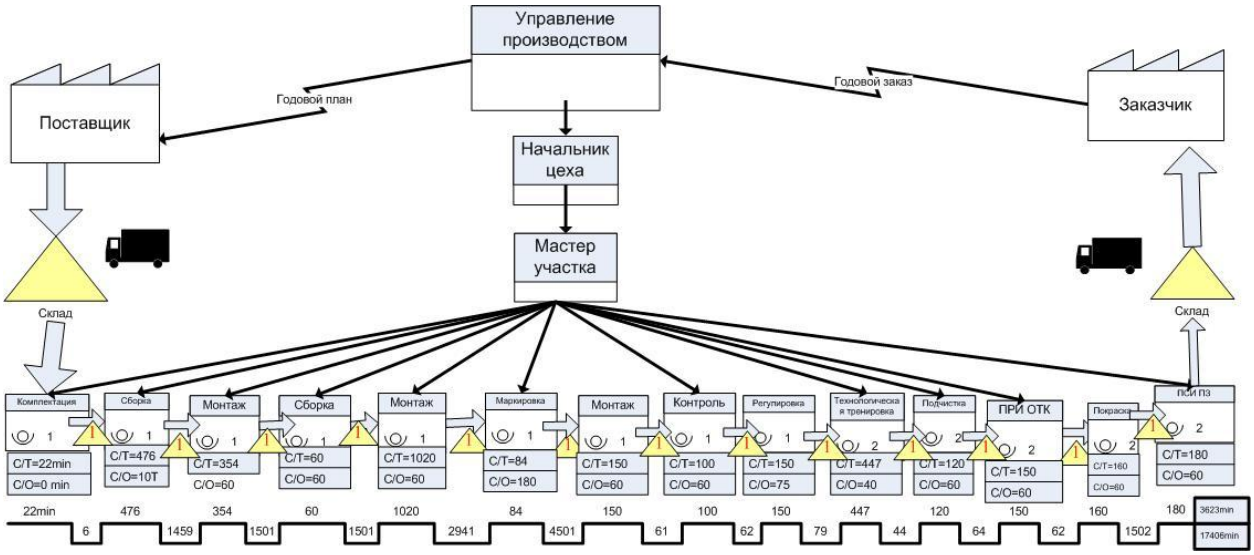


Рисунок 2.4 – Карта потока создания ценности: текущее состояние

При составлении карты потока создания ценности будущего состояния необходимо учитывать, что выявленные потери должны быть максимально сокращены. По этой причине разработаны желательные показатели для параметров производственного процесса, которые представлены в таблице Было предложено решение для того, чтобы расширить узкое место последовательности технологических операций сборочной и монтажной, для этого операции № 3 и 4 были распараллелены. Для сокращения времени цикла выполнения операций внедрена система 5S, а для сокращения времени переналадки оборудования использованы элементы системы SMED.

Таблица 8 – Операции по производству прибора и их характеристики: будущее состояние

№ операции			1	2	3	4	5	6	7
Время создания ценности		мин	10	12	476	60	1020	84	150
Время в течение, которого ценность не создается	Транспортировка	мин	2	4		1	1	1	1
	Контроль	мин							
	Переналадка	мин		10	10	40	40	40	40
	Хранение, сушка клеев	мин			1440	1440	2880	30	
Количество операторов		чел.	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 9 – Операции по производству прибора и их характеристики: будущее состояние

№ п.п			8	9	10	11	12	13	14
Время создания ценности		мин	100	155	447	120	150	160	180
Время в течение, которого ценность не создается	Транспортировка	мин	2	4	4	4	2	2	1
	Контроль	мин							
	Переналадка	мин	20	15	30	40	40	40	40
	Хранение, сушка клеев	мин						1440	
Количество операторов		чел.	1	1	2	1	2	1	2

Общая продолжительность процесса сократилась на 9 792 минуты. Доля производительного времени выполнения тех же пятнадцати операций производственного процесса обработки детали возросла до 2,1 % вместо 0,2 %. Таким образом, ценность потока увеличилась в 10 раза. Среди потерь в производственном процессе доминирующее значение по-прежнему занимает время ожидания, но связано он в первую очередь с особенностью технологического процесса. На рисунке 2.5 карта потока создания ценностей будущего состояния.

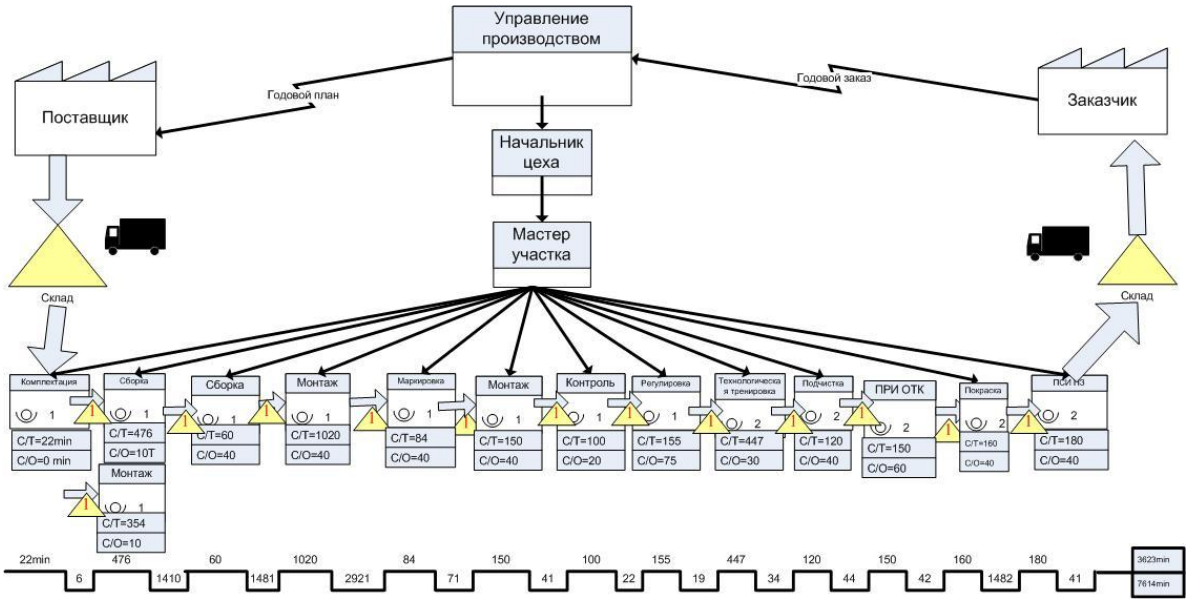


Рисунок 2.5 – Карта потока создания ценности: будущее состояние

Данные полученные для карты потока создания ценности будущего состояния должны быть проверены для последующего внедрения на производство. Для этого необходимо в дальнейшем при помощи методов имитационного моделирования создать модель. Модель должна будет позволить проверить гипотезу без реализации мероприятий непосредственно в производственной системе.

2.3 Динамический подход к мониторингу монтажно-сборочных процессов

Любое производство выполняет последовательность шагов, чтобы предоставить клиентам продукты или услуги. Поток создания ценности можно рассматривать как поток материалов или информации необходимый для доставки товара или услуги от заказа до доставки [112]. Сегодня многие производства используют философию «бережливого внедрения», направленную на сокращение потерь за счет устранения неэффективности в потоке создания ценности. Одним из фундаментальных ограничений КПСЦ является его ручной характер, который создает статическую модель [113-118]. При этом классическая карта потока создания ценности не учитывает динамический аспект операций и ассортимент продукции, которые могут быть одновременно на производстве и не позволяет отслеживать производственный процесс в реальном времени. Классически подход применим только для визуализации производственных линий с одним продуктом или семейством продуктов, и его трудно применить для сложных производств с множественными условиями потока материалов и продуктов. Соответственно существует потребность в представлении метода мониторинга монтажно-сборочных процессов в режиме реального времени, с комбинированным использованием фактических и смоделированных производственных данных для сокращения длительности производственного цикла и уменьшения числа незавершенных заказов для повышения эффективность планирования производственных процессов.

Отображение динамического потока создания ценности основано на принципе имитационного моделирования, поэтому карта текущего и будущего состояния создается с помощью симуляции. При помощи моделирования возможно изучить различные возможности улучшения процесса и влияние предложенных изменений до реализации. Динамическое моделирование КПСЦ позволяет разработать систему автоматизированного управления с целью определения оптимальных параметров и режимов функционирования производственного процесса. Объектом моделирования является карта потока создания ценностей, отображающая этапы перемещения потоков материалов, деталей, сборочных единиц и информации.

Способ формирования динамической карты потока создания ценности предполагает выполнение ряда операций в последовательности, представленной на рисунках 2. 6 и 2.7 для операции динамического обновления карты потока создания ценности.

На рисунках 2. 6 и 2. 7 приняты следующие аббревиатуры:

– ПП – производственный процесс;

– ИМ – имитационная модель;

– КПСЦ – карта потока создания ценности

1. Запуск модуля имитационного моделирования с развернутой на нем имитационной моделью производственного процесса. Также при выполнении данной операции пользователем с использованием устройства ввода-вывода и визуализации определяется изделие или группа изделий, для которых необходимо выполнить построение карты потока создания ценности.

2. Преобразование текущих параметров имитационной модели производственного процесса в формат параметров карты потока создания ценности.

Рисунок 2.6 – Блок-схема формирования динамической карты потока создания ценности

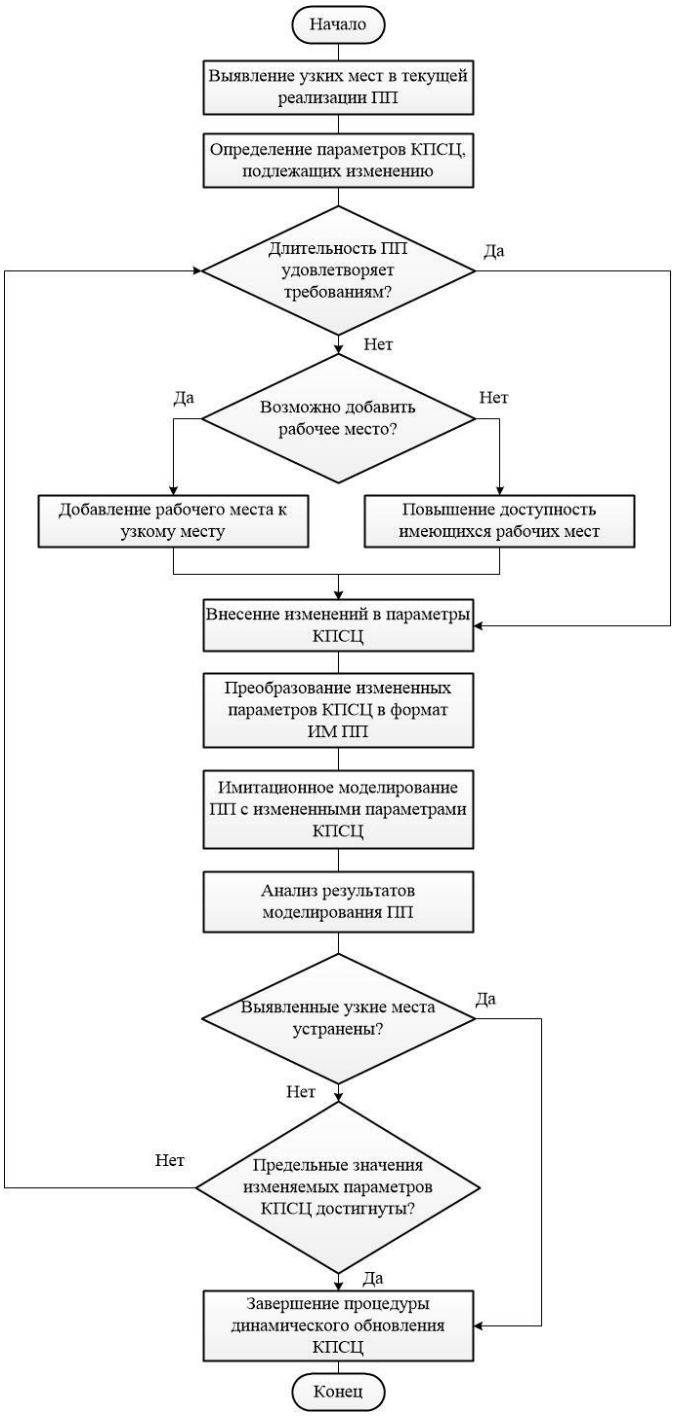


Рисунок 2.7 – Блок-схема динамического обновления карты потока создания ценности

3. Обновление параметров карты потока создания ценности в соответствии с текущими параметрами имитационной модели производственного.

4. Визуализация текущей реализации карты потока создания ценности

Построение текущей реализации карты потока создания ценности выполняется с учетом параметров карты потока создания ценности, полученных в результате операции преобразования параметров имитационной модели производственного процесса.

5. Имитационное моделирование производственного процесса с текущими параметрами карты потока создания ценности

6. Проверка на наличие изменений параметров производственного процесса. При выполнении данной операции по результатам опроса рабочих мест регистрируются изменения следующих параметров производственного цикла:

– время, необходимое для завершения технологической операции на данной рабочем месте (время цикла, ВЦ);

– время, необходимое на подготовку данного рабочего места к выполнению технологической операции (время переналадки, ВП);

– частота отгрузки объектов обработки для данного рабочего места.

7. Считывание измененных значений параметров производственного процесса. Данная операция выполняется в том случае, если при выполнении проверки на наличие изменений параметров производственного процесса были выявлены изменения по крайней мере одного параметра производственного процесса по сравнению с текущими параметрами карты потока создания ценности.

8. Расчет статистических характеристик производственного процесса по измененным значениям параметров производственного процесса. В данной операции рассчитываются следующие статистические характеристики производственного процесса:

– минимальное, среднее арифметическое и максимальное значения времени цикла для данного процесса;

– минимальное, среднее арифметическое и максимальное значения времени переналадки для данного процесса.

9. Динамическое обновление карты потока создания ценности, предполагающее выполнение следующих операций, последовательность выполнения которых представлена на рисунке 2. 7:

– выявление узких мест в текущей реализации производственного процесса с использованием известного из уровня науки и техники метода статистического анализа пропускной способности [105];

– определение параметров карты потока создания ценности, подлежащих изменению с целью устранения ранее выявленных узких мест с учетом рассчитанных статистических характеристик производственного процесса;

– проверка на соответствие длительности производственного цикла предъявляемым требованиям, заданным пользователем;

– проверка на возможность добавления рабочих мест к ранее выявленным узким местам;

– в том случае, если результат проверки положительный, то необходимо добавить рабочее место к ранее выявленному узкому месту;

– в том случае, если результат проверки отрицательный, то необходимо увеличить доступность имеющихся рабочих мест ;

– внесение изменений в параметры карты потока создания ценности ;

– преобразование изменённых параметров карты потока создания ценности в формат имитационной модели производственного процесса;

– имитационное моделирование производственного процесса с измененными параметрами карты потока создания ценности;

– анализ результатов моделирования производственного процесса, определение потребности во внесении изменений в параметры карты потока создания ценности;

– завершение процедуры динамического обновления карты потока создания ценности в том случае, если выявленные узкие места производственного процесса устранены, либо достигнуты предельные значения изменяемых параметров карты потока создания ценности.

10. Внесение изменений в текущую реализацию карты потока создания ценности с формированием карты потока создания ценности будущего состояния производственного процесса.

2.4 Структура системы планирования монтажно-сборочных процессов

Структура системы планирования монтажно-сборочных процессов представлена на рисунке 2.8. Комплекс программ состоит из имитационного модуля, модуля синхронизации, модуля ДКПСЦ и модуля составления расписаний производственного планирования, они реализованы в виде программных компонентов, разработанных в кросс-платформенной интегрированной среде разработки прикладного программного обеспечения Qt Creator

на базе кросс-платформенного инструментария разработчика прикладного программного обеспечения Qt. Данные программные компоненты загружаются в исполняемую среду автоматизированного рабочего места предлагаемого комплекса производственного планирования. вывода и визуализации и базой данных обеспечивается шиной данных и управления, также данной шиной обеспечивается взаимодействие модуля опроса рабочих мест и модуля управления.

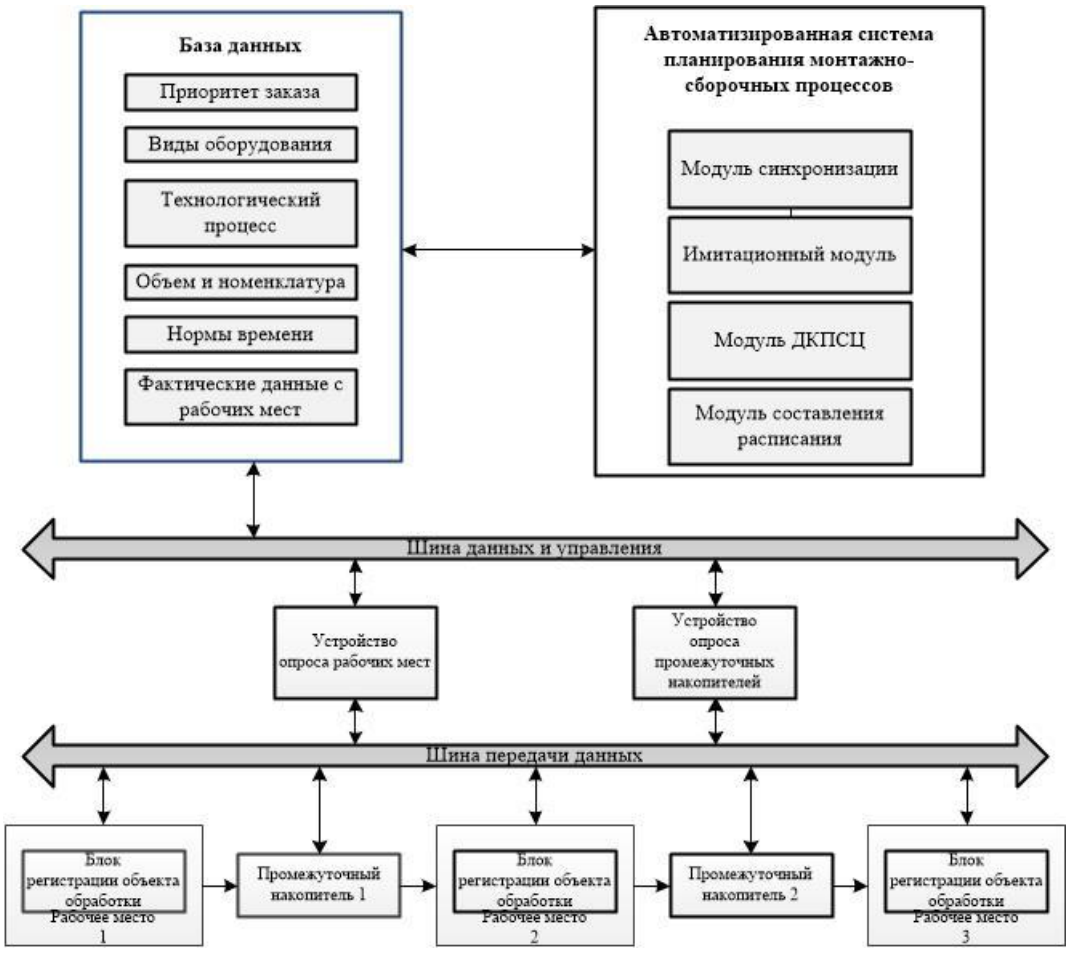


Рисунок 2.8 – Структура системы оперативного планирования производства

Взаимодействие модулей автоматизированной системы представлено на рисунке 2.9. Взаимодействие модуля опроса рабочих мест и блоков регистрации объекта обработки обеспечивается шиной передачи данных. После считывания измененных параметров производственного процесса, происходит расчет статистических характеристик. Использую автоматизированный

сбор данных и параметров производственного процесса происходит расчет статических характеристик и параметров загрузки рабочих мест.

Модуль имитационного моделирования позволяет заранее изучить последствия добавления того или иного заказа в систему, возможность выполнения заказа в срок. Комбинирование фактических производственных данных и данных, полученных при помощи имитационного моделирования, позволяет, как производить текущий мониторинг выполнения производственных заказов, так и эффективно оценивать будущее состояние системы.

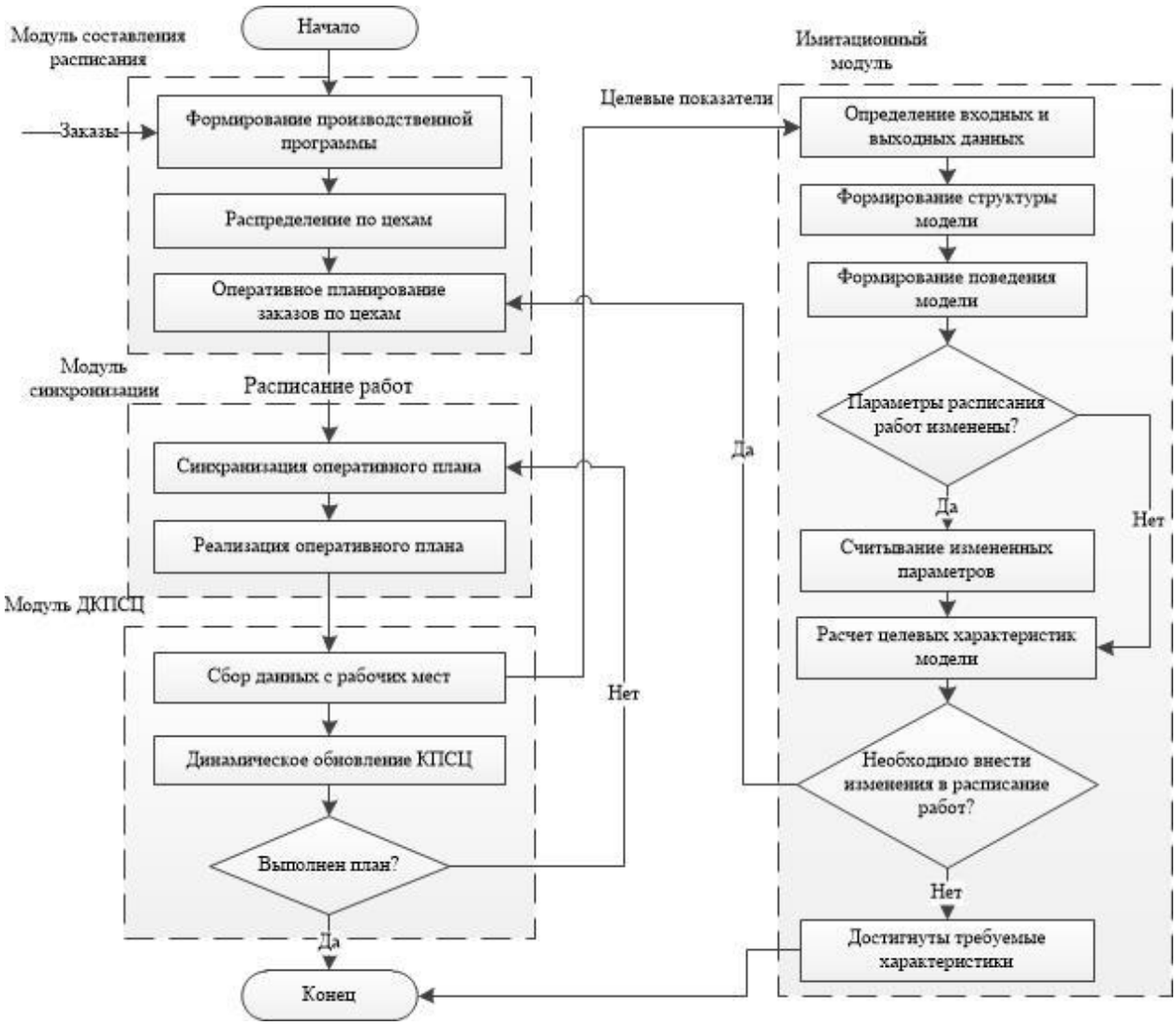


Рисунок 2.9 – Взаимодействие модулей автоматизированной системы оперативного планирования позаказного производства

2.5 Выводы по главе 2

1. Представлена модель метода синхронного планирования, определены основные его критерии и показатели.

2. Обоснована эффективность использования подхода КПСЦ для мониторинга монтажно- сборочных процессов.

3. Предложен метод в виде набора алгоритмов для мониторинга монтажно-сборочных процессов путем динамического создания карты потока создания ценности.

4.Описана структура автоматизированной системы планирования монтажно-сборочных процессов.

3 ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1 Представление монтажно-сборочных процессов как системы массового обслуживания

Очереди ожидания существуют почти во всех промышленных и производственных процессах. Во всех таких системах очередей есть объекты, которые должны повторно обрабатываться другим объектом. Сущность, ожидающая в очереди на получение услуги, называется клиентом, а сущность, которая обрабатывает клиентов, называется сервером. Очереди характеризуются рядом свойств, которые представляют взаимосвязи между объектами, участвующими в системе очередей. Процесс поступления, продолжительность обслуживания и дисциплина очереди являются одними из наиболее важных свойств очереди. В дополнение к этим основным свойствам, количество серверов, емкость очереди и совокупность обслуживаемых объектов являются некоторыми другими свойствами системы очередей [86-96].

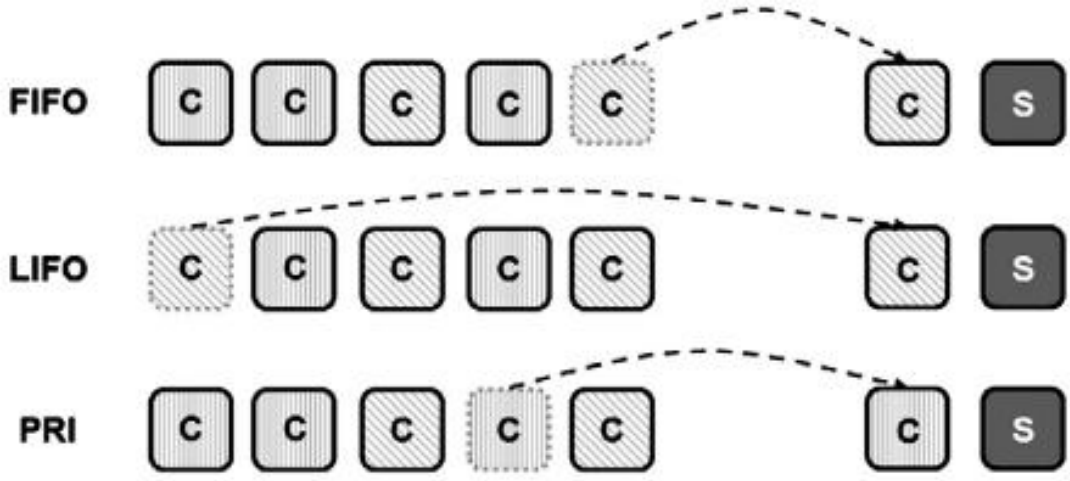


Рисунок 3.1 – Принцип выбора заявки на обслуживание из очереди

Дисциплина очереди определяется как правило или набор правил на основе определенного атрибута сущностей. Он определяет шаблон (то есть порядок), по которым аутентичности в очереди получают услугу. Выбор

дисциплины очереди и применяемых правил может существенно повлиять на количество объектов, ожидающих в очереди, среднее время ожидания и эффективность средства обслуживания. Наиболее распространенная дисциплина очереди - «первым пришел - первым вышел» или FIFO, при которой клиенты в очереди обслуживаются в соответствии с их хронологическим порядком прибытия. Хотя FIFO уже давно используется в качестве дисциплины очереди по умолчанию при моделировании систем очередей [97], во многих сценариях одинаково вероятно, что клиенты будут обслуживаться в соответствии с другими шаблонами обслуживания. Например, дисциплина «последний пришел - первый ушел» или LIFO может иметь место в ситуациях, когда куча или стопка клиентов (например, сырье, сборные бетонные сегменты, стальные секции) ожидают обработки сервером. Помимо FIFO и LIFO, шаблон обслуживания системы с извлечением из очереди может быть охарактеризован в соответствии с внутренним атрибутом объектов в системе. Этот тип дисциплины очереди называется приоритетной очередью или дисциплиной очереди PRI. Иногда может не быть правила, согласно которому клиенты получают обслуживание от сервера, и в этом случае дисциплина очереди рассматривается как обслуживание в случайном порядке или SIRO. Рисунок 3.1 иллюстрирует концепции дисциплин очередей FIFO, LIFO и PRI. На этом рисунке клиенты обозначены буквой C, а сервер - буквой S. Каждая из трех очередей показывает клиента, который должен быть извлечен из очереди в соответствии с указанной дисциплиной очереди.

В системе массового обслуживания процесс поступления может быть определен последовательностью времени между прибытиями, которые являются независимыми и идентично распределенными (IID) в качестве упрощающего предположения, чтобы соответствовать распределениям вероятностей с фиксированными параметрами. Случайность, связанная с соперничающими событиями, позволяет легко охарактеризовать время между встречами с помощью распределения вероятностей. Сервисный

объект (то есть, где сервер обрабатывает клиентов) может иметь разное количество каналов и фаз. При наличии более одного сервера каналы относятся к доступным маршрутам, по которым клиенты могут пройти после ожидания в очереди, чтобы добраться до объекта обслуживания.

Для производства существует набор заказов, которые должны быть произведены. Учитывая тот факт, что планово-учетной единицей планирования мелкосерийного многономенклатурного производства является заказ, для моделирования работы производства в качестве заявок на обслуживания используется набор операций необходимых к выполнению. Операции необходимые к выполнению, получают из разузлования заказа, соответственно интенсивность поступления операций необходимых к выполнению рабочими местами для нас не является существенным показателем. Все операции необходимые для выполнения заказа появляются в очереди на обслуживание, как только заказ поставлен на выполнение.

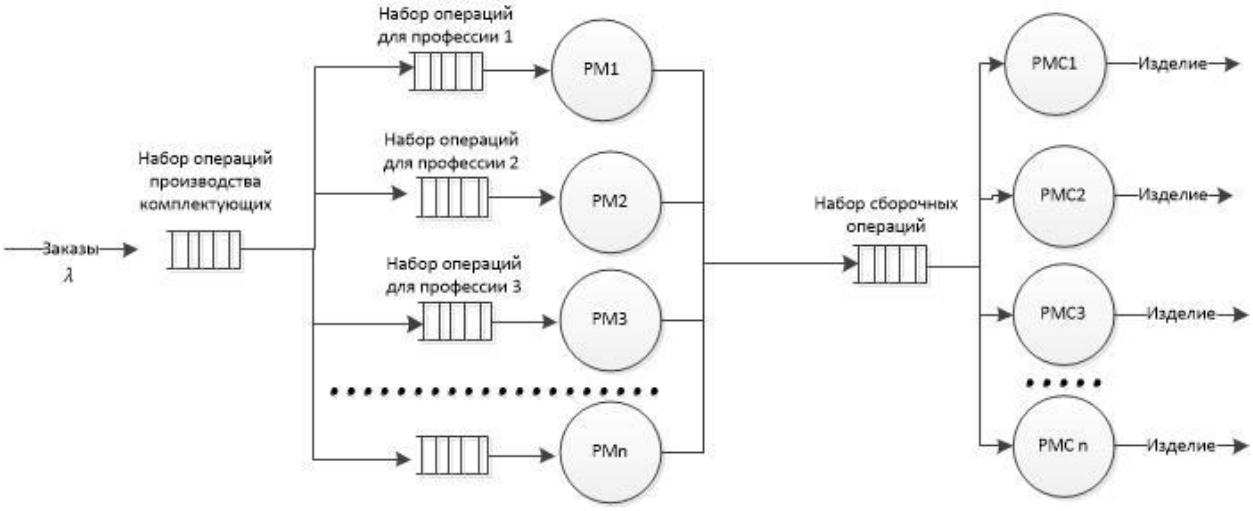


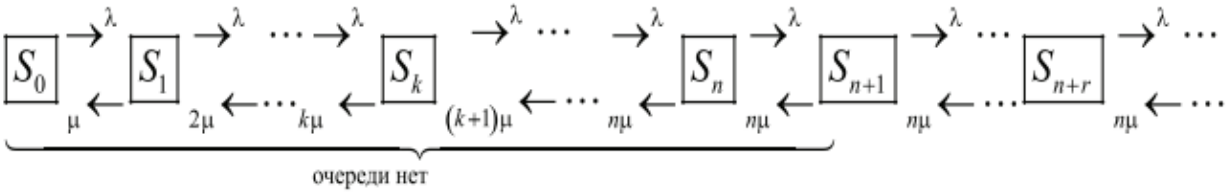
Рисунок 3.2 – Модель производства в виде системы массового обслуживания

В случае регулируемого потока, т.е. потока с последействием, для определения количественных характеристик обслуживания необходимо знать закон распределения входящего потока, в частности, для потока, описываемого двухпараметрическим распределением, необходимо знать среднее значение (λ или t_u и) и дисперсионную характеристику интервала входящего на обслуживание потока (обычно υ $_\lambda$) [98].

Система обслуживания характеризуется числом каналов обслуживания n, длительностью обслуживания $t_{об}$ одной заявки и пропускной способностью μ – числом заявок, которое может обслужить один канал (или n каналов) в единицу времени. Отношение

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_{об}}{t_{и}} \qquad (15)$$

называется коэффициентом использования системы, или приведенной плотностью потока.



S_0 – в СМО заявок нет (все каналы свободны);

S_1 – один канал занят, остальные свободны;

S_2 – заняты два канала, остальные свободны;

S_k – занято k каналов, остальные свободны;

S_n – заняты все n каналов, (очереди нет);

S_{n+1} – заняты все n каналов, одна заявка стоит в очереди;

S_{n+r} – заняты все n каналов, r заявок стоит в очереди;

Рисунок 3.3 – Граф состояний для многоканальной СМО с неограниченной очереди

Показатели работы СМО вероятность того что система находится в состоянии S_0 (16), вероятность что заявка окажется в очереди(17), длина очереди(18),среднее число заявок в системе(19),среднее время пребывания заявок в очереди(20), среднее время пребывания заявки в системе(21) рассчитываются по следующим формулам:

$$p_0 = \left(\sum_{i=0}^{n} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)}\right)^{-1} \qquad (16)$$

$$P_q = \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} p_0 \qquad (17)$$

$$L_q = \frac{\rho^{n+1} p_0}{n n! (1-\frac{\rho}{n})^2} \quad (18)$$

$$L_s = L_q + \rho \quad (20)$$

$$T_s = \frac{L_s}{\lambda} \quad (21)$$

Зная интенсивность поступления заказов на производство, количество рабочих мест по каждой профессии и нормы времени по каждой операции можно смоделировать работу каждого рабочего места на предприятии. Задача сводится к определению оптимального количества рабочих мест по каждой специальности рабочих и минимизации целевой функции совокупных затрат на производство. Минимизация расходов по каждому рабочему месту с одной стороны влечет за собой снижение количества рабочих мест, но при этом общее время выполнения заказа увеличивается. С другой стороны скорость исполнения заказов и интенсивность выпуска продукции может быть увеличена за счет увеличения числа рабочих мест, что очевидно связано с дополнительными затратами на обустройство рабочих мест и оплату рабочих.

Оптимизация подразумевает что необходимо при заданной интенсивности поступления заявок и интенсивности их обслуживания обеспечить минимум затрат на ожидание обработки операций и обслуживанию на рабочем месте. Очевидно, что минимизация времени выполнения заказа приводит к росту расходов на выполнение. И наоборот минимизация рабочих мест ведет к возрастанию времени.

3.2 Исходные данные для построения имитационной модели монтажно-сборочных процессов

В представленной работе монтажно-сборочные процессы рассматриваются на примере предприятия АО «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск). Указанное предприятие является признанным отечественным лидером в области создания систем и аппаратных комплексов передачи данных, тропосферной, спутниковой связи и навигации в интересах

обеспечения обороноспособности страны. Особенностью предприятия является его научно-производственная направленность, объясняющая наличие в его структуре разрабатывающих подразделений, тесно связанных с производственными цехами. Такой принцип позволяет значительно сократить цикл «Разработка – серийное производство» техники, но при этом обуславливает мелкосерийный и позаказный характер производства [99].

Деятельность АО «НПП «Радиосвязь» охватывает научно-исследовательские, опытно-конструкторские, производственные работы, а также гарантийное и послегарантийное обслуживание. Кроме того, перед предприятием стоит ряд проблем, связанных с постоянно растущей сложностью продукции и повышением технических требований к заказам. На предприятии АО «НПП «Радиосвязь»» монтажно-сборочный цех номер 15 является одним из цехов основного производства, выпускным цехом. В рассматриваемом случае выпускной цех – цех с площадей которого выпускается готовая продукция в адреса заказывающих организаций. Цехом 15 на предприятии выпускается более 50 % всей готовой продукции, если оценивать данный аспект с точки зрения объемных показателей. Общая численность цеха составляет 150 человек, из них:

- 106 человек – основные рабочие (слесари-сборщики радиоэлектронной аппаратуры и приборов, монтажники РЭА, регулировщики РЭА, фрезеровщики, маркировщики);
- 19 человек – вспомогательных рабочих (работники службы ПДБ, комплектовщики, работники РИЛ, работники службы ГАБ, уборщики производственных и служебных помещений);
- 25 человек – ИТР (начальник и его заместители, начальник ПДБ, начальники участков, старшие мастера и мастера).

Структура цеха приведена на рисунке 3.4. Общая задача цеха заключается в изготовлении и выпуску приборов комплекса СЭС (система энергоснабжения станции) станций спутниковой и тропосферной связи, СВЧ узлов входящих в состав приборов из состава станций связи выпускаемых

предприятием, кабельной продукции изготавливаемой на предприятии, продукции из композитных материалов, а также моточных изделий (дроссели, трансформаторы, катушки индуктивности и т. д.), и особенно трудоемких антенно-фидерных устройств АФУ входящих в состав всех станций спутниковой и тропосферной связи производимых на предприятии.

Рисунок 3.4 – Структура монтажно-сборочного цеха

Цех является ключевым звеном в работе всех сборочно-монтажных цехов предприятия, поскольку участвует в большой работе по кооперации со смежными цеха, производя для них не малую долю комплектующих блоков, приборов, а также моточной и кабельной продукции. К специфике работы цеха также относится приготовление многокомпонентных смесей и растворов необходимых при изготовлении приборов, выпускаемых цехом.

За организацию работы в цехе отвечает непосредственно начальник цеха. В обязанности начальника цеха входит, как функция контроля трудовой дисциплины и обеспечение порядка, так и проведение мероприятий по планированию изготовления и выпуску производимой продукции цехом, а также контроль экономических и товарных показателей цеха, с целью определения эффективности работы подразделения в целом и каждого

структурного подразделения в частности. Контроль экономических и товарных показателей позволяет своевременно выявить возможные внезапно возникающие сдерживающие производство факторы. К таким факторам относятся:

- необоснованный простой производственных мощностей;

- некорректная загрузка производственных мощностей;

- некорректная укомплектованность цеха рабочими основного либо вспомогательного производства;

- некорректно установленные нормы времени на отдельно идущие позиции, выпускаемые данным подразделением,

- некорректно установленные тарифные сетки по отдельным либо ряду профессий;

- некорректно произведенный расчет численности набора персонал цеха.

Проектирование имитационной модели цеха выполнено в соответствии с собранными данными о его структуре. Исходными данными для построения имитационной модели монтажно-сборочного цеха являются численные параметры функционирования оборудования и рабочих мест, часть их приведена в таблице 10. Полностью данные, загружаемые в модель представлены в приложении Б.

Таблица 10 – Численные параметры моделирования

Название	Код профессии	Время выполнения	Название операции	Уровень вложенности в изделие	Количество	Последовательность
Э4010-20-0045	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	270
Э4010-20-0045	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	310
Э4010-20-0045	686	0,03	Подготовительная для комплектования	2	1,00	320
Э4010-20-0045	686	0,15	Сборочная для слесаря-сборщика	2	1,00	330
Э4010-20-0045	206	0,02	Контроль ОТК	2	1,00	340
Э4010-20-	686	0,02	Подготовительная для	1	1,00	10

Название	Код профессии	Время выполнения	Название операции	Уровень вложенности в изделие	Количество	Последовательность
0064			комплектования			
Э4010-20-0064	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	1	1,00	20
Э4010-20-0064	686	0,10	Пайка	1	1,00	30
Э4010-20-0064	686	0,20	Сборка	1	1,00	40
Э4010-20-0064	206	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	50
Э4010-20-0064	686	0,25	Пайка	1	1,00	60
Э4010-20-0064	205	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	70
Э4010-20-0090	686	0,02	Подготовительная для комплектования	1	1,00	10
Э4010-20-0090	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	1	1,00	20
Э4010-20-0090	686	0,10	Пайка	1	1,00	30
Э4010-20-0090	686	0,20	Сборка	1	1,00	40
Э4010-20-0090	206	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	50
Э4010-20-0090	686	0,25	Пайка	1	1,00	60
Э4010-20-0090	205	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	70
Э4010-20-0091	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	270
Э4010-20-0091	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	310
Э4010-20-0091	686	0,03	Подготовительная для комплектования	2	1,00	320
Э4010-20-0091	686	0,15	Сборочная для слесаря-сборщика	2	1,00	330
Э4010-20-0091	206	0,02	Контроль ОТК	2	1,00	340

Для построения имитационной модели использована схема технологических процессов, приведенная на рисунке 3.6. Производственно-технологические данные для построения модели (вхождения в сборку,

количество ПКИ и ДСЕ, номера сборок и т.д.) были экспортированы из системы АСУ.

3.3 Разработка имитационной модели

Методы моделирования, такие как моделирование дискретных событий, системная динамика и моделирование на основе агентов, обычно используются для прогнозирования поведения реальных сложных производственных систем [100]. Эти методы моделирования использовались для поддержки производственных решений, включая проектирование макетов завода, взаимодействие цепочек поставок и разработку стратегий планирования производства [101]. В то время как системная динамика и моделирование дискретных событий являются традиционными, агентное имитационное моделирование является относительно новым и может использоваться на всех уровнях абстракции. Агенты могут моделировать объекты очень разнообразной природы и масштаба и позволяют определять поведение агентов, которое окажется полезным для более сложных исследований.

В современных объектно-ориентированных средах имитационного моделирования, в частности в AnyLogic, модель разделена на части – типовые объекты, которые помимо диаграммы процесса могут содержать дополнительную логику и правила взаимодействия с другими объектами [102-105].

Заказы клиентов поступают с некоторой частично неопределенной скоростью в частично неопределенное время, например, каждые 3- 5 часов, ожидаемый диапазон 3-5 заказов. Согласно разработанной архитектуре адаптивного планирования позаказного производства из системы АСУП в имитационный модуль поступают данные о технологических операциях, необходимых для изготовления изделия. Заказы на все изделия представляют собой набор операций необходимых к выполнению для реализации производственного плана. Данный документ содержит

информацию о длительности работ, оснастке, типе рабочих, нормах времени по каждой операции. Создадим модель, описывающую происходящие процессы. Для создания модели использовались типовые блоки библиотеки моделирования процессов AnyLogic: *source,queue, service, select output, sink.* Заявки на необходимые операции поступают из блока *Source,* в качестве агента выступает созданный тип агента *Operation*. Рабочие места представлены с помощью блока *Service,* который реализует очередь операций к рабочему месту, захват необходимого ресурса и его освобождения, при выполнении операции

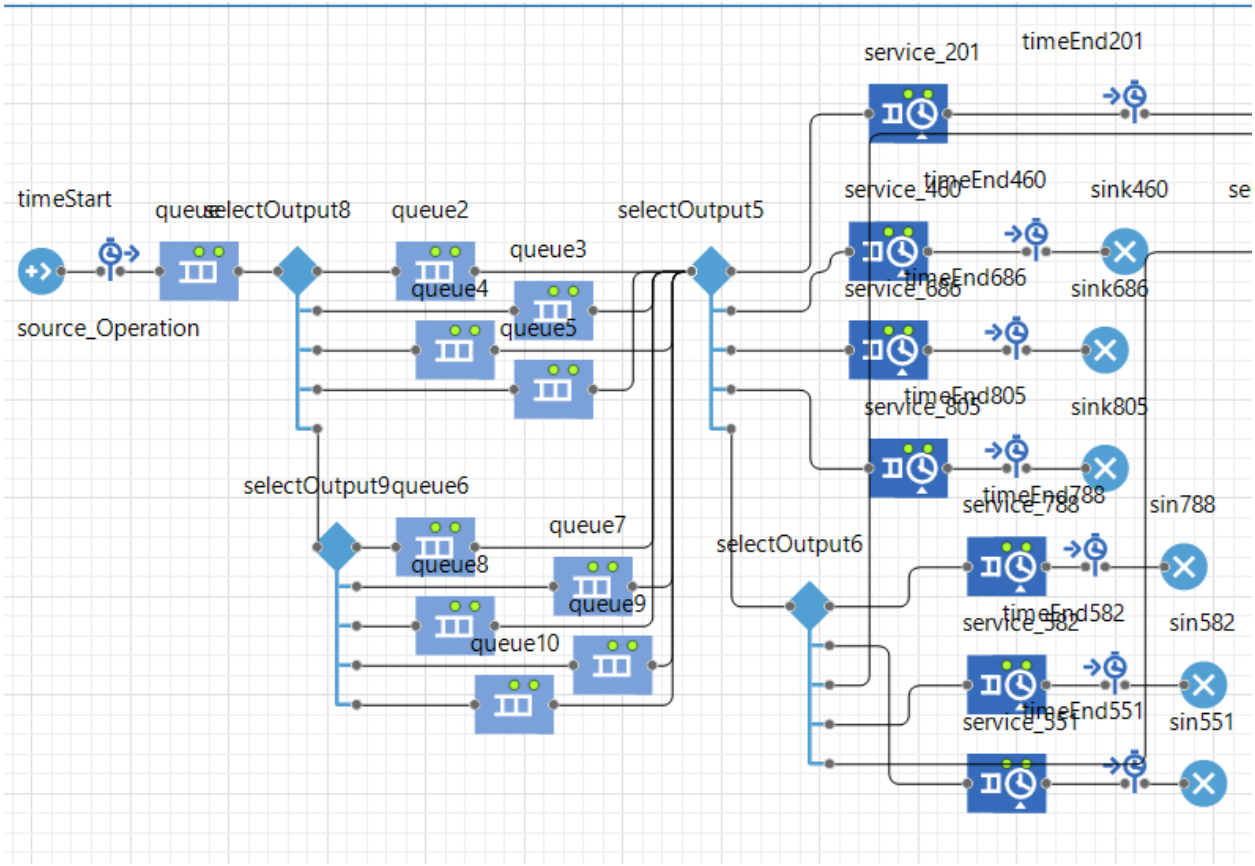


Рисунок 3.7 – Часть имитационной модели монтажно-сборочного цеха

Имитационная модель на рисунке 3.7 содержит источник заказов, куда поступают заказы клиентов, рабочие места по необходимому типу операции, очереди, в которых заказы будут ожидать, если пропускная способность соответствующих последующих шагов окажется недостаточной, и узел-приемник в качестве завершения процесса. Также для измерения времени нахождения операции в системы были добавлены блоки для измерения

времени. Точка «timeStart» измеряет время поступления заказа от клиента, а точки «timeEnd201», «timeEnd460» и другие измеряют время выполнения каждой операции и являются временем операций каждого типа.

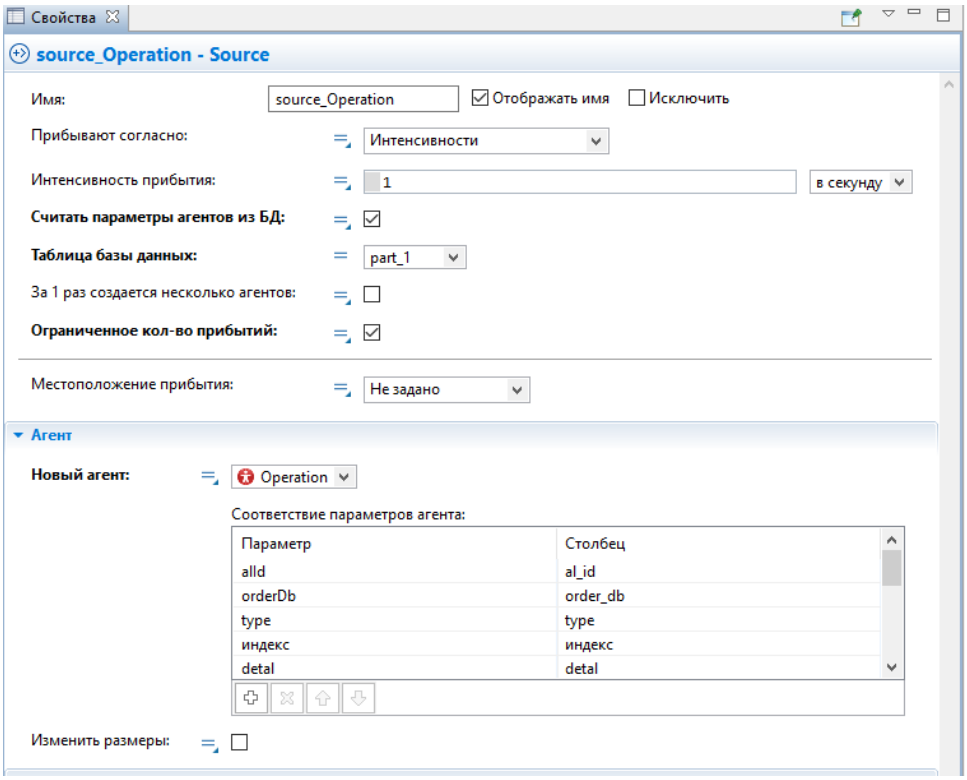


Рисунок 3.8 – Настройка входящего потока

Для того чтобы задать поступление входящего потока напрямую мы настраиваем блок Source (рисунок 3.8) Особенности AnyLogic позволяет напрямую взаимодействовать с Excel-шаблонами и базами данных для ввода и вывода данных. Каждая строка в таблице – это операция, которая должна быть выполнена. Для среды AnyLogic все обрабатываемые операции - это агенты.

in | part_1

	al_id	order_db	type	индекс	detal	job_code	lead_time	name_operation	pitch	amount	sequence
1	417,150	207,130	Б		Э4010-20-0045	540	0.033	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1	270
2	417,151	207,130	Б		Э4010-20-0045	540	0.033	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1	310
3	417,152	207,130	Б		Э4010-20-0045	686	0.033	Подготовительная для комплектования	2	1	320
4	417,153	207,130	Б		Э4010-20-0045	686	0.15	Сборочная для слесаря-сборщика	2	1	330
5	417,154	207,130	Б		Э4010-20-0045	206	0.015	Контроль ОТК	2	1	340
6	417,155	207,130	Б		Э4010-20-0064	686	0.022	Подготовительная для комплектования	1	1	10
7	417,156	207,130	Б		Э4010-20-0064	540	0.025	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	1	1	20
8	417,157	207,130	Б		Э4010-20-0064	686	0.1	Пайка	1	1	30

Рисунок 3.9 – Часть базы данных модели

В связи с тем, что базовый класс заявок в AnyLogic не имеет нужных свойств характеризующих поступающие заказы, создадим новый агент *«Operation»* , который будет описывать операции. В качестве параметров,

характеризующих каждую поступающую операцию мы берем данные полученные с рабочих мест (рисунок 3.9.) Цех производит большое количество разноплановых операций, отличающихся и по времени и по необходимой оснастке. Кроме этого каждая операции имеет свой уровень вложенности в итоговое изделие и поэтому имеет приоритет при изготовлении. Чем ниже уровень вложенности, тем раньше должна быть выполнена операция.

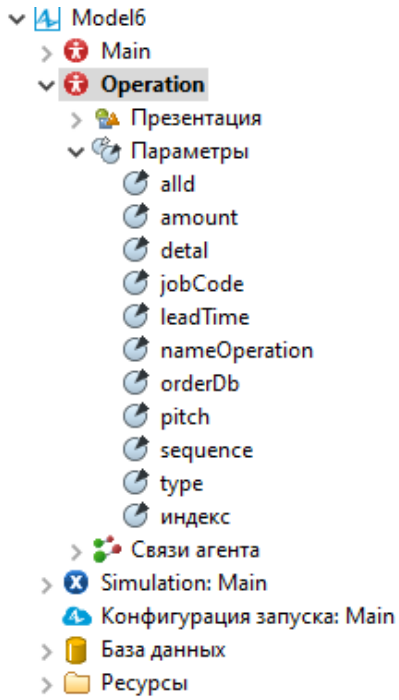


Рисунок 3.10 – Агент Operation

На следующем этапе необходимо определить правила перехода операции из очереди на обработку на рабочем месте. Во-первых, емкость очереди может быть ограниченной или неограниченной (максимальная емкость). Во-вторых, правила диспетчеризации могут быть настроены как FIFO, основанные на приоритете (т. е. заказы от наиболее важных клиентов отправляются первыми; это должно быть активировано “включить упреждение”), сравнение агентов (т. е. предпочтения для определенных заказов) и LIFO.

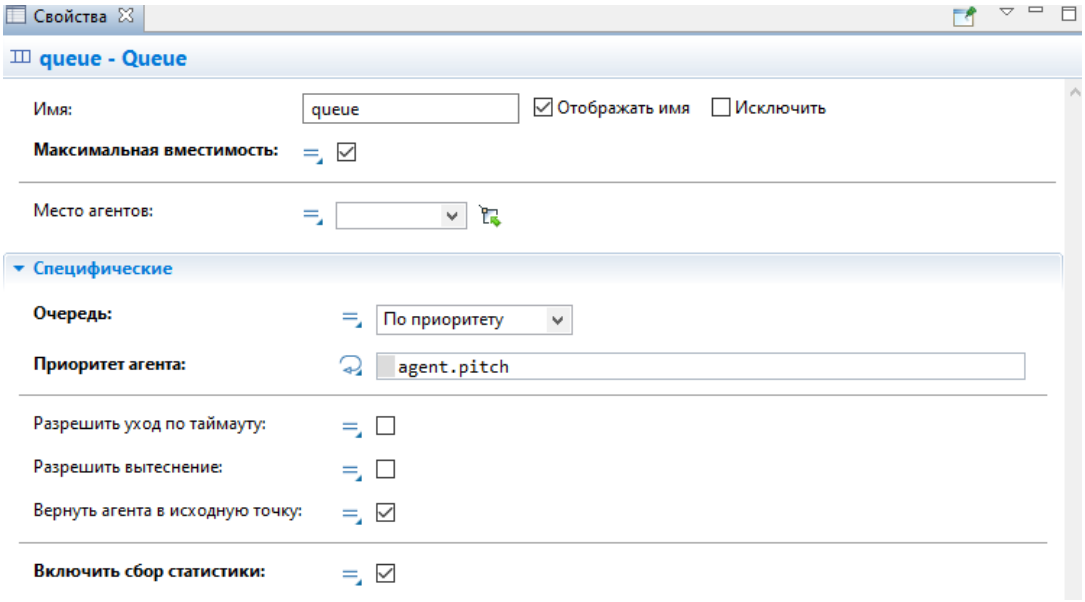


Рисунок 3.11 – Определение правил очереди

Для того чтобы учесть уровень вложенности операции в изделие, мы сортируем операции в блоках *Queue* по приоритетам, используя в качестве критерия параметр *pitch* агента. Для нашей модели, мы приняли несколько допущений, что каждое рабочее место обрабатывает не более одной операции за раз, технологические операции одного уровня вложенности для разных изделий могут выполняться параллельно. Далее необходимо выполнить сортировку для каждого типа операций, мы сравниваем характеристику *sequence* каждого поступающего в очередь агента. Учитывая особенность технологического процесса и необходимость выполнения операций в определенном порядке, в блоках очереди происходит проверка, операции выстраивается в последовательность согласно технологической цепочке.

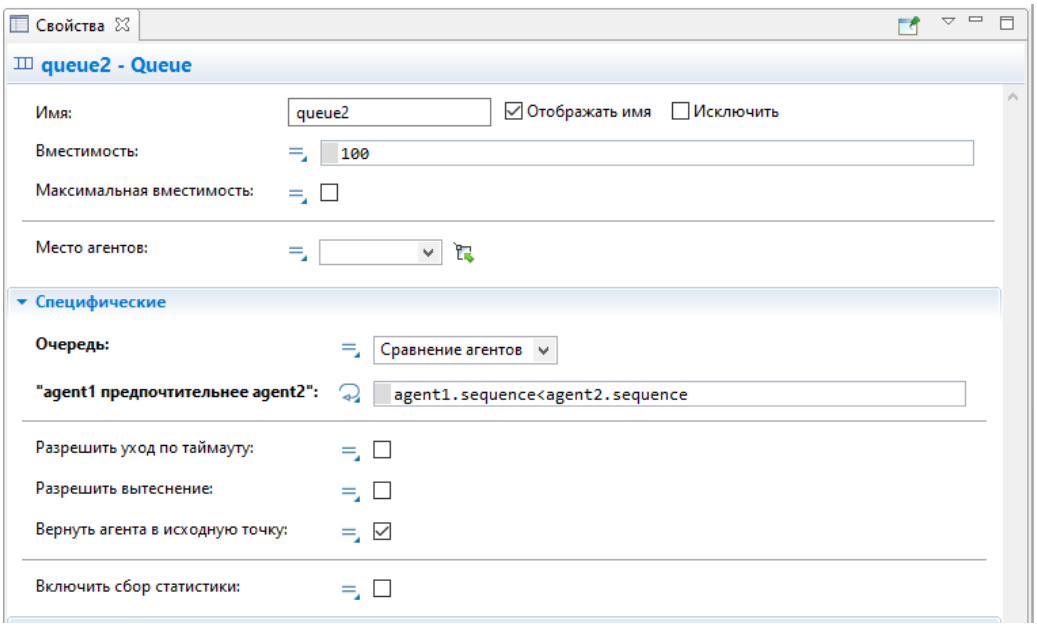


Рисунок 3.12 – Определение правил очереди

Далее необходимо определить правила обработки операций на каждом рабочем месте. Количество рабочих мест варьируется в модели и может составлять для каждой профессии от 1 до 20. Для моделирования работы цеха необходимо провести сортировку операций. Используя блок *Select output 5* мы распределяем поток операций по рабочим местам, исходя из профессии рабочего ,который должен осуществлять такой тип операций. В качестве критерия сортировки прописывается условие соответствия свойства поступающего агента agent.jobCode= номеру профессии.

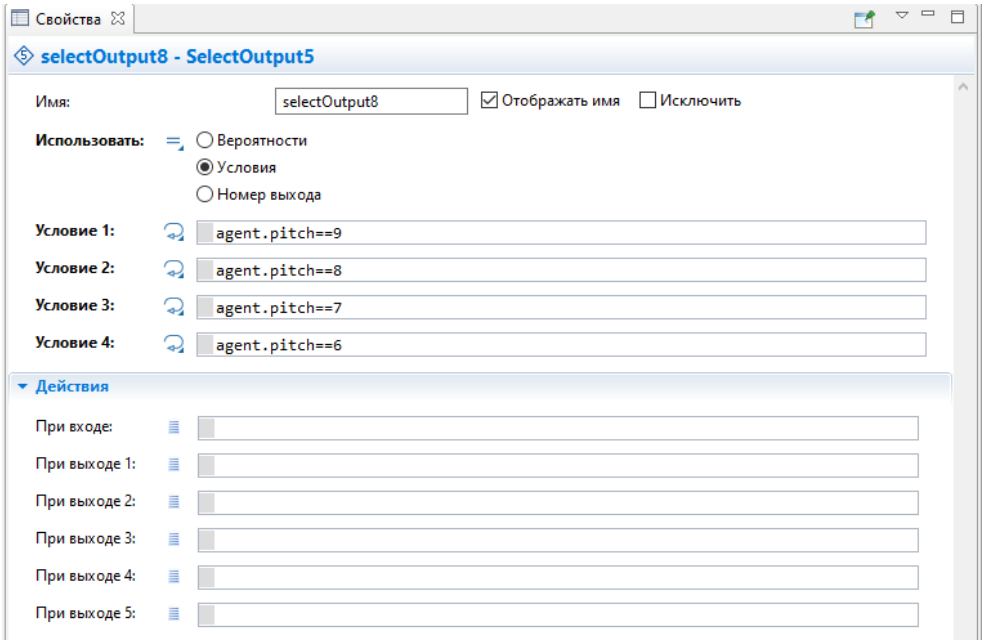


Рисунок 3.13 – Определение правил очереди агентов

Время обработки на каждом рабочем месте может быть фиксированным или частично неопределенным. *Resource Pool* определяет максимальное количество заказов, которые могут обрабатываться одновременно. Блок *service* реализует механизм захвата ресурса, задержки агента на время выполнения операции и освобождение ресурса.

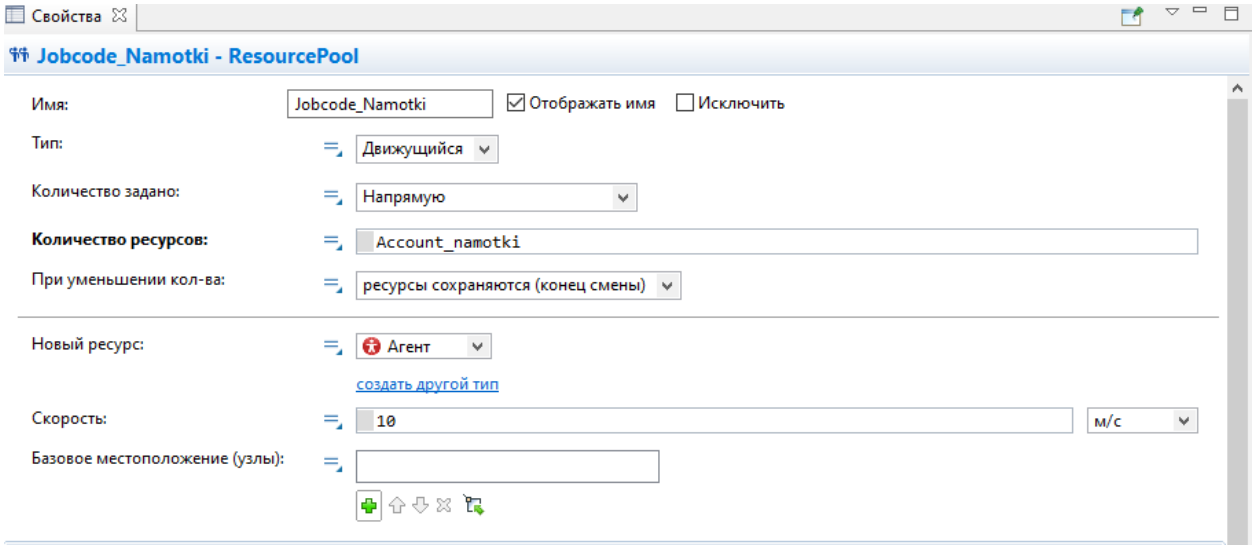


Рисунок 3.14 – Задание переменных связанных с рабочими местами

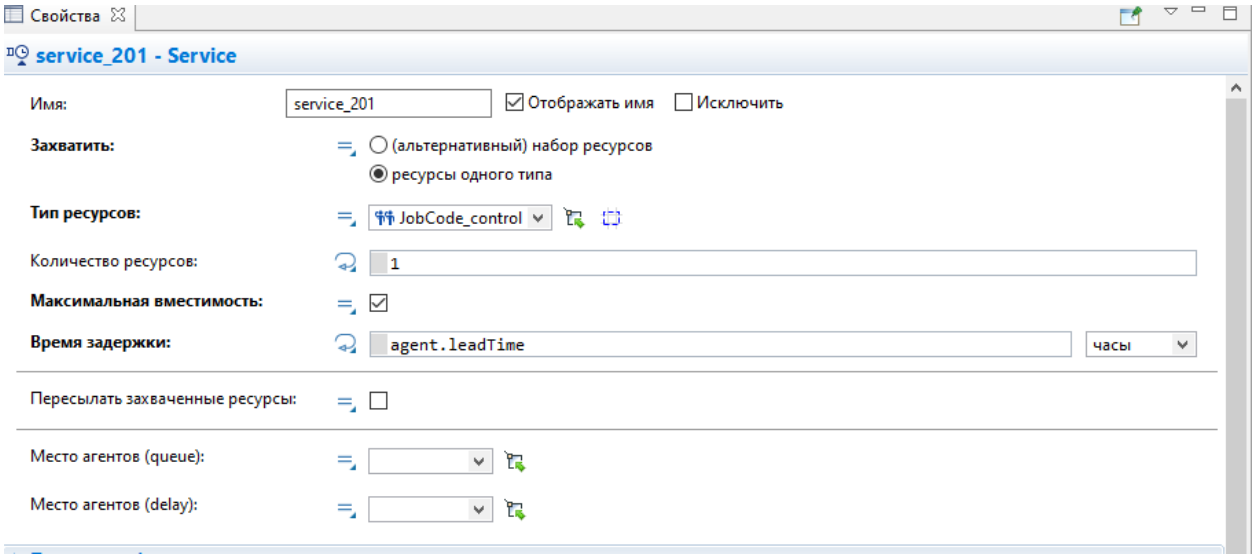


Рисунок 3.15 – Настройка работы блока имитирующего рабочее место

Созданная имитационная модель (ПРИЛОЖЕНИЕ А, Б), позволяет проверить реализуемость составленного производственного плана, а так же рассчитать ожидаемые сроки выполнения заказа в идеальных условиях. Кроме этого выявляются незагруженные или перезагруженные рабочие

места, что позволяет провести корректировку распределения людских ресурсов на предприятии.

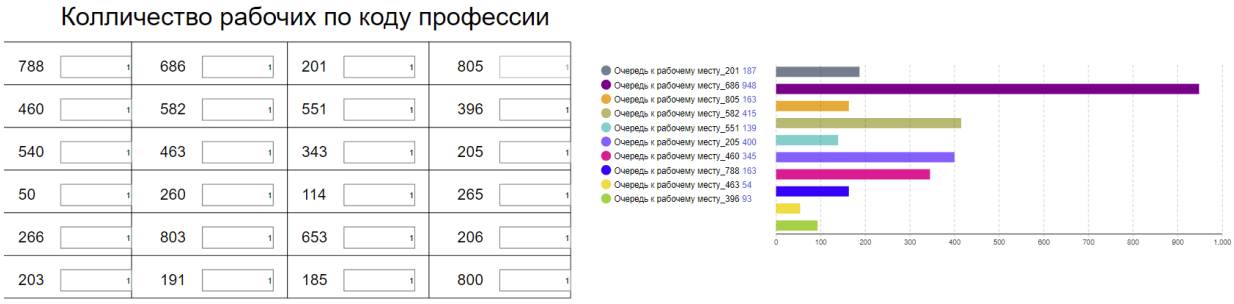


Рисунок 3.16 – Интерактивная форма внесения числа рабочих по типу рабочих мест

За счет существующей связи с системой АСУП возможно протестировать добавление новых заказов в общий портфель операций. На диаграмме технологического процесса мы включили точки для измерения времени.

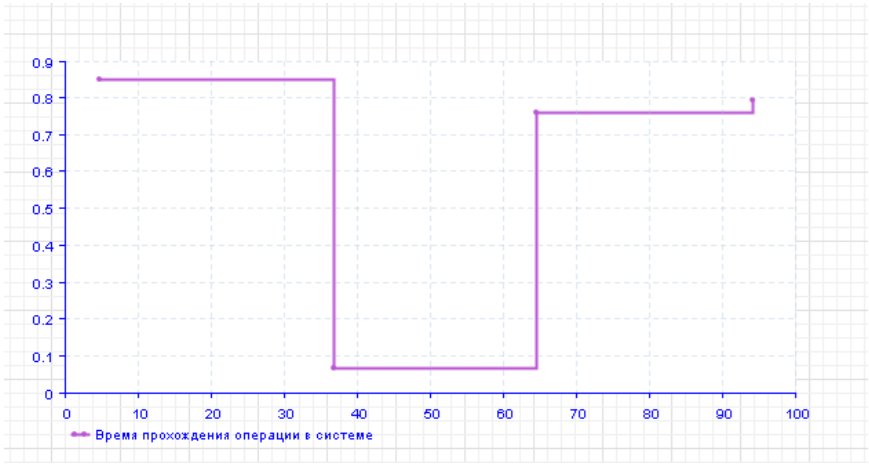


Рисунок 3.17 – Сбор статистических данных по операциям

3.4 Оптимизационный эксперимент

Эффективность использования производственных мощностей в производстве на заказ является одним главных критериев оптимизации. Для реализации производственного плана необходимо выявить возможные сдерживающие производство факторы. К таким факторам относятся:

- необоснованный простой производственных мощностей;

- некорректная загрузка производственных мощностей;

- некорректная укомплектованность цеха рабочими основного либо вспомогательного производства;

- некорректно установленные нормы времени на отдельно идущие позиции, выпускаемые данным подразделением,

- некорректно установленные тарифные сетки по отдельным либо ряду профессий;

- некорректно произведенный расчет численности набора персонал цеха.

Для того чтобы оценить как загрузку производственных мощностей монтажно-сборочных процессов, так и минимизировать производственные затраты необходимо провести анализ, позволяющий модели вычислить стоимость каждой произведенной операции в цехе. Каждая операция занимает определенные ресурсы, а затем освобождает ресурсы. В течение всего времени прохождения операции в цеху к ее стоимости добавляется стоимость пребывания. На время использования ресурса к стоимости операции добавляется стоимость использования этого ресурса, в остальное время добавляется стоимость простоя ресурса.

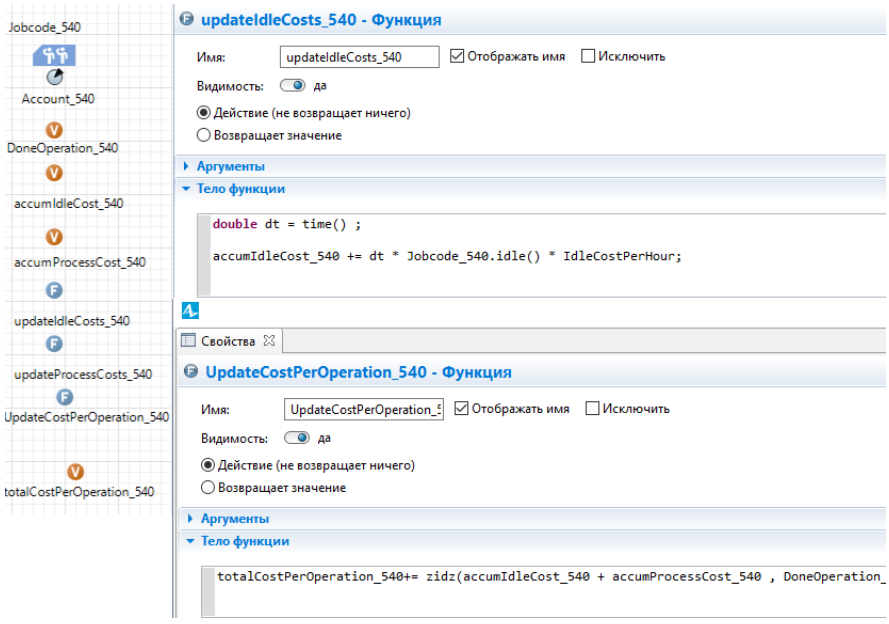


Рисунок 3.18 – Настройка параметров по каждому пулу рабочих мест

Среди профессий работников цеха: слесари-сборщики радиоэлектронной аппаратуры и приборов, монтажники РЭА, регулировщики РЭА, фрезеровщики, маркировщики. Цех является ключевым звеном в работе всех сборочно-монтажных цехов предприятия, поскольку участвует в большой работе по кооперации со смежными цеха, производя для них не малую долю комплектующих блоков, приборов, а также моточной и кабельной продукции. Структура цеха делит рабочие места на восемь пулов рабочих:

- участок регулировки;
- антенный участок;
- участок кабельной продукции;
- участок намотки и пропитки;
- участок монтажа;
- участок сборки;
- выпускной участок ;
- участок композитных материалов.

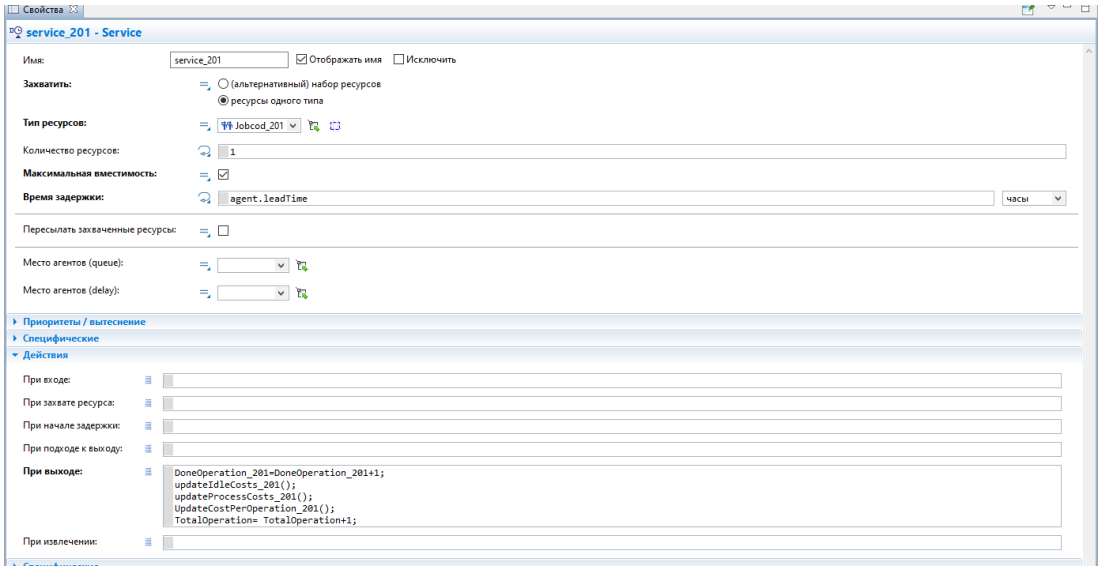


Рисунок 3.19 – Настройка действий при выходе для блока Service

Для каждого типа рабочего места создаем набор параметров: число рабочих мест по каждой профессии, стоимость загруженного рабочего места, стоимость простоя рабочего места. Кроме этого для реализации модели и оптимизации, необходимы переменные, отражающие общую загрузку и

простой рабочих мест. Для каждой профессии мы можем рассчитать стоимость простоя и стоимость загрузки рабочего места. Считаем что стоимость простоя (IdleCostPerHour) и загрузки (BusyCostPerHour) для каждого рабочего места условно одинакова и равна 4 и 8 соответственно.

Функции UpdateIdleCost(), рассчитывает стоимость простоя для каждого рабочего места и обновляет переменную accumIdleCost, а функция UpdateProcessCosts() рассчитывает загрузки каждого рабочего места и обновляет переменную accumProcessCost. В переменную DoneOperation записываются уже выполненные на рабочем месте операции. Для этого в блоке Service для каждого типа операций задаются соответствующие действия при выходе из блока (рис 3.19). Функции UpdateProcessCosts() и UpdateProcessCosts() используют для расчета модельное время. Для того чтобы понять стоимость работ по каждой операции, мы используем функцию UpdateCostPerOperation(). Для оптимизации модели создадим целевую функцию, позволяющую минимизировать производственные затраты и простой рабочих. Функция totalCostPerOperation() (рис.3.20) возвращает значение отношения суммы вариативных переменных стоимости по каждому производственному участку, на количество выполненных операций. Данная функция является средним арифметическим значением затрат на каждую операцию по каждому рабочему месту.

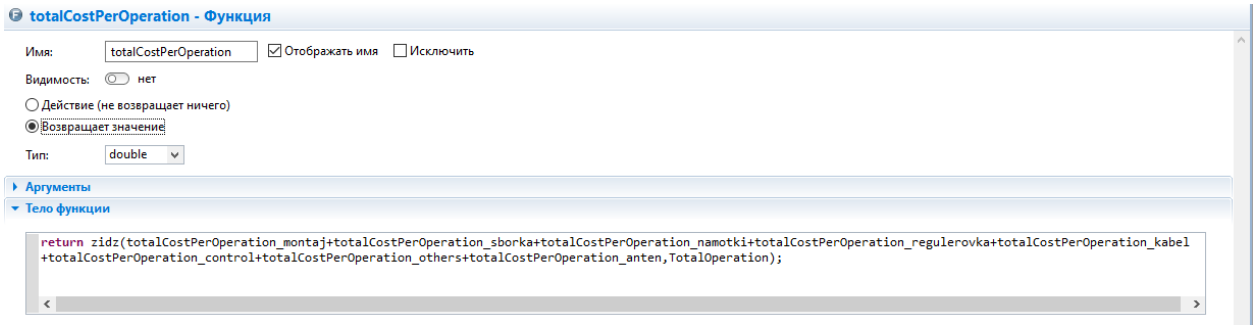


Рисунок 3.20 – Задание целевой функции

Для определения значений параметров, позволяющих достигать максимальную эффективность необходимо провести оптимизационный эксперимент на базе разработанной имитационной модели. С помощью блока оптимизации найдем рационально лучшее количество рабочих мест,

при условии работы в одну с мену по исходным данным из базы данных. Ограничения целевой функции автоматически установлены в параметрах оптимизационного эксперимента на основании производственных параметров, участвующих в имитационной модели построенного производственного процесса. Реализация модели приводит к получению численных решений для конкретных условий входных параметров. Расчет функции с разными вариантами входных параметров занимает достаточно много времени. Средства имитационного моделирования позволяют в короткие сроки моделировать изучаемые процессы, параметры которого могут рассчитываться при различных входных данных.

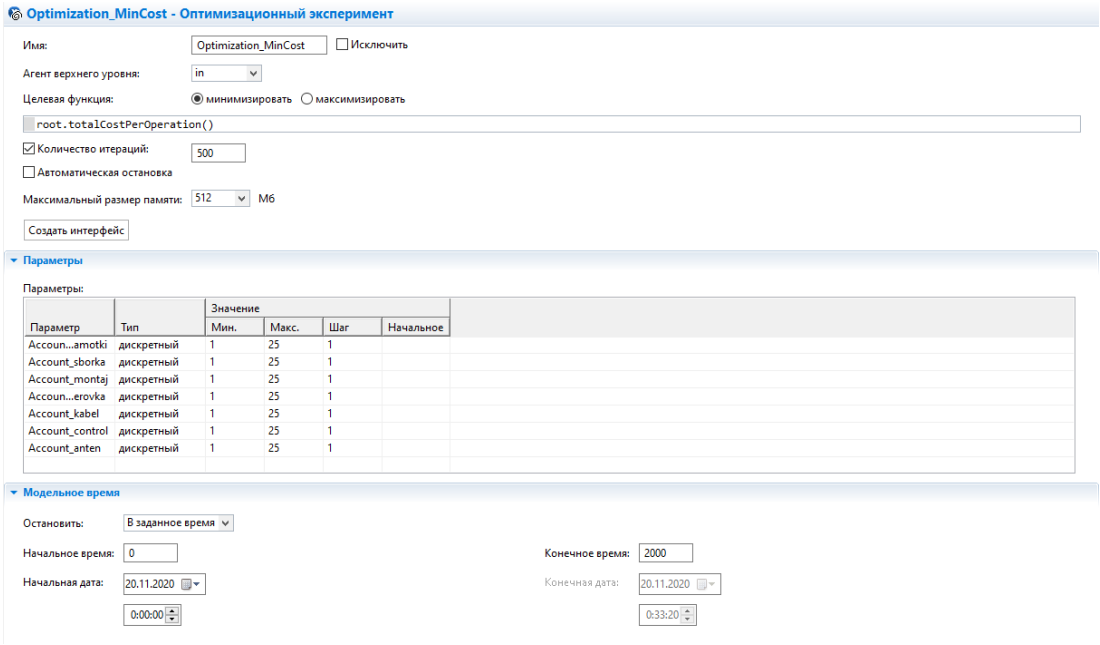
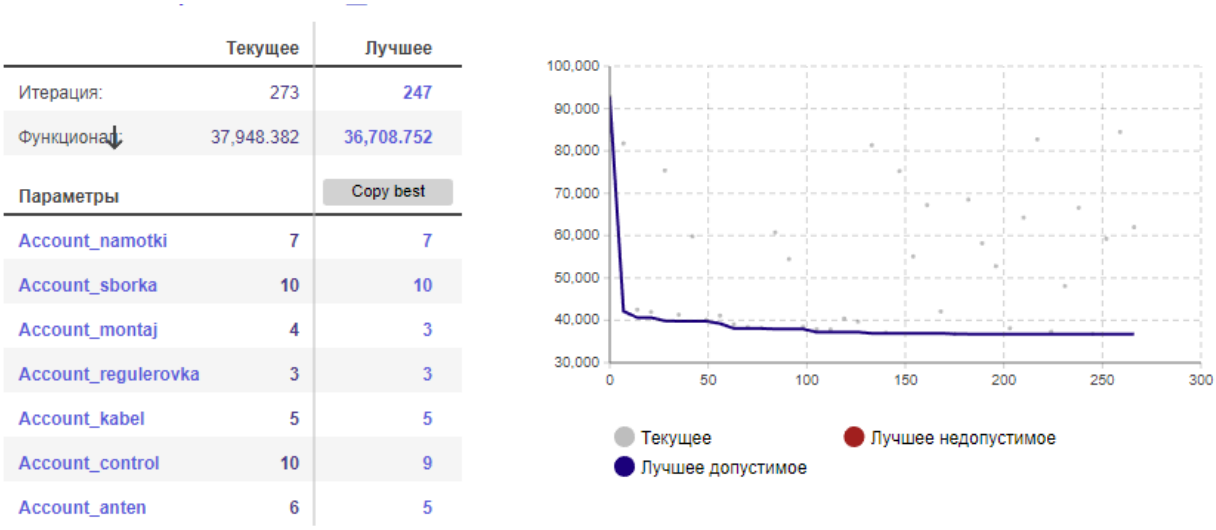


Рисунок 3.21 – Окно настройки оптимизационного эксперимента

На рисунке 3.21 представлен процесс настройки вариативности параметров, подлежащих анализу. Для того чтобы модель могла обрабатывать данные, все интересующие нас параметры оптимизации должны быть спроектированы в модели с помощью переменных. Для варьируемых параметров установим тип дискретный и зададим минимальное, максимальное значение, а так же величину шага и начальное значение. В качестве целевой функции задаем минимизацию стоимости каждой операции. По итогам оптимизационного эксперимента (рис 3.22.) количество рабочих по каждому участку определено:

- участок регулировки– 3;
- антенный участок– 5;
- участок кабельной продукции– 5;
- участок намотки и пропитки– 7;
- участок монтажа– 4;
- участок сборки–10;
- выпускной участок– 9 .



	Текущее	Лучшее
Итерация:	273	247
Функционал:	37,948.382	36,708.752
Параметры		Copy best
Account_namotki	7	7
Account_sborka	10	10
Account_montaj	4	3
Account_regulerovka	3	3
Account_kabel	5	5
Account_control	10	9
Account_anten	6	5

Рисунок 3.22 – Отчет по оптимизации

Результаты моделирования показывают корректность разработанной ранее карты потока создания ценности будущего состояния и позволяют выдвинуть следующие критерии эффективности работы монтажно-сборочного цеха:

1. Динамика OEE – рост общей эффективности использования оборудования.

2. Динамика MTBF (наработка на отказ по отдельным рабочим местам), MTTR (общая отказоустойчивость) – повышение равномерности загрузки рабочих мест за счет поучасткового планирования.

3. Достижение заданного времени переработки НЗП в потоке создания ценности.

4. Увеличение доли комплектующих изделий, поставленных в поток вовремя.

5. Рост доступности оборудования.
6. Сокращение интервала между поломками.
7. Сокращение вынужденных простоев.

3.5 Выводы по главе 3

1.Разработана математическая модель монтажно-сборочных процессов в виде СМО.

2. Произведен анализ производственной структуры монтажно-сборочного цеха и собраны исходные данные для разработки имитационной модели.

3. На основании полученной математической модели и исходных данных разработана имитационная модель динамического распределения ресурсов МСП при решении задачи оперативного планирования.

4. Проведен оптимизационный эксперимент для поиска минимума производственных затрат по заказу. Созданная имитационная модель динамического распределения ресурсов МСП позволяет проверить реализуемость составленного производственного плана, а также рассчитать ожидаемые сроки выполнения заказа в идеальных условиях.

4 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МОНТАЖНО-СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

4.1. Метод синхронного планирования

Статическое производственное планирование не удовлетворяет производственным потребностям гибкого многономенклатурного производства, предполагающего динамическое изменение проектно-производственной цепочки в процессе реализации жизненного цикла производимого изделия. Такой подход к оперативно-производственному планированию отличается отсутствием обратной связи с рабочих мест, что приводит к задержкам из за недостатка комплектующих, к переполнению буферных зон в цехах изготовления и сборки, срывам сроков изготовления и даты поставки.

Реализация модуля синхронного оперативного планирования производства, предполагает анализ текущего состояния производственной цепочки и уровня загрузки складских ресурсов в связи с потребностью в:

– интеграции средств информационной поддержки производства и физической реализации производственной цепочки в единую систему, обеспечивающую актуальное представление производственных данных;

– учете динамики изменения параметров производственной цепочки, связанных с изменением производственного плана, требований заказчика к производимому изделию, корректировкой производственной программы и изменением технико-экономических характеристик производственного оборудования.

Существование и использование автоматизированной системы планирования само по себе не решает проблему синхронизации. Без синхронизации систем планирования с реальными производственными данными, разработки и внедрения соответствующих методов эффективное планирование не осуществимо.

Одним из перспективных направлений развития систем производственного планирования гибких производственных цепочек является интеграция имитационных моделей в процесс планирования производства. Использование имитационной модели производственного процесса позволяет оценивать модифицированные и альтернативные версии оперативно-производственного плана на предмет обеспечения надежности производственного плана, удовлетворения текущих потребностей производственного процесса и требований заказчика. Надежность производственного плана можно определить путем сравнения достигнутых показателей эффективности производственной системы с ожидаемыми при наличии внешних воздействий, связанных с изменением производственной цепочки и технико-экономических характеристик используемого оборудования.

Внедрение имитационной модели производственного процесса также предполагает ее регулярное обновление в режиме реального времени с учетом текущих данных из производственной системы. Для обеспечения актуализации имитационной модели производственного процесса используются средства мониторинга состояния производственного оборудования и складских мощностей. При этом наблюдается двунаправленная корреляция между текущим состоянием производственного оборудования и эффективностью реализации производственной программы

На рис. 4.1 и 4.2 представлены блок-схемы оперативного планирования для производства на заказ.

На рис. 4.1. и 4.2 приняты следующие аббревиатуры:

– ПП – производственный процесс;

– ОПП – оперативный производственный план;

– ОО – объект обработки;

– ИМ ПП – имитационная модель производственного процесса;

– НП – незавершенное производство;

– НП ОО – незавершенное производство объектов обработки.

Далее под литерой «А» понимается текущий этап производственного процесса, под литерой «В» – этап производственного процесса, следующий непосредственно за текущим этапом «А» в соответствии с принятой для данного изделия или группы изделий производственной цепочкой.

Рассмотрим процедуры оперативного планирования для производства на заказ:

1. Запуск процедуры имитационного моделирования производственного процесса. Имитационная модель представляет собой одноканальную систему массового обслуживания с неограниченной длиной очереди, предоставляющую динамическое представление моделируемого производственного процесса, позволяющую оценить ключевые параметры формируемого производственного плана и определить возможные источники потерь.

2. Ввод эталонных параметров производственного процесса.

3. Формирование оперативно-производственного плана, предполагающее выполнение следующих операций, последовательность выполнения которых представлена на рис. 4.3:

– ввод фактического значения уровня запасов незавершенного производства объектов обработки для рассматриваемого производственного процесса в целом;

– выбор типа изделия из заданной номенклатуры;

– ввод требуемого уровня запасов объектов обработки, необходимых для обеспечения этапа В производственного процесса;

– выгрузка фактического уровня запасов незавершенного производства объектов обработки для потока перемещения объектов обработки от этапа А к этапу В;

– расчёт предельно допустимого уровня запасов незавершенного производства объектов обработки для потока перемещения объектов обработки от этапа А к этапу В;

– ввод требуемого уровня запасов объектов обработки, формируемого этапом А в соответствии с потребностями этапа В ;

– для всех этапов производственного процесса изделия выбранного типа из заданной номенклатуры выполняются операции до выполнения условия;

– распределение этапов производственного процесса для выбранного типа изделия по рабочим местам;

– определение приоритета выполнения этапов производственного процесса в производственной цепочке;

– выбор начального этапа производственного процесса в производственной цепочке;

– для всех типов изделий из заданной номенклатуры выполняются операции до выполнения условия;

– завершение процедуры формирования оперативно-производственного плана.

4. Преобразование параметров производственного процесса и оперативно-производственного плана в формат параметров имитационной модели производственного процесса. При выполнении данной процедуры преобразованию подвергаются эталонные параметры производственного процесса и параметры оперативно-производственного плана.

5. Имитационное моделирование производственного процесса в соответствии с оперативным производственным планом.

6. Проверка на наличие изменений параметров производственного процесса, при этом регистрируются изменения следующих параметров:

– уровень запасов объектов обработки, доступных для передачи на рабочее место;

– уровень запасов незавершенного производства объектов обработки; – время, необходимое для завершения технологических операций;

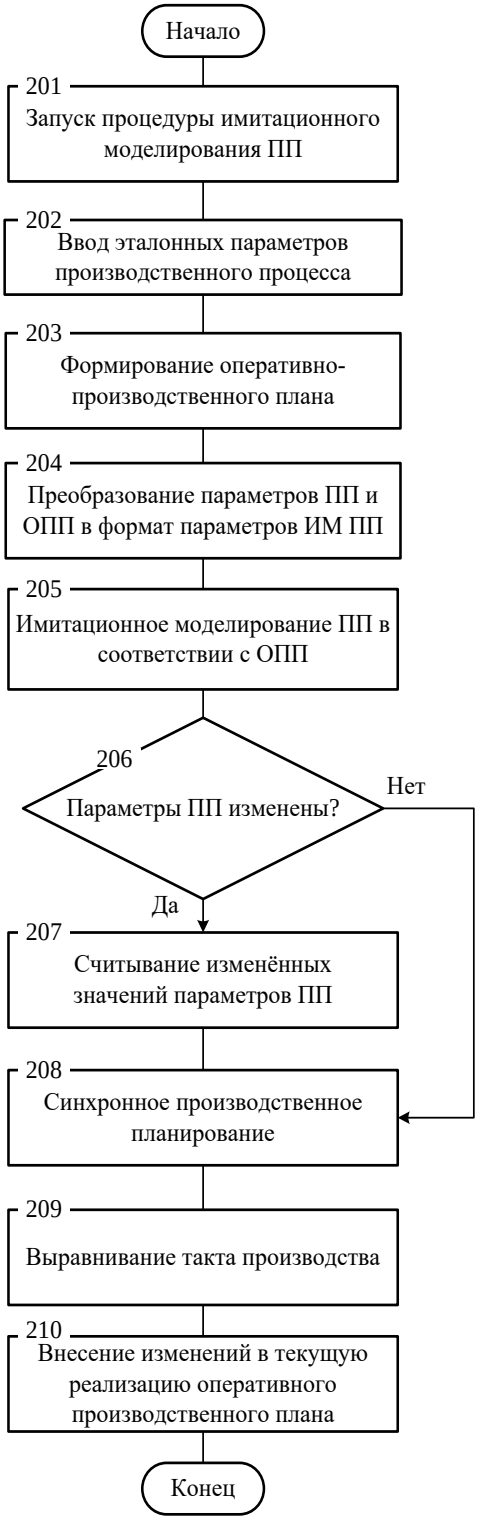


Рисунок 4.1 – Блок-схема производственного планирования

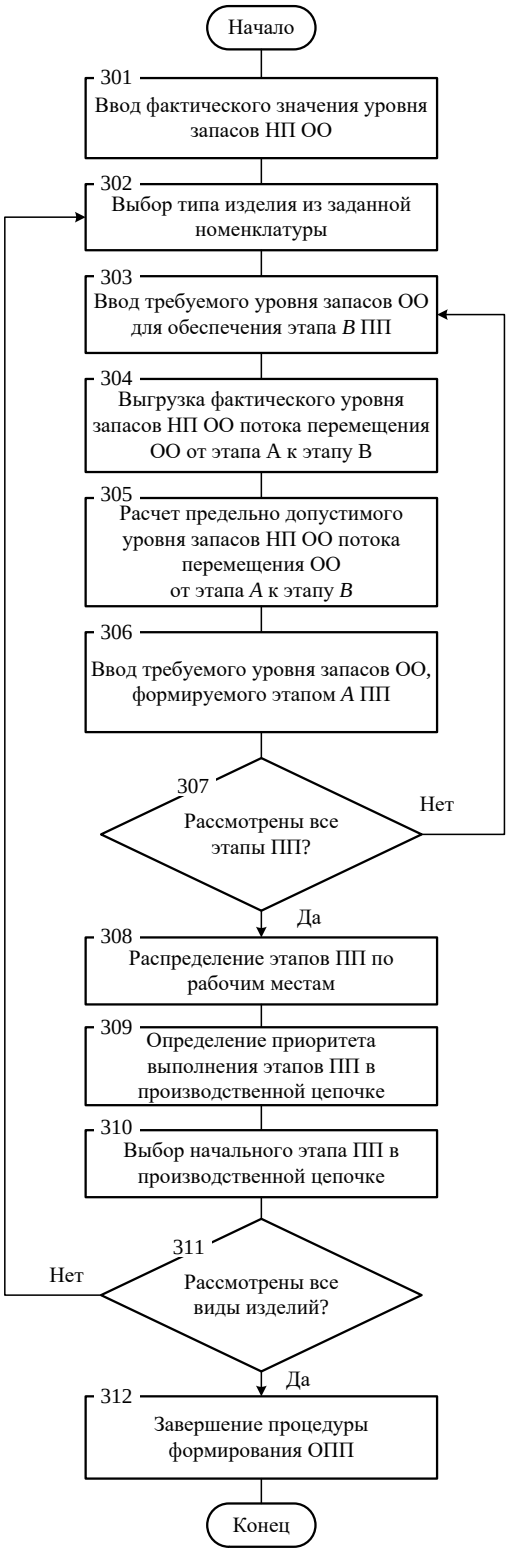


Рисунок 4.2 – Блок-схема формирования оперативно-производственного плана

– время, необходимое на подготовку данного рабочего места к выполнению технологической операции;

– частота отгрузки объектов обработки для данного рабочего места.

7. Считывание измененных значений параметров производственного процесса при наличии изменений параметров производственного процесса по сравнению с оперативно-производственным планом.

8. Синхронное производственное планирование предполагает выполнение следующих операций (рис.4.3)

– расчёт целевых показателей уровня запасов незавершенного производства объектов обработки;

– проверка на соответствие фактического уровня запасов незавершенного производства объектов обработки целевому уровню запасов объектов обработки, задействованных в незавершенном производстве, который необходимо достигнуть;

– увеличение доступного объема складских мощностей для размещения запасов незавершенного производства объектов обработки и устранение узких мест в текущей реализации производственного процесса с использованием метода статистического анализа пропускной способности ;

– преобразование изменённых параметров производственного процесса в формат параметров имитационной модели с последующими моделированием производственного процесса с измененными значениями параметров;

– обратное преобразование параметров имитационной модели производственного процесса в формат параметров производственного процесса и оперативно-производственного плана;

– по результатам имитационного моделирования определяются требуемые значения показателей запасов незавершенного производства объектов обработки, с учетом внесенных в производственный процесс изменений и результатов процедуры синхронного производственного планирования в целом.

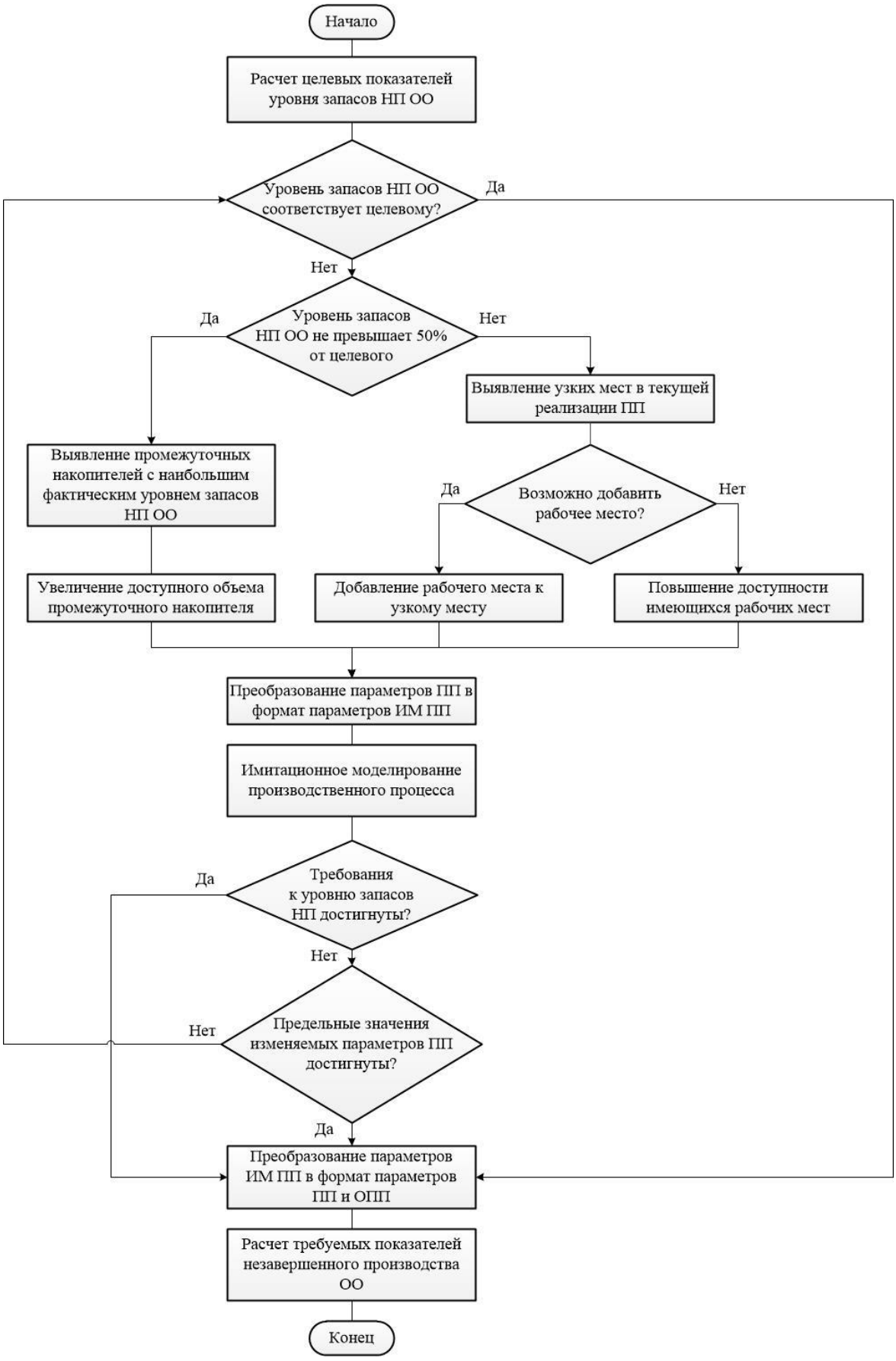


Рисунок 4.3 – Блок схема синхронного производственного планирования

9. Выравнивание такта производства с использованием выталкивающей и вытягивающей моделей производственного процесса представлено на рисунке 4.4.

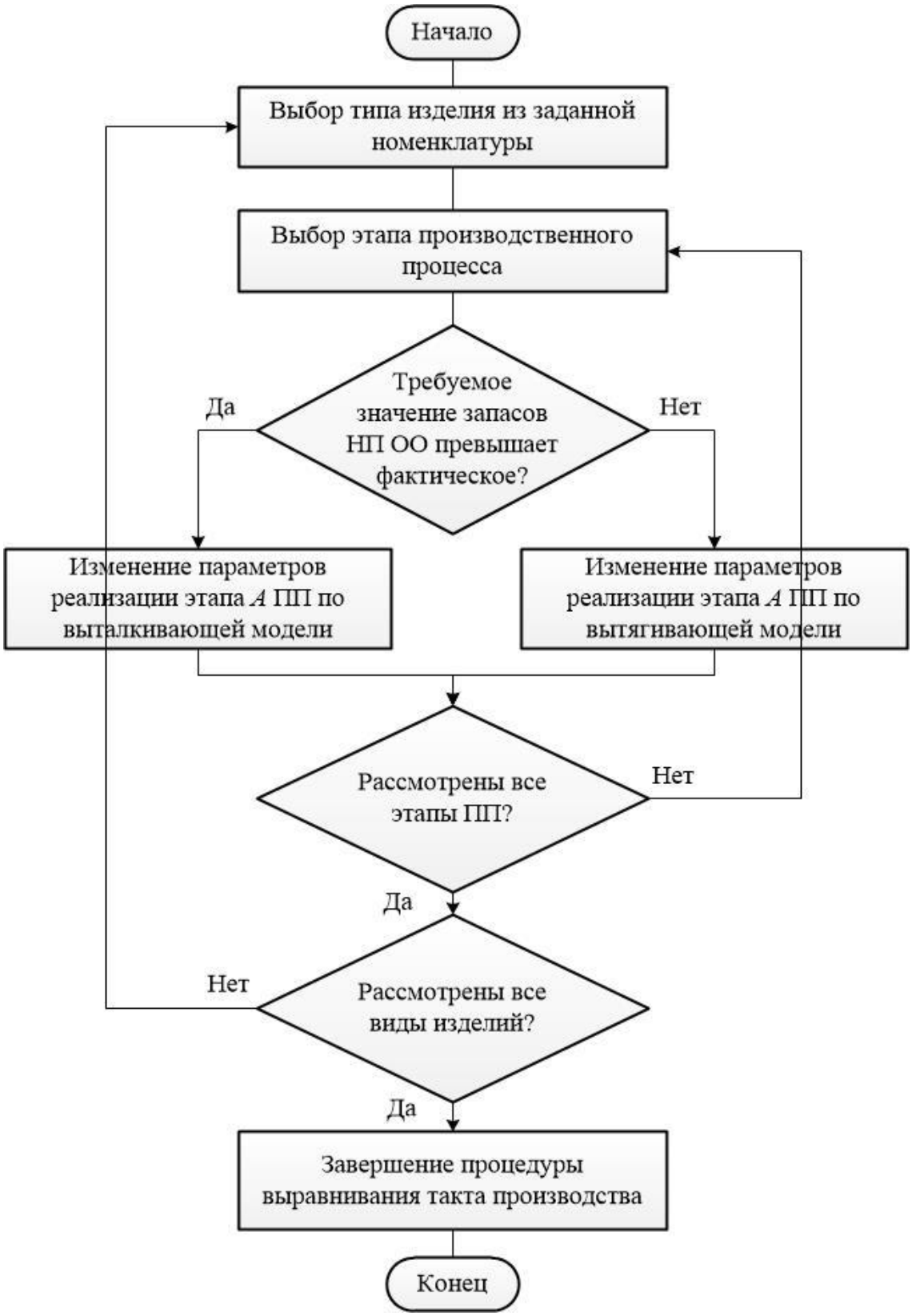


Рисунок 4.4 – Блок схема выравнивания такта производства

10. Внесение изменений в текущую реализацию оперативно-производственного плана с учетом результатов выполнения процедур синхронного производственного планирования и выравнивания такта производства.

Предложенный метод лег в основу реализация модуля синхронизации.

4.2 Реализация программного комплекса

Метод динамического мониторинга МСП описан в главе 2.3. Данный метод положен в основу работы модуля ДКПСЦ. Для работы модуля формирования КПСЦ необходимо преобразование текущих параметров имитационной модели производственного процесса в формат параметров карты потока создания ценности.

Таблица 11 – Соотношение данных производства как СМО и КПСЦ

Атрибуты СМО	**Данные КПСЦ**
Обслуживающие устройства	Последовательность операций
Время обслуживания	Время цикла + Время переналадки
Тип и количество ресурса	Количество операторов, выполняющих каждый процесс
Доступность обслуживающих устройств	-Доступное рабочее время на каждой рабочей станции - Количество рабочих дней в месяце - Количество смен на каждое рабочее место
Транзакты	Размер партии
Размер очереди	Вместимость очереди не ограничена
Дисциплина очереди	FIFO- первый пришел, первый вышел
Частота поступления заявок	Количество товаров, заказанных покупателем

При выполнении данной операции преобразованию подвергаются следующие текущие параметры имитационной модели производственного процесса:

– последовательность обслуживающих устройств;

– время обслуживания заявки;

– тип и объем доступных ресурсов;

– доступность обслуживающих устройств для обработки заявок;

– свойства динамических объектов системы массового обслуживания;

– дисциплина обслуживания очереди;

– частота поступления заявок на обслуживание.

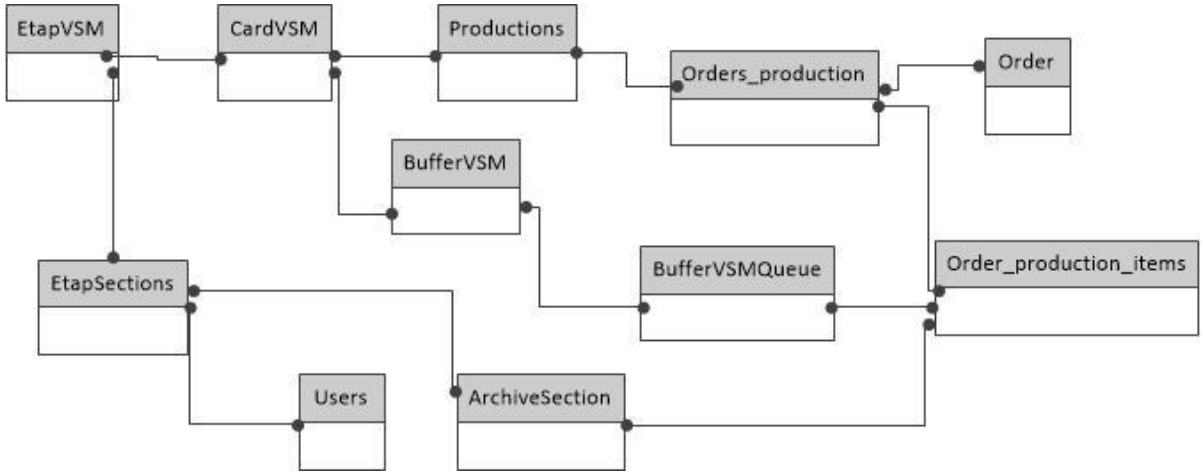


Рисунок 4.5 – Структура базы данных автоматизированной системы

Структура базы данных (рис.4.5) включает себя таблицу «CardVSM» описывающую карту потока создания ценностей конкретного продукта. Данная таблица включает следующие поля: «ProductionsId» – указателя в каком продукте используется данная операция с буфером, «EtapNumeric» – число указывающая на последовательность секций в карте, для реализации параллельных операций, «BufferVSM» – указатель на буфер который используется в данной карте по данному продукту из всех буферов которые существуют в системе (внешний ключ), «EtapVSM» – указатель на операцию, которая выполняется в данной карте по данному продукту из всех операций в системе

(внешний ключ). В таблице «EtapVSM» дана информация по технологическим операциям: имя, время цикла.

Таблица 12 – Содержание таблицы CardVSM

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
ProductionsId	Указатель, в каком продукте используется данная операция с буфером (внешний ключ)
EtapNumeric	Число указывающая на последовательность секций в карте, для реализации параллельных операций (внешний ключ)
BufferVSM	Указатель на буфер, который используется в данной карте по данному продукту из всех буферов, которые существуют в системе (внешний ключ)
EtapVSM	Указатель на Операцию, которая выполняется в данной карте по данному продукту из всех операций в системе (внешний ключ)

Таблица 13 – Содержание таблицы EtapVSM

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
Name	Имя технологической операции
Description	Краткое описание технологической операции
AcualTimeCircle	Актуальное время цикла данной операции, динамически изменяемая величина
DefaultTimeCircle	Начальное замеренное время цикла операции, является константой
ActualTimePreporation	Актуальное время переналадки оборудования на всем технологическом процессе
DefaultTimePreporation	Начальное замеренное время переналадки оборудования на всем технологическом процессе

Parallel	Булева переменная, указывающая на наличие параллельных технологических операций внутри операции
ActualAvailability	Актуальная доступность оборудования
DefaultAvalibility	Доступность оборудования по умолчанию
EtapSectionId	Указатель на параллельные рабочие центры внутри технологической операции.

Таблица 14 – Содержание таблицы EtapSections

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
Work	Булева переменная показывающая состояние рабочего центра в работе (Да / Нет)
User	Указатель на рабочего или оборудование связанный с данной операции (внешний ключ)
TActual	Актуальное время выполнения взятого заказа на данной технологической операции у данного рабочего или оборудования
TMax	Время, максимально затраченное для выполнения данной операции у конкретного рабочего или оборудования
TMin	Время, минимально затраченное для выполнения данной операции у конкретного рабочего или оборудования
EtapVSMiD	Внешний ключ, указывающий к какой операции в карте используется данный рабочий или оборудование

Таблица 15 – Содержание таблицы Users

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
Name	Имя рабочего или оборудования
Surname	Фамилия рабочего
Email	Почта для авторизации

Password	Пароль для авторизации

Таблица 16 – Содержание таблицы ArchiveSection

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
ArchiveSectionRole	Флаг, указывающий на актуальное состояние заказа принятого к работе на данной операции у конкретного рабочего или оборудования
Time	Актуальное время выполнения конкретного заказа
EtapSectionsId	Внешний ключ, указывающий к какой операции и к какому рабочему относиться данная история заказов
Order_production_items	Внешний ключ указывающий на заказ который должен обработаться

Таблица 17 – Содержание таблицы BufferVSM

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
Name	Название буфера
Type	Размерность единиц вещей в буфере
MinHold	Минимальное число удерживания единиц в буфере
Max	Максимальное число в буфере
Value	Актуальное количество единиц в буфере
ValueDefault	Начальное количество единиц в буфере
ReplenishmentSec	Время по истечению, которого буфер с запасами полоняется
ReplenishmentCount	Количество единиц, которое должно полонится по истечению времени пополнения

Таблица 18 –Содержание таблицы BufferVSMQueue

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
BufferRole	Флаг, показывающий в каком состоянии находится заказ в Ожидании или в Архиве
TAdd	Время добавления в очередь
TPop	Время извлечения из очереди на обработку
TWait	Время ожидания
TFuture	Время, спрогнозированное для извлечения из очереди на обработку
Order_production_itemsId	Внешний ключ, указывающий на заказ
BufferVSMId	Внешний ключ, указывающий какому буферу принадлежит данная очередь

Таблица 19 – Содержание таблицы Productions

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
Name	Название продукта

Таблица 20 – Содержание таблицы Orders_production

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
OrderRole	Флаг, указывающий на состояние заказа по конкретному продукту: в ожидании, в работе, в архиве
Priority	Приоритет заказа
Quantity	Количество единиц в заказе по конкретному продукту
TAdd	Время добавления заказа в систему
TStart	Время запуска симуляции

TStop	Время остановки симуляции или получения ценности
TActual	Время актуальное после запуска симуляции
TPlan	Время получения ценности по умолчанию
TFuture	Время, спрогнозированное получения ценности
ProductionId	Внешний ключ, указывающий на продукт
OrderId	Внешний ключ, указывающий на заказ

Таблица 21 – Содержание таблицы Order

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
Name	Имя или номер заказа
OrderRole	Флаг, указывающий на состояние заказа по конкретному продукту: в ожидании, в работе, в архиве
Priority	Приоритет заказа
TAdd	Время добавления заказа в систему
TStart	Время запуска симуляции
TStop	Время остановки симуляции или получения ценности
TActual	Время актуальное после запуска симуляции
TPlan	Время получения ценности по умолчанию
TFuture	Время, спрогнозированное получения ценности

Таблица 22 – Содержание таблицы Orders_production_items

Название поля	Значение
ID	Внутренний ключ для внешнего подключения к другим таблицам
OrderRole	Флаг, указывающий на состояние заказа по конкретному продукту: в ожидании, в работе, в архиве
Priority	Приоритет заказа
Part	Часть в партии заказа
TStart	Время запуска симуляции
TStop	Время остановки симуляции или получения ценности

TActual	Время актуальное после запуска симуляции
TPlan	Время получения ценности по умолчанию
TFuture	Время, спрогнозированное получения ценности
Simulation	Флаг, указывающий на моделирование
Orders_productionId	Внешний ключ, указывающий к какому заказу по какому продукту относится данная единица заказа

Графическая реализация алгоритмического обеспечения автоматизированного модуля для создания динамических диаграмм потока создания ценности, позволяет:

-формировать заказы, с учетом приоритета и количества продукции входящей в заказ;

-формировать параметры технологического процесса для каждого типа продукции;

-просматривать ход производства каждого заказа в виде карты потока создания ценности;

-отслеживать соответствие сроков выполнения заказов;

-оценивать загрузку производства;

-оценивать срок исполнения заказа;

-контролировать в динамике ход выполнения операций по каждому заказу;

-анализировать узкие места на производстве.

На рисунке 4.6. приведена структура меню, с основными доступными функциями.

Рисунок 4.6 – Структура интерфейса системы

Основной экран рабочего окна предназначен для отслеживания динамики выполнения заказов в производстве. Разработанная база данных позволяет отображать общий список заказов на производстве, заказов в работе, заказов в архиве. Вид основных кнопок навигации разработанного интерфейса приведен на рисунке 4.8.

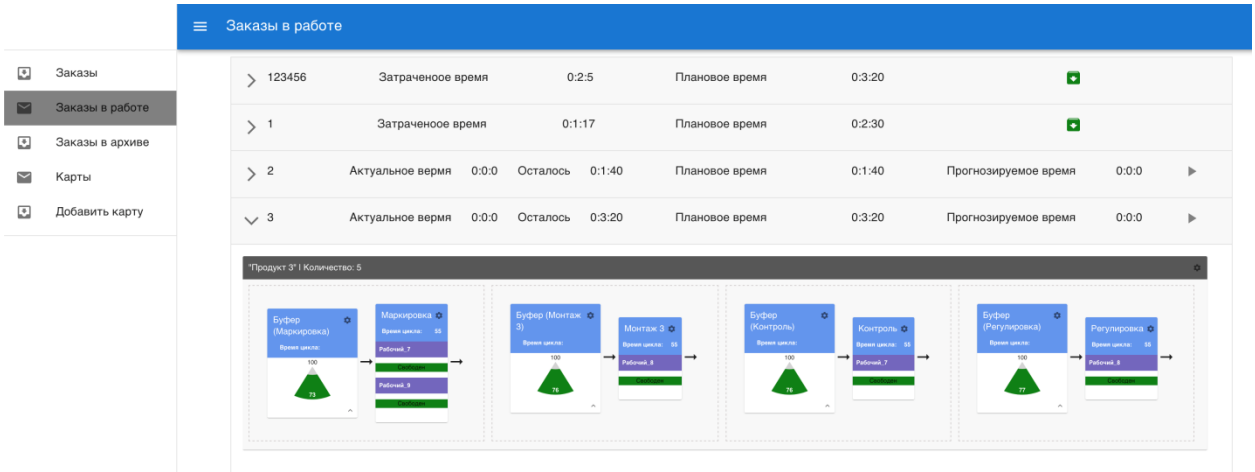


Рисунок 4.7 – Вид основного рабочего окна

Сформировать новый заказ возможно при нажатии кнопки « +», где вводятся параметры заказа, количество и тип продукции, приоритет (рисунок 4.9) .При нажатии кнопки « Сформировать» создается заказ в системе, но заказ при этом окрашен серым цветом, что значит, что данный заказ только сформирован, но не добавлен в производство и симуляция данного заказа не запускалась.

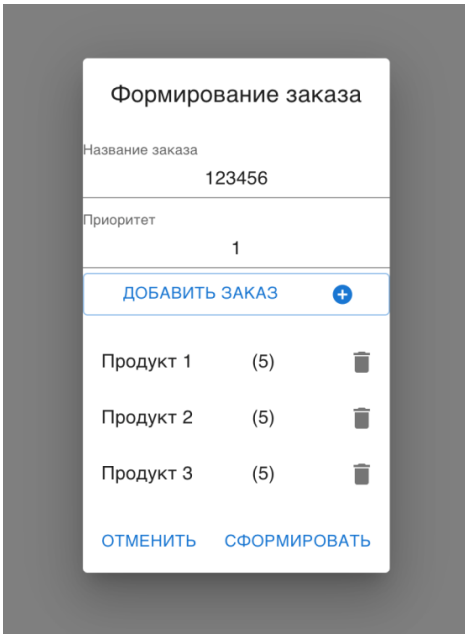


Рисунок 4.8 – Формирование нового заказа

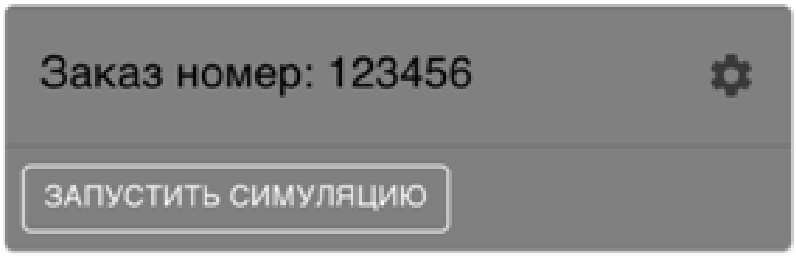


Рисунок 4.9 – Неактивный заказ

Для того чтобы пользователь мог оценить реальность выполнения созданного заказа в срок и нагрузку на производственную систему после добавления нового заказа, необходимо запустить симуляцию.

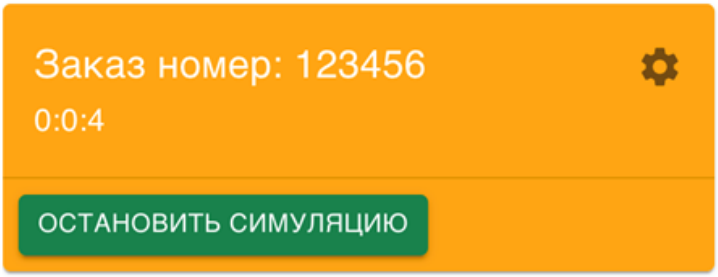


Рисунок 4.10 – Заказ в работе

На вкладке «Заказы в работе» можно увидеть список активных заказов, время выполнения заказа, плановое время (время к которому заказ должен быть готов по плану), прогнозируемое время(время завершения заказа с учетом загрузки производственных мощностей).

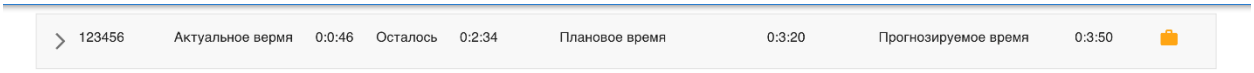


Рисунок 4.11 – Отображение заказа в виде строки

Заказы отображаются разными цветами, в зависимости от их статуса в системе. Так зеленым окрашивается заказ выполнение, которого не отстает от заданного планового времени. Желтым окрашиваются заказы с отставанием не более чем на 10% от планового времени, красным - более 10%. На вкладке навигации «Заказы в работе» отображаются выполняющиеся заказы, при этом показывается актуальное время работы заказа, сколько еще будет изготовляться заказ, учитывая текущую загрузку производственных мощностей.

Для того чтобы провести масштабирование и посмотреть динамическую карту для каждого заказа необходимо раскрыть строку заказа с вложенным окном. После раскрытия конкретного заказа, пользователь видит динамическую карту потока создания ценности. Активный этап подсвечен желтым цветом.

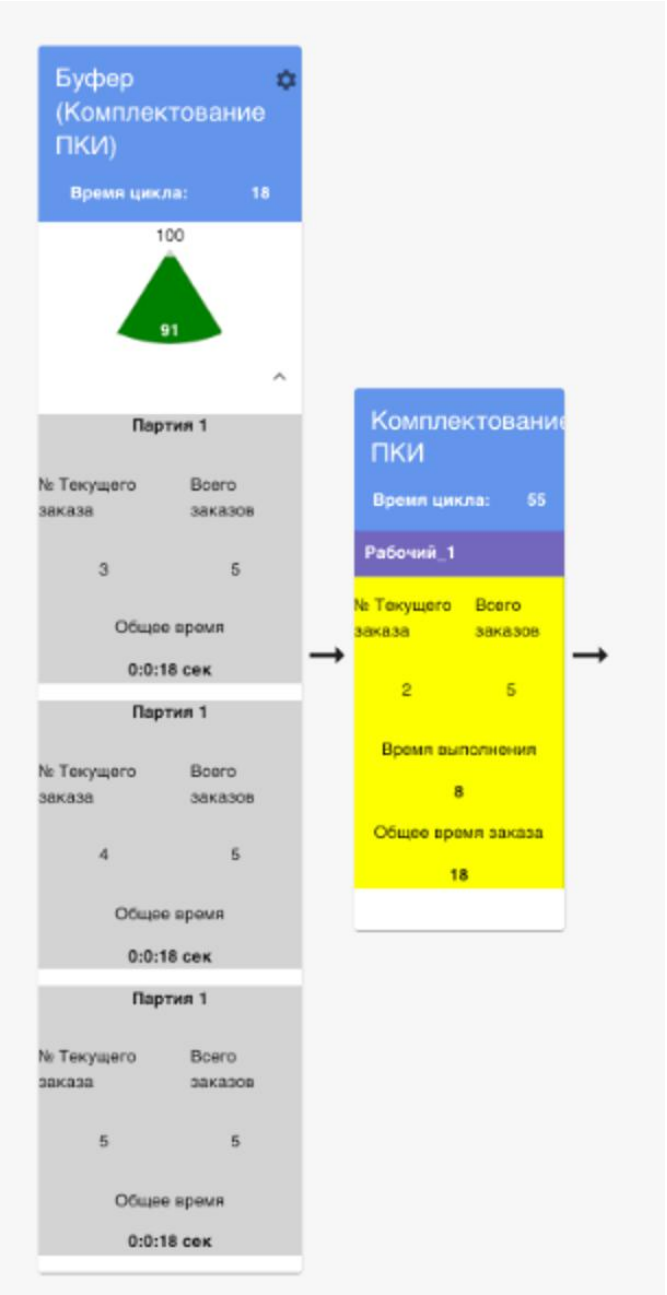
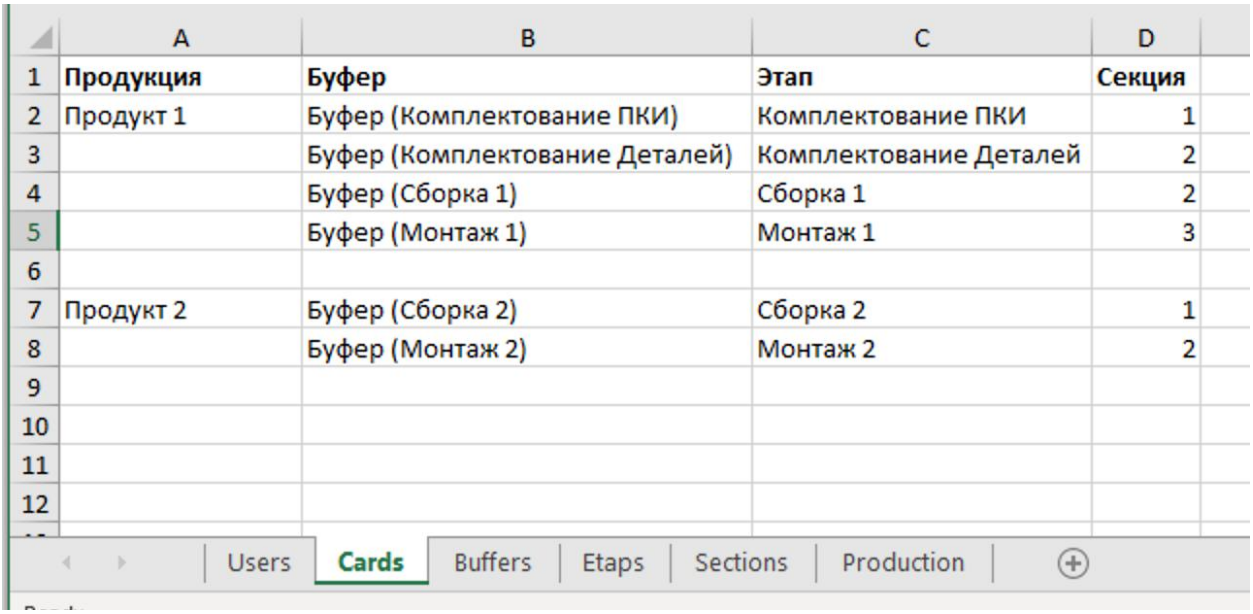


Рисунок 4.12 – Часть динамической карты потока создания ценности для заказа

Для созданий новой карты потока создания ценности, продукта, еще не существующего в системе должно быть использовано большое количество вводных данных. При нажатии на кнопку “Добавит карту” открывается страница куда пользователь может перенести Exel файл оформленный в определенном виде. Файл может выгружет из системы АСУП предприятия, содержащий информацию об этапах технологической цепочки, времени операций, рабочих местах, оборудовании. Вид подгружаемого файла, представлен на рисунке 4.13:



	A	B	C	D
1	**Продукция**	**Буфер**	**Этап**	**Секция**
2	Продукт 1	Буфер (Комплектование ПКИ)	Комплектование ПКИ	1
3		Буфер (Комплектование Деталей)	Комплектование Деталей	2
4		Буфер (Сборка 1)	Сборка 1	2
5		Буфер (Монтаж 1)	Монтаж 1	3
6				
7	Продукт 2	Буфер (Сборка 2)	Сборка 2	1
8		Буфер (Монтаж 2)	Монтаж 2	2
9				
10				
11				
12				

Users | Cards | Buffers | Etaps | Sections | Production

Рисунок 4.13 – Данные о технологическом процессе в виде exel- таблицы

Формирование карты берется из файла Exel из вкладки «Cards», где пользователь может указать неколько разных «Продуктов» и соотнести «Буферы» и «Этап» с ними на каких «Секциях» они будут, если число секций одинаковое, то данный этап и буфер будет выполняться параллельно. Вкладка «Users» задает информацию о рабочем центре или оборудовании с информацией об авторизации их в системе автоматизированного картирования.

4.3 Оценка эффективности

На рисунке 4.14. приведена схема взаимодействия информационных систем на этапах от разработки до производства изделия. В данную схему взаимодействия добавлена система планирования МСП. Автоматизированная система планирования МСП разработана с учетом предложенного метода мониторинга МСП, разработанной имитационной модели и метода синхронного оперативного планирования.

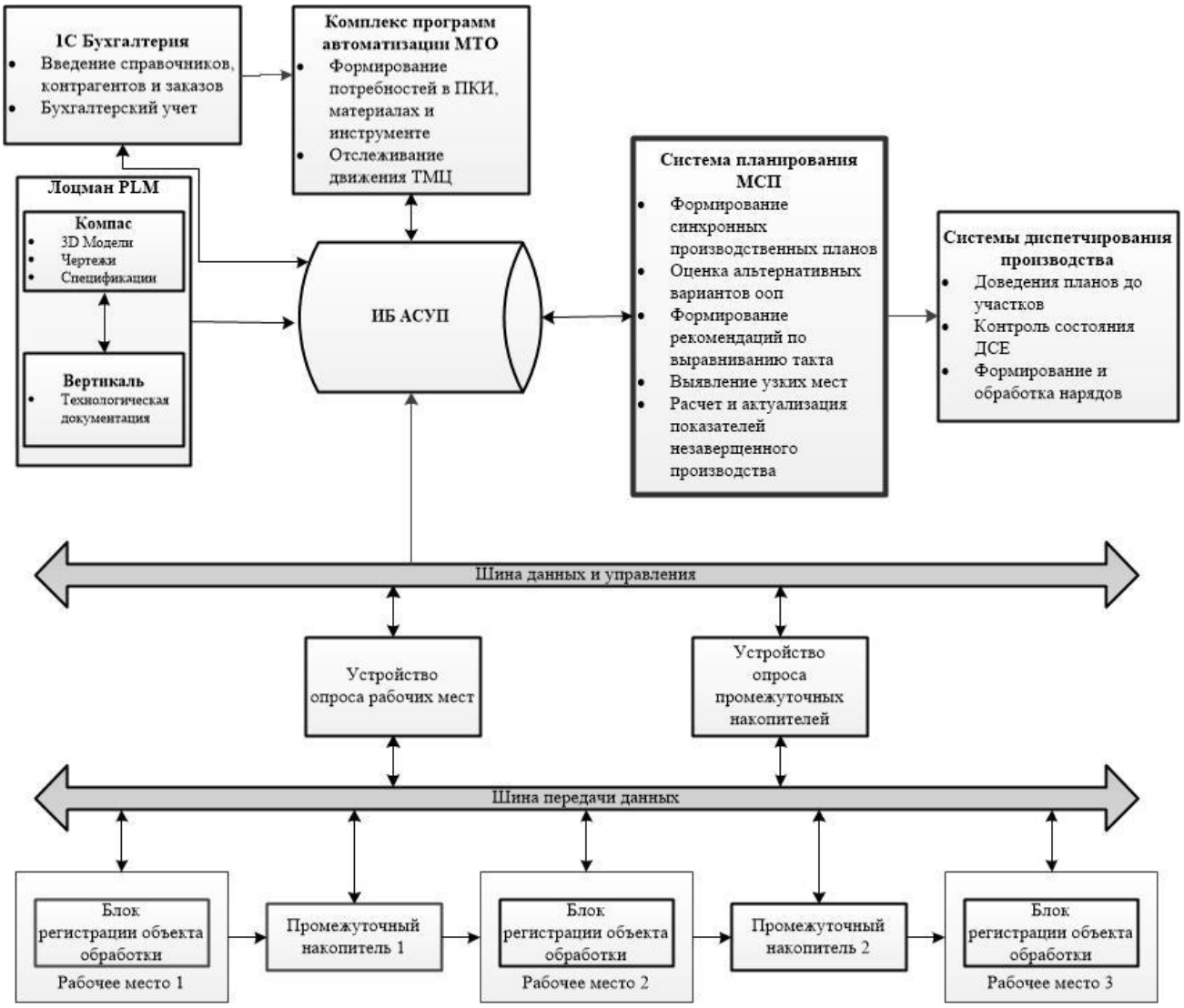


Рисунок 4.14 – Схема взаимодействия информационных систем

Разработанное программное обеспечение автоматизированной системы планирования монтажно-сборочных процессов позволяет:

- формировать и динамически обновлять карты потока создания ценности для заданной производственной цепочки;
- формировать рекомендации по выравниванию такта производственного процесса;
- выявлять узкие места в текущей реализации производственного процесса с формированием рекомендаций по их устранению и оценкой эффективности вносимых изменений в производственную цепочку;
- рассчитывать и актуализировать показатели незавершенного производства и оптимизации оперативно-производственного плана с целью снижения объемов незавершенного производства.

- формировать заказы, с учетом приоритета и количества продукции входящей в заказ;
- формировать параметры технологического процесса для каждого типа продукции;
- просматривать ход производства каждого заказа в виде карты потока создания ценности;
- отслеживать соответствие сроков выполнения заказов;
- оценивать загрузку производства;
- оценивать срок исполнения заказа;
- контролировать в динамике ход выполнения операций по каждому заказу.

Оценка эффективности использования разработанных методов строится исходя из достижения цели диссертационного исследования, а это разработка методов для повышения эффективности монтажно-сборочных процессов радиоэлектронной аппаратуры за счет автоматизации процессов оперативного планирования и управления. Основной особенностью оперативного планирования является необходимость обеспечения ритмичности и строгой повторяемости производственного процесса в целях его возобновления. Одним из основных показателей эффективности оперативного планирования является уменьшение длительности производственного цикла сборки изделия. Длительность производственного цикла – это период времени, в течение которого исходный материал превращается в готовую продукцию.

Внедрение и оценка эффективности проводилась на приборостроительном предприятие АО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь». Среди выпускаемой продукции системы и средства тропосферной и космической связи, бортовые средства связи, системы определения местоположения и ориентации на суше и море. Для апробации был выбран мотажно-сборочный цех и производство комплекта деталей Э 4010-20-0042. Продукт, выбранной номенклатурной группы,

имеют высокую перспективу на рынке, при этом доля продукта в общей доле продукции предприятия более 17%. В связи с перспективами развития предприятия, данный поток нуждается в оптимизации, т.к. необходимо наращивать его пропускную способность, как следствие снижать ВПП, и повышать выработку на участках потока.

Основными проблемами на данном участке являлись:

1. Низкая выработка на потоке – выталкивающая система;
2. Высокие затраты на хранение незавершенной продукции (объем незавершенной продукции более 700 шт);
3. Увеличенное время протекания процесса из-за проблем с логистикой и отсутствием СОК;

Целью внедрения автоматизированной системы синхронного оперативного планирования является сокращение времени производственного цикла, сокращение запасов незаверенной продукции и повышение выработки на потоке. Автоматизированная система позволила выявить следующие проблемы, влияющие на выработку на данном производственном участке:

1. Поставка деталей 1 раз в день;
2. Отсутствует сменное задание и график завоза деталей на каре по цехам;
3. Длительная отчистка деталей перед термообработкой;
4. В ходе работ обрабатывает одна деталь за раз;
5. Перемещение между цехами приводит к механическим повреждениям детали;
6. Освоение нарушает ритм производства;
7. Нехватка измерительных инструментов;
8. Детали долго лежат до обработки;

Внедренные изменения в производственный процесс, позволили достигнуть улучшения следующий показателей:

Таблица 23 – Результаты оценки длительности производственного цикла

Тип рабочего места	Название операции	Длительность операции ДО	Длительность операции ПОСЛЕ
686	СЛ-СБОРЩ.	22,02	20,02
70	ГРАВЕР	5,45	4,45
185	ТК.ГРАВЕРН	1,00	0,00
833	ШТАМП.	12,00	11,00
189	ТК.ХОЛ.ЦТМ	24,00	23,00
551	ПРОПИТЧИК	49,90	47,90
540	ПРИГОТ.РАС	426,30	388,30
343	МОНТ.Р/АП.	130,40	121,40
343	МОНТ.Р/АП.	300,00	275,00
686	СЛ-СБОРЩ.	60,05	57,05
686	СЛ-СБОРЩ.	84,00	78,00
343	МОНТ.Р/АП.	150,42	144,42
343	МОНТ.Р/АП.	100,00	94,00
686	СЛ-СБОРЩ.	19,80	18,80
266	МАРКИРОВ.	150,00	141,00
343	МОНТ.Р/АП.	30,00	28,00
201	ТК.РАДИОАП	12,34	11,34
686	СЛ-СБОРЩ.	6,00	5,00
582	РЕГУЛ.Р/АП	800,80	728,80
686	СЛ-СБОРЩ.	84,00	77,00
343	МОНТ.Р/АП.	18,00	17,00
582	ТК.РАДИОАП	150,00	137,00
201	СЛ-СБОРЩ.	79,71	73,71
582	РЕГУЛ.Р/АП	240,00	220,00
582	СЛ-СБОРЩ.	90,00	86,00

686	МОНТ.Р/АП.	30,42	29,42
582	РЕГУЛ.Р/АП	120,50	115,50
582	ТК.РАДИОАП	24,00	23,00
582	РЕГУЛ.Р/АП	60,51	58,51
201	ТК.РАДИОАП	102,00	95,00
686	СЛ-СБОРЩ.	60,61	56,61
343	МОНТ.Р/АП.	30,00	28,00
201	ТК.РАДИОАП	79,03	74,03
582	РЕГУЛ.Р/АП	30,00	29,00
201	ТК.РАДИОАП	6,00	5,00
686	СЛ-СБОРЩ.	12,86	11,86
343	МОНТ.Р/АП.	48,00	45,00
201	ТК.РАДИОАП	6,43	5,43
201	ТК.РАДИОАП	24,00	22,00
686	СЛ-СБОРЩ.	12,34	11,34
201	ТК.РАДИОАП	18,00	17,00
582	РЕГУЛ.Р/АП	30,09	29,09
201	ТК.РАДИОАП	78,00	72,00
582	РЕГУЛ.Р/АП	48,00	44,00
201	ТК.РАДИОАП	12,12	11,12
265	МАЛЯР-СТР.	34,00	31,00
191	ТК.МАМЕРН	2,63	1,63
686	СЛ-СБОРЩ.	60,00	57,00
201	ТК.РАДИОАП	5,00	4,00
Длительность производственного цикла		**3980,73**	**3684,67**

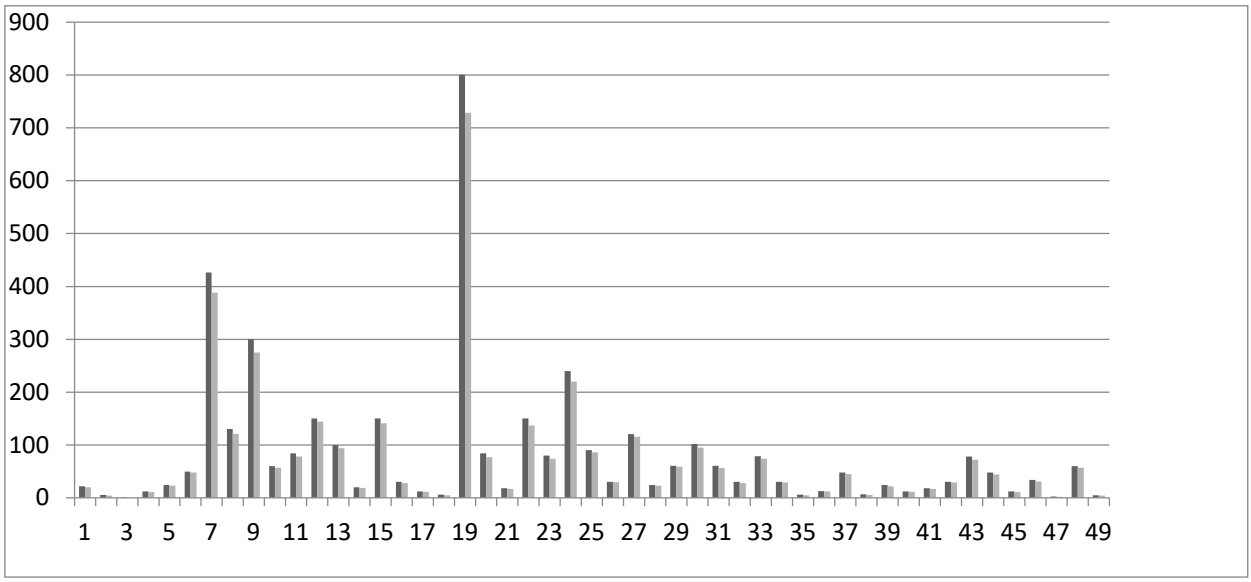


Рисунок 4.16 – Гистограмма сравнения длительности операций ДО и ПОСЛЕ использования системы

Таблица 24 – Результаты оценки числа НЗП по выпуску комплектующих деталей

День производственного цикла	НЗП деталь №1 ДО (шт)	НЗП деталь № 1 ПОСЛЕ (шт)	НЗП деталь № 2 ДО(шт)	НЗП деталь № 2 ПОСЛЕ (шт)	НЗП деталь № 3 ДО(шт)	НЗП деталь №3 ПОСЛЕ (шт)	НЗП деталь №4 ДО(шт)	НЗП деталь №4 ПОСЛЕ (шт)
1	17	4	1	2	1	2	9	10
2	18	11	5	5	0	1	15	6
3	22	1	5	2	0	0	6	5
4	18	5	2	1	1	1	15	10
5	19	6	3	0	1	1	13	11
6	16	5	3	3	1	2	2	1
7	14	10	2	3	1	1	5	10
8	10	15	0	4	2	0	6	6
9	2	5	1	5	2	2	9	5
10	1	13	4	0	0	2	10	11
11	21	17	7	2	1	1	1	1
12	21	20	4	3	2	1	6	1
13	1	15	4	0	0	0	10	10
14	5	21	5	4	2	1	5	7
15	6	2	0	1	2	1	8	9
16	17	20	4	5	2	2	5	14
17	14	14	7	7	2	1	6	11
18	10	8	0	0	2	2	4	4
19	22	14	4	0	2	0	3	4
20	4	17	5	6	2	2	2	10
21	8	11	2	7	1	0	11	5
22	10	8	7	4	0	0	12	7
23	14	12	0	3	2	1	3	14

24	12	1	4	2	2	1	8	1
25	15	19	0	4	2	1	4	2
26	17	18	2	7	0	2	15	12
27	11	14	2	2	0	0	5	7
28	16	19	6	6	0	0	2	2
29	9	21	2	2	1	3	9	3
30	18	18	5	1	1	2	4	10
Всего	**388**	**368**	**96**	**92**	**35**	**33**	**213**	**210**

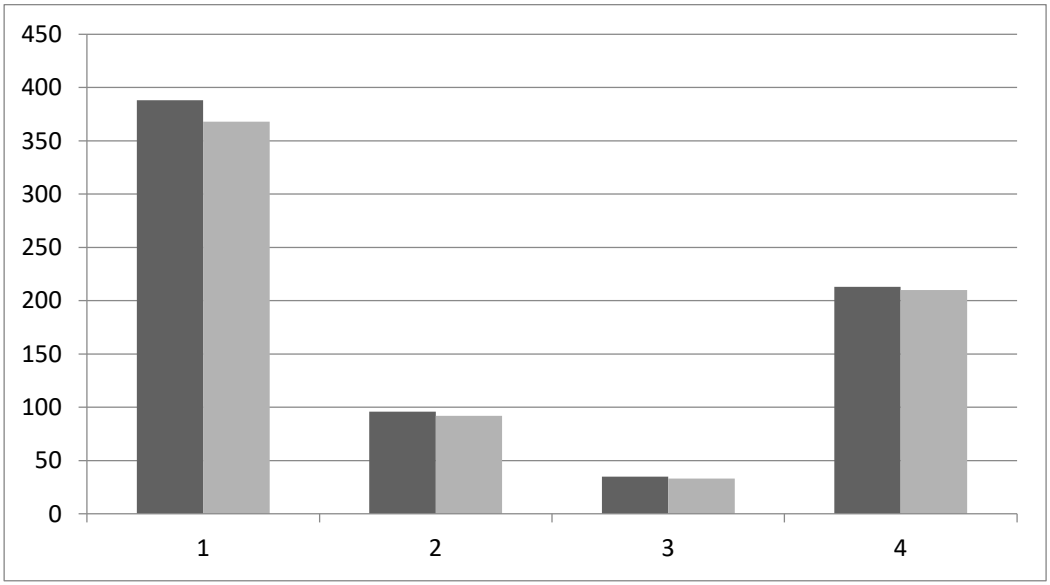


Рисунок 4.17 – Гистограмма сравнения объема НЗП по деталям в течение месяца ДО и ПОСЛЕ использования системы

Расчет показателей производительности труда дает характеристику деятельности производства отношением выхода продукции к затраченным на это ресурсам. Производительность труда является универсальным инструментом, одинаково эффективно применяемым для расчета результативности работы за любой заданный временной отрезок. Т.е., можно вычислить, какую пользу приносит рабочий за час активной деятельности, а также рассчитать его норму выработки за рабочую смену, месяц, год и т.д. Показатель разделяют на индивидуальную (т. е. показывающую выработку индивидуума) и локальную или среднюю производительность труда по компании или отрасли. При рассмотрении выработки коллективом рабочих применяют формулу : $B = O_n / K_{c,}$ где K_c – число специалистов., (O_n) – объем изделий произведенных коллективом. Известно, что число работников монтажно-сборочного цеха равно 150.

Таблица 25 – Результаты оценки производительности труда монтажно-сборочного цеха

День производственного цикла	Число произведенной продукция ДО	Число произведенной продукции ПОСЛЕ
1	16	12
2	8	11
3	11	10
4	2	14
5	6	8
6	19	20
7	17	1
8	6	7
9	6	10
10	17	17
11	14	10
12	18	21
13	1	4
14	7	13
15	12	6
16	5	5
17	20	18
18	10	8
19	9	2
20	12	1
21	8	22
22	10	22
23	16	20
24	6	16
25	14	11
26	1	2
27	8	18
28	5	2
29	15	5
30	4	3
Всего	303	319
Выработка цеха в месяц	2,02	2,12

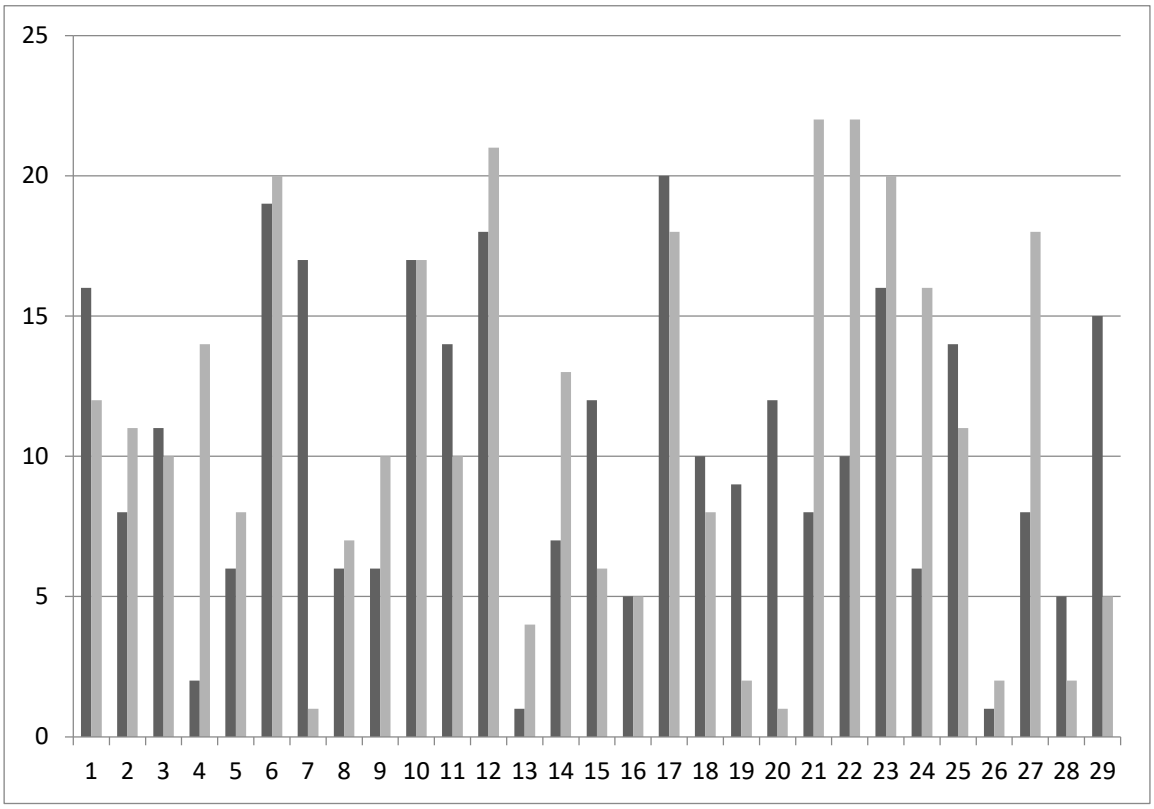


Рисунок 4.16 – Гистограмма сравнения числа выпущенной продукции ДО и ПОСЛЕ использования системы

Таблица 26 – Значения ключевых показателей до и после внедрения системы

Улучшаемые показатели:	До	После
Сокращение времени производственного цикла(минуты)	3980,73	3684,67
Выработка (шт./человек в месяц)	2,02	2,12
Сокращение незаверщенного производства (штуки)	732	703

4.4 Выводы по главе 4

1.Предложен метод синхронного оперативного планирования для монтажно-сборочных процессов, позволяющий сократить задержки с доставкой заказов, снизить простой оборудования, обеспечить равномерность загрузки, снизить задержки в выполнении производственных заказов, выровнять производственный такт. Предложенный метод основан на синхронизации систем планирования с реальными производственными

данными и оптимизацией производственных параметров по средствам имитационного моделирования. Комплекс, на основе предлагаемого метода, может работать автономно или внедриться в существующую информационную среду. Подход не ограничен рамками описанной предметной области и применим в других отраслях, требующих решения аналогичных производственных задач.

2. Описаны условия интеграции данных в специальный формат для построения из имитационной модели КПСЦ и обратно. Представлена структура базы данных для разрабатываемой автоматизированной системы.

3. Описан процесс разработки одного из программных компонентов автоматизированной системы планирования: модуля динамического картирования потока создания ценности.

4. Проведена апробация предложенных методов на приборостроительном предприятии АО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь». Использование разработанного программного продукта позволило сократить длительность производственного цикла на 8%, повысить производительность рабочих мест на 5% и сократить количество незавершенного производства на 4%. Проведенный анализ показывает повышение эффективности производственного процесса после внедрения автоматизированной системы, что говорит об эффективности разработанных методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы проведен комплекс исследований, направленных на повышение эффективности МСП производства радиоэлектронной аппаратуры. В ходе проведенного исследования получены следующие выводы и результаты:

1. Выполнен анализ методов повышения эффективности монтажно-сборочных процессов приборостроительного предприятия. Обоснована необходимость разработки методов, позволяющих автоматизировать процесс оперативного планирования монтажно-сборочных операций. Сформулирована математическая задача оперативного планирования.

2. Предложен метод мониторинга МСП, позволяющий обеспечить оперативный анализ узких мест, что позволяет повысить эффективность производственного процесса, уменьшить время производственного цикла, сократить число незаверенного производства.

3. Разработана имитационная модель монтажно-сборочного процессов для динамического управления ресурсами предприятия и решения задачи оперативного планирования. Применение модели позволяет проводить проверку реализуемости составленного производственного плана, а также рассчитать ожидаемые сроки выполнения заказа в идеальных условиях.

4. Предложен метод синхронного оперативного планирования МСП, синхронизирующий операции, выполняемые на рабочих местах за счет выравнивания такта на каждом этапе, позволяющий сократить задержки производства заказов, снизить простой оборудования, обеспечить равномерность его загрузки, выровнять производственный такт.

5. Разработано программное обеспечение автоматизированной системы планирования монтажно-сборочных процессов в виде комплекса программного обеспечения и проведена интеграция разработанного ПО с существующей АСУП на приборостроительном производстве. Оценка эффективности МСП показала, что применение разработанных методов позволило на 8% со-

кратить длительность монтажно-сборочного цикла, повысить производительность рабочих мест на 5% и сократить объем незаверенного производства на 4%. Производственная логистика».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голов, Р.С.Организация производства, экономика и управление в промышленности: учебник для бакалавров/ Р.С.Голов, А.П.Агарков, А.В.Мыльник. – М.:Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2019. – 858с.

2. Демура, Н. А. Организация производства и менеджмент: учеб. пособие для студентов направления бакалавриата 151000 -Технол. машины и оборудование/Н. А. Демура, Е. А. Никитина; БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. – 267 с.

3. Соломенцев Ю. М., Фролов Е. Б. Современные методы повышения эффективности машиностроительных производств //Технология машиностроения. – 2015. – №. 8. – С. 54-58.

4. Амелин, С.В. Организация высокотехнологичного производства конкурентоспособной продукции/ С.В. Амелин, И.В. Щетинина // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2017. – № 12 (137). – С. 25-36.

5. Gong C., Ribiere V. Developing a unified definition of digital transformation //Technovation. – 2021. – Т. 102. – С. 102217.

6. Загидуллин Р. Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. – 2011.

7. Алемасов Е. П., Зарипова Р. С. Цифровизация промышленности как инструмент повышения производства //Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2020. – №. 2. – С. 107-109.

8. Соломенцев Ю. М., Загидуллин Р. Р., Фролов Е. Б. Планирование в современных системах управления производством //Информационные технологии и вычислительные системы. – 2010. – №. 4. – С. 77-87.

9. Загидулин, Р.Р. Оптимальное управление качеством: монография/ Р.Р. Загидулин.- Старый Осокол:ТНТ,2012.-124с.

10. Stark J. Digital transformation of industry. – Geneva : Springer International Publishing, 2020.

11. Rossini M. et al. Lean Production and Industry 4.0 integration: how Lean Automation is emerging in manufacturing industry //International Journal of Production Research. – 2022. – Т. 60. – №. 21. – С. 6430-6450.

12. Gallo T. et al. Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review //Procedia Computer Science. – 2021. – Т. 180. – С. 394-403.

13. Абрамов В. И., Борзов А. В., Семенков К. Ю. Оценка готовности малых и средних предприятий к цифровой трансформации //Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12. – №. 3.

14. Ramadan M. et al. Industry 4.0-based real-time scheduling and dispatching in lean manufacturing systems //Sustainability. – 2020. – Т. 12. – №. 6. – С. 2272.

15. Naciri L. et al. Lean and industry 4.0: A leading harmony //Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 200. – С. 394-406.

16. Фролов Е. Б., Климов А. С., Мин З. М. М. Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории MES //Транспортное машиностроение. – 2018. – №. 12 (73). – С. 66-73.

17. Боровков А. И. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК //Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. – 2019. – №. 32. – С. 2-2.

18. Боровков А. И., Рябов Ю. А., Гамзикова А. А. Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении //Деловой журнал Neftegaz. RU. – 2020. – №. 6. – С. 30-36.

19. Абрамов В. И. и др. Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании //Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12. – №. 2.

20. Козловский В. Н. и др. Разработка ключевых элементов производственной системы машиностроительного производства //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – №. 3. – С. 241-248

21. Bueno A., Godinho Filho M., Frank A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review //Computers & Industrial Engineering. – 2020. – Т. 149. – С. 106774.

22. Zhang F. et al. Genetic Programming for Production Scheduling. – Springer Singapore, 2021.

23. Luo, H. Synchronized scheduling of make to order plant and cross-docking warehouse/H. Luo, X.Yang,K. Wang//Computers&Industrial Engineering. –2019–138 – Pp.106-108.

24. Ghiyasinasab M. et al. Production planning and project scheduling for engineer-to-order systems-case study for engineered wood production //International Journal of Production Research. – 2021. – Т. 59. – №. 4. – С. 1068-1087.

25. Chankov, S. Synchronization in manufacturing systems: Quantification and relation to logistics performance/ S. Chankov, M.T. Hutt, J. Bendul// International Journal of Production Research. – 2016–54(20) – Pp.6033-6051.

26. Spenhoff P., Wortmann J. C., Semini M. EPEC 4.0: an Industry 4.0-supported lean production control concept for the semi-process industry //Production Planning & Control. – 2022. – Т. 33. – №. 14. – С. 1337-1354.

27. Synchronisation for smart factory - towards iot-enabled mechanisms/P. Lin, M. Li, X. Kong, J. Chen, G.Q. Huang, M. Wang//International Journal of Computer Integrated Manufacturing. –2018–31(7) – Pp.624-635.

28. Скорнякова, Е.А. Проблемы принятия оперативных управленческих решений из-за отклонений в процессе производственного планирования высокопроизводительного предприятия / Скорнякова Е.А., Бабаев С.А. // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2018. – №4. – С. 35- 39

29. Трегубов В. Н. Подход к определению понятия синхронизация в логистических системах //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 4. – С. 64-73.

30. Фролов Е. Б. Производственная логистика, или что такое" вытягивающее" планирование? //Логистика и управление цепями поставок. – 2010. – №. 1. – С. 69-85.

31. Guo D. et al. Synchronization of shop-floor logistics and manufacturing under IIoT and digital twin-enabled graduation intelligent manufacturing system //IEEE Transactions on cybernetics. – 2021. – Т. 53. – №. 3. – С. 2005-2016.

32. Асланова И. В., Милёхина О. В. Оценка эффективности внедрения mes-системы в условиях мелкосерийного производства //Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022). – 2022. – С. 256-259.

33. Li M., Huang G. Q. Production-intralogistics synchronization of industry 4.0 flexible assembly lines under graduation intelligent manufacturing system //International Journal of Production Economics. – 2021. – Т. 241. – С. 108272.

34. Власова Л., Гончаров Д. Основы оперативно-производственного планирования с использованием информационной системы «1С: ERP Управление предприятием». – Litres, 2022.

35. Guo D. et al. Synchronization-oriented reconfiguration of FPAI under graduation intelligent manufacturing system in the COVID-19 pandemic and beyond //Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – Т. 60. – С. 893-902..

36. Leng J. et al. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review //Journal of manufacturing systems. – 2021. – Т. 60. – С. 119-137.

37. Мазурин Э. Б., Савенко Е. В. Прогнозирование заказов в единичном производстве по релевантной продукции //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – №. 4. – С. 71-76.

38. Петров М. А. Проблемы организации единичного производства в сжатые сроки и последствия применяемых методик их решения //Научный электронный журнал Меридиан. – 2020. – №. 14. – С. 108-110.

39. Дубровский В. В., Квасова Н. А., Пузанкова Е. А. Особенности оперативного планирования на промышленном предприятии при разных видах производства //Инновации и инвестиции. – 2021. – №. 4. – С. 94-96.

40. Фатхутдинов А. А., Кинѐв Д. В. Алгоритм управления технологическими процессами в условиях мелкосерийного производства //Тинчуринские чтения-2022" Энергетика и цифровая трансформация". – 2022. – С. 464-466.

41. Martinelli R., Mariano F. C. M. Q., Martins C. B. Single machine scheduling in make to order environments: A systematic review //Computers & Industrial Engineering. – 2022. – Т. 169. – С. 108190.

42. Peeters,K. Hybrid make-to-stock and make-to-order systems: a taxonomic review/ K Peeters, H van Ooijen//International Journal of Production Research. – 2020. – № 58(15). – Pp. 4659-4688.

43. . Gómez Paredes F. J. et al. Factors for choosing production control systems in make-to-order shops: a systematic literature review //Journal of Intelligent Manufacturing. – 2022. – Т. 33. – №. 3. – С. 639-674.

44. Pereira D. F., Oliveira J. F., Carravilla M. A. Merging make-to-stock/make-to-order decisions into sales and operations planning: A multi-objective approach //Omega. – 2022. – Т. 107. – С. 102561.

45. Jiang W., Wu L. Flow shop optimization of hybrid make-to-order and make-to-stock in precast concrete component production //Journal of Cleaner Production. – 2021. – Т. 297. – С. 126708.

46. Wang C., Yang C., Zhang T. Order planning with an outsourcing strategy for a make-to-order/make-to-stock production system using particle swarm optimization with a self-adaptive genetic operator //Computers & Industrial Engineering. – 2023. – Т. 182. – С. 109420.

47. Barbosa C. et al. A hybrid simulation approach applied in sustainability performance assessment in make-to-order supply chains: The case of a commercial aircraft manufacturer //Journal of Simulation. – 2023. – Т. 17. – №. 1. – С. 32-57.

48. Ghaleb M., Zolfagharinia H., Taghipour S. Real-time production scheduling in the Industry-4.0 context: Addressing uncertainties in job arrivals and machine breakdowns //Computers & Operations Research. – 2020. – Т. 123. – С. 105031.

49. Negri E. et al. Field-synchronized Digital Twin framework for production scheduling with uncertainty //Journal of Intelligent Manufacturing. – 2021. – Т. 32. – №. 4. – С. 1207-1228.

50. Kim T., Kim Y., Cho H. Dynamic production scheduling model under due date uncertainty in precast concrete construction //Journal of Cleaner Production. – 2020. – Т. 257. – С. 120527.

51. Geurtsen M. et al. Production, maintenance and resource scheduling: A review //European Journal of Operational Research. – 2023. – Т. 305. – №. 2. – С. 501-529.

52. Ghasemi M. et al. A new approach for production project scheduling with time-cost-quality trade-off considering multi-mode resource-constraints under interval uncertainty //International Journal of Production Research. – 2023. – Т. 61. – №. 9. – С. 2963-2985.

53. Esteso A. et al. Reinforcement learning applied to production planning and control //International Journal of Production Research. – 2023. – Т. 61. – №. 16. – С. 5772-5789.

54. Chabanet S. et al. Toward digital twins for sawmill production planning and control: benefits, opportunities, and challenges //International Journal of Production Research. – 2023. – Т. 61. – №. 7. – С. 2190-2213.

55. Li J. et al. Joint optimization of relay selection and transmission scheduling for UAV-aided mm wave vehicular networks //IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2023.

56. Ouiddad, A. Does the adoption of ERP systems help improving decision-making? A systematic literature review/A. Ouiddad, O. Chafik, R. Chroqui, I.Beqqali Hassni/ IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD). – Morocco, 2018. doi: 10.1109/ITMC.2018.8691291

57. Shojaeinasab A. et al. Intelligent manufacturing execution systems: A systematic review //Journal of Manufacturing Systems. – 2022. – Т. 62. – С. 503-522.

58. Febrianto T., Soediantono D. Enterprise resource planning (ERP) and implementation suggestion to the defense industry: a literature review //Journal of Industrial Engineering & Management Research. – 2022. – Т. 3. – №. 3. – С. 1-16.

59. Kunduru A. R. Blockchain Technology for ERP Systems: A Review //American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture (2993-2637). – 2023. – Т. 1. – №. 7. – С. 56-63.

60. Hansen H. F., Haddara M., Langseth M. Investigating ERP system customization: A focus on cloud-ERP //Procedia Computer Science. – 2023. – Т. 219. – С. 915-923.

61. You, C. Advanced planning for autonomous vehicles using reinforcement learning and deep inverse reinforcement learning/C You, J Lu, D Filev, P Tsiotras //Robotics and Autonomous Systems.– 2019. – №114 – Pp.1-18.

62. Аверина Т.А. Построение алгоритмов статистического моделирования систем со случайной структурой: Учебное пособие. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. 155 с.

63. Кораблев Ю. А. Имитационное моделирование. – 2020.

64. Yildirim I., Uyrus A., Basar E. Modeling and analysis of reconfigurable intelligent surfaces for indoor and outdoor applications in future wireless networks //IEEE transactions on communications. – 2020. – Т. 69. – №. 2. – С. 1290-1301.

65. Agalianos K. et al. Discrete event simulation and digital twins: review and challenges for logistics //Procedia Manufacturing. – 2020. – Т. 51. – С. 1636-1641.

66. Rabe M., Deininger M., Juan A. A. Speeding up computational times in simheuristics combining genetic algorithms with discrete-event simulation //Simulation Modelling Practice and Theory. – 2020. – Т. 103. – С. 102089.

67. Karnopp Dean C. System Dynamics: Modeling, Simulation, and Control of Mechatronic Systems (5-nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012. 645 p.

68. Mohsen O. et al. Discrete-event simulation and data analysis for process flow improvements in a cabinet manufacturing facility //International Journal of Simulation and Process Modelling. – 2021. – Т. 16. – №. 1. – С. 57-65.

69. de Paula Ferreira W., Armellini F., De Santa-Eulalia L. A. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review //Computers & Industrial Engineering. – 2020. – Т. 149. – С. 106868.

70. El Khatib M. et al. Simulation in Project and Program Management: Utilization, Challenges and Opportunities //American Journal of Industrial and Business Management. – 2022. – Т. 12. – №. 4. – С. 731-749.

71. Schneckenreither M., Haeussler S., Gerhold C. Order release planning with predictive lead times: a machine learning approach //International Journal of Production Research. – 2021. – Т. 59. – №. 11. – С. 3285-3303.

72. Чуба А. Ю., Кирилова О. В. Использование цифровых технологий в бережливом производстве //Экономика и предпринимательство. – 2021. – №. 4. – С. 1453-1457.

73. Слабинская И. А., Ткаченко Ю. А. Управление учетно-контрольными системами и их адаптированность к современной концепции бережливого производства //Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2020. – №. 4. – С. 75-82. с

74. Вумек, Д. Джонс. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания компании. – Альпина Паблишер. – Москва. – 2017. – 472 с.

75. Карпович, А.И. Проблемы бережливого производства в приборостроительной отрасли / Карпович А.И., Горшенин В.Ф. // Вестник факультета управления Челябинского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 34-38

76. Вялов А.В. Бережливое производство: Учебное пособие. Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2014. 100 с

77. Емельянова Л. О., Кёрн А. С., Буторина Г. Ю. Бережливое производство как основа повышения эффективности деятельности предприятия //Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. – 2020. – С. 366-371.

78. Давыдова Н. С., Гращенкова Н. В. Система менеджмента бережливого производства и устойчивость лин-трансформаций //Новые технологии. – 2021. – №. 2. – С. 121-130.

79. Голдрат Э.М., Кокс Дж. Цель: процесс непрерывного улучшения. (Изд. 4-е). Минск: Попурри, 2018. 400 с.

80. Лихвойнен А. В. и др. Бережливое производство: понятие, принципы, методы и опыт внедрения //Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – №. 9-2. – С. 154-159.

81. Jamil N. et al. DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system //Economic research-Ekonomska istraživanja. – 2020. – Т. 33. – №. 1. – С. 331-360.

82. Zahraee S. M. et al. Lean manufacturing analysis of a Heater industry based on value stream mapping and computer simulation //Procedia Manufacturing. – 2020. – Т. 51. – С. 1379-1386.

83. Standicka, D. Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modeling and analysis/ D.Stadnicka, P.Litwin//International Journal of Production Economics. – 2019. – №208 – Pp.400-411.

84. Nik-Bakht M. et al. Value stream mapping of project lifecycle data for circular construction //ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction. – IAARC Publications, 2021. – T. 38. – C. 1033-1042..

85. Landeghem H. V., Cottyn J. Extending value stream mapping for lean production planning and control //Management and Production Engineering Review. – 2022. – C. 75-82-75-82.

86. Khamidov I., Costa F., Staudacher A. P. How Lifecycle Assessment is Interrelated with Environmental or Sustainable Value Stream Mapping //International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – C. 962-970.

87. Maulana S. N., Amrina U. Implementation of value stream mapping to reduce waste in warranty claim process at commercial vehicle automotive company //Journal of Industrial Engineering Management. – 2022. – T. 7. – №. 2. – C. 134-140.

88. Fatine C., ANASS C. A new Value Stream Mapping approach For the Moroccan Artisanal Enterprise //International Journal of Information Science and Technology. – 2020. – T. 4. – №. 1. – C. 28-37.

89. Kiefer M. et al. Simulation-based analysis of a value stream as a contribution to sustainable production and logistics systems of SMEs //20. ASIM Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik 2023. – C. 293-302.

90. Valamede L. S., Akkari A. C. S. Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies //International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences. – 2020. – T. 5. – №. 5. – C. 851.

91. Kolasani S. Innovations in digital, enterprise, cloud, data transformation, and organizational change management using agile, lean, and data-driven methodologies //International Journal of Machine Learning and Artificial Intelligence. – 2023. – T. 4. – №. 4. – C. 1-18.

92. Usuga Cadavid J. P. et al. Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0 //Journal of Intelligent Manufacturing. – 2020. – Т. 31. – С. 1531-1558.

93. Русских, П.А. Анализ решений для создания и реализации механизмов адаптивного планирования позаказного производства/ П.А. Русских, Д.В. Капулин// Вестник МГТУ «Станкин» –2021–№1(56). –С. 44–48.

94. Bueno A., Godinho Filho M., Frank A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review //Computers & Industrial Engineering. – 2020. – Т. 149. – С. 106774.

95. de Paula Ferreira W., Armellini F., De Santa-Eulalia L. A. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review //Computers & Industrial Engineering. – 2020. – Т. 149. – С. 106868.

96. Mokshin ,V.V. Simulation and optimization of the cargo terminal in the AnyLogic environment/V.V.Mokshin, A.P. Kirpichnikov, A.I. Soiko// Journal of Physics: Conference Series– 2019.– Vol. 1368. DOI:10.1088/1742-6596 /1368/4/042082

97. Kapulin, D. V. Analisis and improvement of production planning within small-batch make-to-order production/ D.V.Kapulin, P.A. Russkikh // Journal of Physics: Conference Series– 2020.– Vol. 1515, no.2. DOI::10.1088/1742-6596/1515/2/022072

98. Dshalalow J. H. Advances in Queueing Theory, Methods, and Open Problems. – CRC Press, 2023.

99. Russkikh P. A., Kapulin D. V. Simulation modeling for optimal production planning using Tecnomatix software //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1661. – №. 1. – С. 012188.

100. Таратун В. Е., Шаперова В. С. Имитационное моделирование как подход в решении задач систем массового обслуживания //Системный анализ и логистика. – 2020. – №. 4. – С. 35-44.

101. Бобков С. П. Подходы к моделированию систем массового обслуживания //Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2021. – №. 3 (49). – С. 130-134.

102. Ефромеева Е. В., Ефромеев Н. М. Имитационное моделирование: основы практического применения в среде AnyLogic. – 2020.

103. Григорьев С. Н., Леонов А. А., Долгов В. А. Имитационное моделирование производственных процессов с применением логик планового и ситуационного резервирования рабочих мест //Автоматизация. Современные технологии. – 2021. – Т. 75. – №. 1. – С. 3-10.

104. Жаров М. В. Имитационное моделирование производственной среды цехов механической обработки //Автоматизация в промышленности. – 2020. – №. 5. – С. 34-37.

105. Решмин Б. Имитационное моделирование и системы управления. – Litres, 2022.

106. Stupin A., Kazakovtsev L., Stupina A. Control of traffic congestion by improving the rings and optimizing the phase lengths of traffic lights with the help of anylogic //Transportation research procedia. – 2022. – Т. 63. – С. 1104-1113.

107. Lyubchenko A. A. et al. Discrete-event simulation of operation and maintenance of telecommunication equipment using AnyLogic-based multi-state models //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1441. – №. 1. – С. 012046.

108. Li M. H., Indriastuti S. A system dynamics approach of a laptop manufacturing supply chain operation simulation modelling using AnyLogic. – 2023.

109. Zhang Y., Li J. Research on Real-time Simulation of Automobile Production Line based on Discrete Event and Multiagent //Frontiers in Computing and Intelligent Systems. – 2023. – Т. 4. – №. 1. – С. 83-89.

110. Ерещенко Т. В., Душко О. В., Чураков А. А. Планирование эксперимента. – 2021.

111. Abideen A., Mohamad F. B. Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation //Journal of Modelling in Management. – 2021. – Т. 16. – №. 1. – С. 70-102.

112. Wang P. et al. Adopting lean thinking in virtual reality-based personalized operation training using value stream mapping //Automation in Construction. – 2020. – Т. 119. – С. 103355.

113. Stadnicka D., Litwin P. Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modelling and analysis. *I*nternational Journal of Production Economic, 2019, vol.208 P. 400-411

114. Antonelli D., Stadnicka D. Combining factory simulation with value stream mapping: a critical discussion. Procedia CIRP, 2018, vol.67, P. 30-35.

115. Zhu X.Y., Zhang H., Jiang Z.G. Application of green-modified value stream mapping to integrate and implement lean and green practices: A case study, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2020, vol. 33, no.7, – P. 716-731

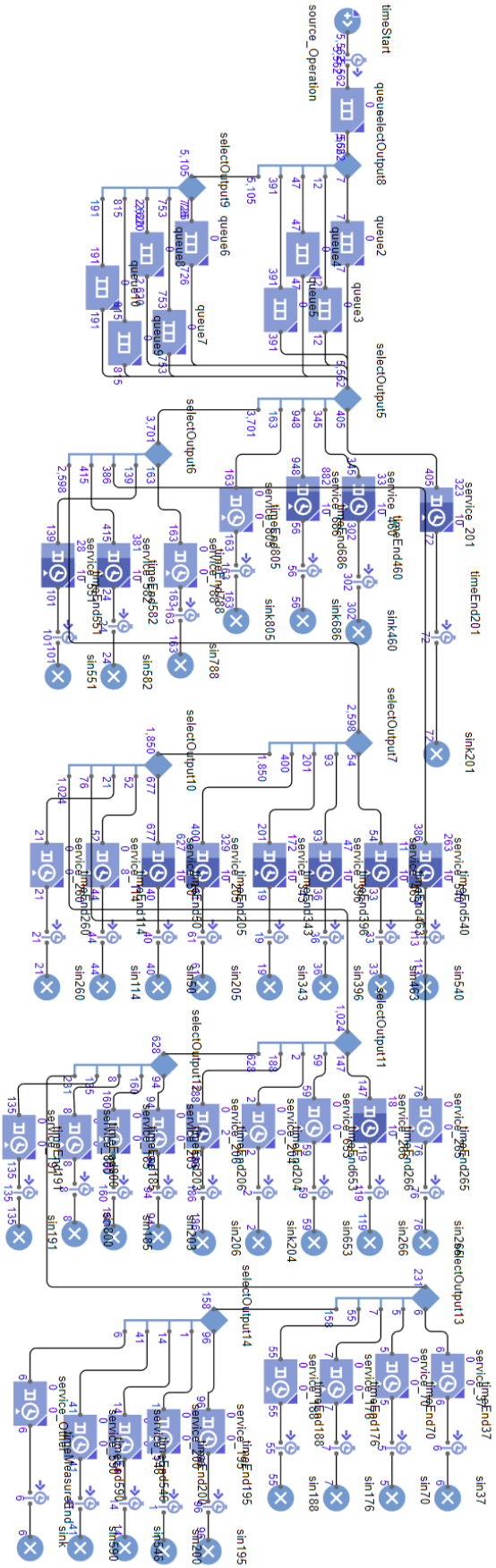
116. Thürer M., Fernandes N. O., Stevenson M. Production planning and control in multi-stage assembly systems: an assessment of Kanban, MRP, OPT (DBR) and DDMRP by simulation //International Journal of Production Research. – 2022. – Т. 60. – №. 3. – С. 1036-1050.

117. Chen C., Lee Kong T., Kan W. Identifying the promising production planning and scheduling method for manufacturing in Industry 4.0: a literature review //Production & Manufacturing Research. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 2279329.

118. Corsini R. R. et al. Analysing the impact of production control policies on the dynamics of a two-product supply chain with capacity constraints //International Journal of Production Research. – 2023. – Т. 61. – №. 6. – С. 1913-1937.

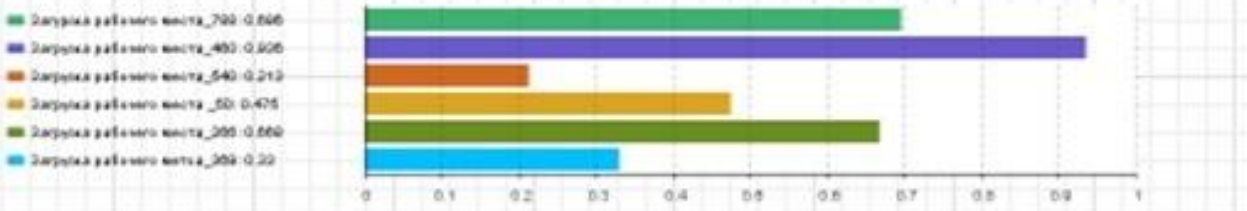
ПРИЛОЖЕНИЕ А

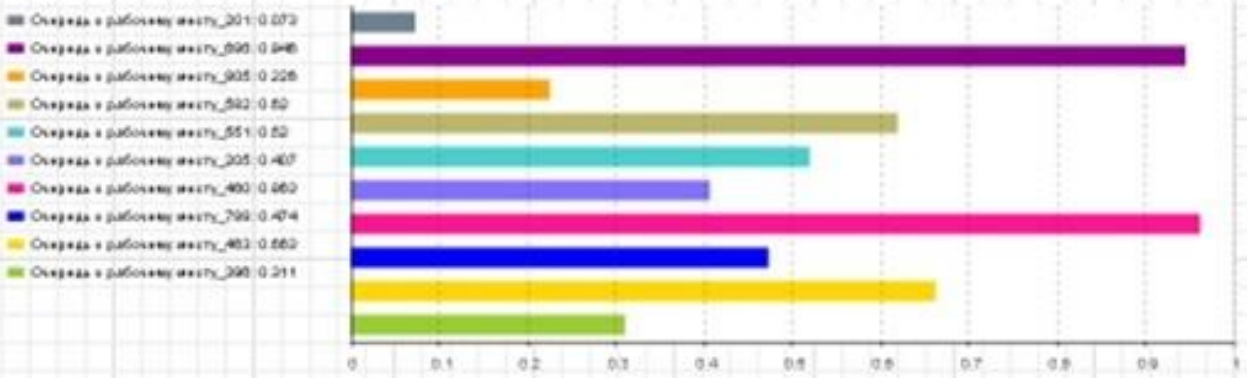
Имитационная модель

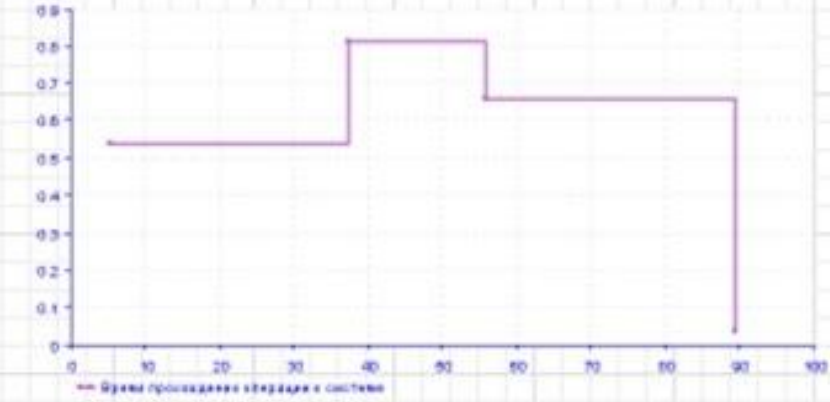


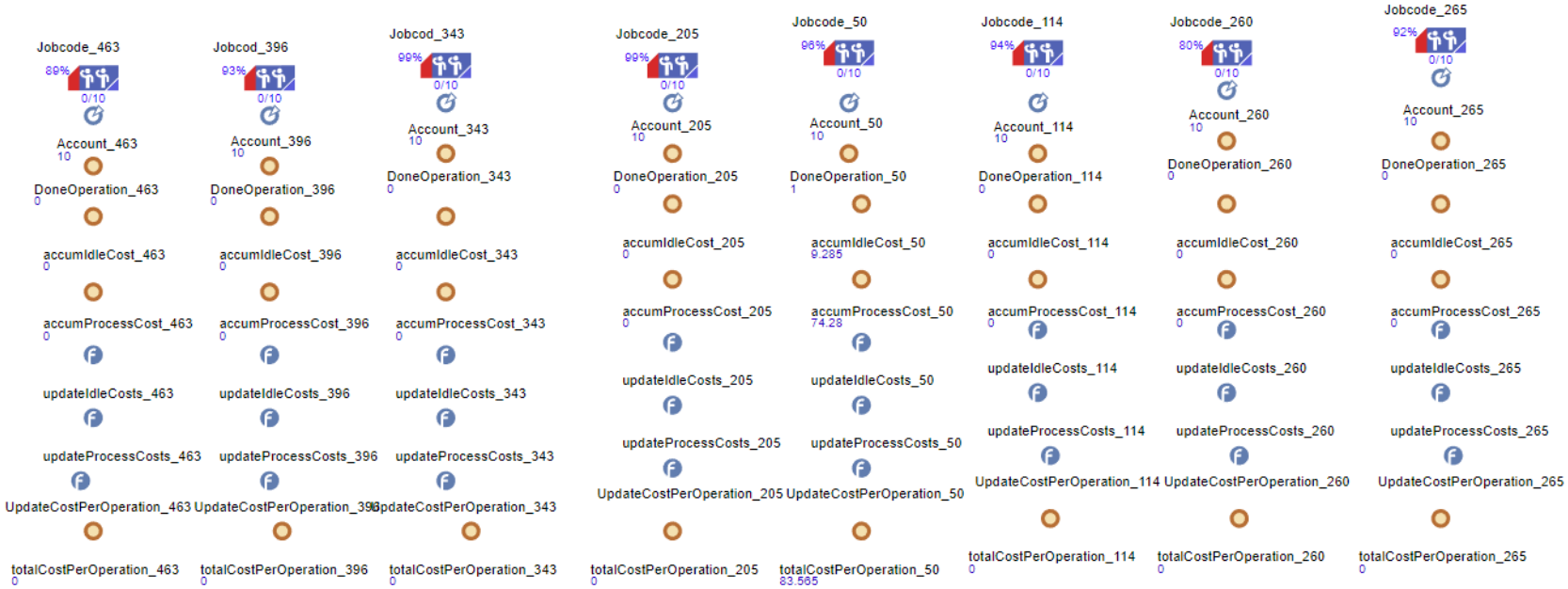
Колличество рабочих по коду профессии

788	686	201	805
460	582	551	396
540	463	343	205
50	260	114	265
266	803	653	206
203	191	185	800








Jobcode_463
89%
0/10
Account_463
10
DoneOperation_463
0
accumIdleCost_463
0
accumProcessCost_463
0
updateIdleCosts_463
updateProcessCosts_463
UpdateCostPerOperation_463
totalCostPerOperation_463
0
Jobcod_396
93%
0/10
Account_396
10
DoneOperation_396
0
accumIdleCost_396
0
accumProcessCost_396
0
updateIdleCosts_396
updateProcessCosts_396
UpdateCostPerOperation_396
totalCostPerOperation_396
0
Jobcod_343
99%
0/10
Account_343
10
DoneOperation_343
0
accumIdleCost_343
0
accumProcessCost_343
0
updateIdleCosts_343
updateProcessCosts_343
UpdateCostPerOperation_343
totalCostPerOperation_343
0
Jobcode_205
99%
0/10
Account_205
10
DoneOperation_205
0
accumIdleCost_205
0
accumProcessCost_205
0
updateIdleCosts_205
updateProcessCosts_205
UpdateCostPerOperation_205
totalCostPerOperation_205
0
Jobcode_50
96%
0/10
Account_50
10
DoneOperation_50
1
accumIdleCost_50
9.285
accumProcessCost_50
74.28
updateIdleCosts_50
updateProcessCosts_50
UpdateCostPerOperation_50
totalCostPerOperation_50
83.565
Jobcode_114
94%
0/10
Account_114
10
DoneOperation_114
0
accumIdleCost_114
0
accumProcessCost_114
0
updateIdleCosts_114
updateProcessCosts_114
UpdateCostPerOperation_114
totalCostPerOperation_114
0
Jobcode_260
80%
0/10
Account_260
10
DoneOperation_260
0
accumIdleCost_260
0
accumProcessCost_260
0
updateIdleCosts_260
updateProcessCosts_260
UpdateCostPerOperation_260
totalCostPerOperation_260
0
Jobcode_265
92%
0/10
Account_265
10
DoneOperation_265
0
accumIdleCost_265
0
accumProcessCost_265
0
updateIdleCosts_265
updateProcessCosts_265
UpdateCostPerOperation_265
totalCostPerOperation_265
0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные имитационной модели монтажно-сборочного цеха

Изделие	Номер профессии	Время операции	Название операции	Уровень вложенности	Число	Последовательность
Э4010-20-0045	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	270
Э4010-20-0045	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	310
Э4010-20-0045	686	0,03	Подготовительная для комплектования	2	1,00	320
Э4010-20-0045	686	0,15	Сборочная для слесаря-сборщика	2	1,00	330
Э4010-20-0045	206	0,02	Контроль ОТК	2	1,00	340
Э4010-20-0064	686	0,02	Подготовительная для комплектования	1	1,00	10
Э4010-20-0064	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	1	1,00	20
Э4010-20-0064	686	0,10	Пайка	1	1,00	30
Э4010-20-0064	686	0,20	Сборка	1	1,00	40
Э4010-20-0064	206	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	50
Э4010-20-0064	686	0,25	Пайка	1	1,00	60
Э4010-20-0064	205	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	70
Э4010-20-0090	686	0,02	Подготовительная для комплектования	1	1,00	10
Э4010-20-0090	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	1	1,00	20
Э4010-20-0090	686	0,10	Пайка	1	1,00	30
Э4010-20-0090	686	0,20	Сборка	1	1,00	40
Э4010-20-0090	206	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	50
Э4010-20-0090	686	0,25	Пайка	1	1,00	60
Э4010-20-0090	205	0,03	Контроль ОТК	1	1,00	70
Э4010-20-0091	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	270
Э4010-20-0091	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов)	2	1,00	310
Э4010-20-0091	686	0,03	Подготовительная для комплектования	2	1,00	320
Э4010-20-0091	686	0,15	Сборочная для слесаря-сборщика	2	1,00	330
Э4010-20-0091	206	0,02	Контроль ОТК	2	1,00	340
Э4020-1908	686	0,01	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ КО	1	1,00	10
Э4020-1908	540	0,01	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	1	1,00	20

Э4020-1908	50	0,17	ПАЙКА	1	1,00	30
Э4020-1908	206	0,02	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	1	1,00	40
Э4320-5313	551	0,01	Пропитка	1	1,00	90
Э4330-0902	343	0,05	Подготовительная для сборки	1	1,00	10
Э4330-0902	540	0,15	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	1	1,00	20
Э4330-0902	343	0,15	Монтаж	1	1,00	30
Э4330-0902	343	0,35	Монтаж	1	1,00	40
Э4330-0902	343	0,05	Монтаж	1	1,00	50
Э4330-0902	343	0,25	Монтаж	1	1,00	60
Э4330-0902	546	0,08	Промывка растворите-лями	1	1,00	70
Э4330-0902	686	0,10	Сборка	1	1,00	80
Э4330-0902	343	0,15	Монтаж	1	1,00	90
Э4330-0902	343	0,25	Монтаж	1	1,00	100
Э4330-0902	343	0,60	Монтаж	1	1,00	110
Э4330-0902	546	0,08	Промывка растворите-лями	1	1,00	120
Э4330-0902	266	0,03	Маркирование	1	1,00	130
Э4330-0902	205	0,20	Контроль прочих вели-чин и характеристик	1	1,00	140
Э4330-0902	343	0,05	Монтаж	1	1,00	180
Э4330-0902	205	0,01	Контроль прочих вели-чин и характеристик	1	1,00	190
4406001-16	686	0,02	СЛ-СБОРЩ.	5	2,00	100
4406001-16	686	0,07	СЛ-СБОРЩ.	5	2,00	200
4406001-16	206	0,01	ТК.СЛ.СБОР	5	2,00	300
6120005-16	686	0,02	СЛ-СБОРЩ.	6	2,00	100
6120005-16	686	0,09	СЛ-СБОРЩ.	6	2,00	200
6120005-16	206	0,01	ТК.СЛ.СБОР	6	2,00	300
6354001-16	686	0,02	СЛ-СБОРЩ.	6	2,00	100
6354001-16	686	0,06	СЛ-СБОРЩ.	6	2,00	200
6354001-16	206	0,01	ТК.СЛ.СБОР	6	2,00	300
4858225	50	0,06	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ	3	1,00	10

4858225	540	0,28	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	1,00	40
4858225	686	0,04	СБОРКА	3	1,00	50
4858225	70	0,06	ГРАВИРОВКА	3	1,00	60
4858225	185	0,01	КОНТРОЛЬ ГРАВИ-РОВКИ	3	1,00	70
4858225	50	0,67	РАСКЛАДКА ПРОВО-ДА, КАБЕ	3	1,00	80
4858225	50	1,67	РАЗДЕЛКА ПРОВОДА, КАБЕЛ	3	1,00	90
4858225	266	0,11	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	100
4858225	205	0,23	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	110
4858225	114	0,33	ЗАЛИВКА КОМПА-УНДАМИ	3	1,00	120
4858225	50	0,17	ИСПЫТАНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛ	3	1,00	130
4858225	205	0,03	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	140
4858225	50	0,17	ИСПЫТАНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛ	3	1,00	150
4858225	205	0,07	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	160
4858225	788	0,06	УПАКОВКА	3	1,00	170
4400017	686	0,00	СЛ-СБОРЩ.	4	2,00	100
4400017	686	0,01	СЛ-СБОРЩ.	4	2,00	200
4406005	686	0,01	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ	4	2,00	10
4406005	686	0,09	СБОРКА	4	2,00	20
4406005	206	0,01	КОНТРОЛЬНАЯ	4	2,00	30
2022147	551	0,03	ПРОПИТКА	2	2,00	90
2067696	343	0,06	Подготовительная для монтажа	2	1,00	10
2067696	540	0,33	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	20
2067696	343	0,50	Монтаж	2	1,00	30
2067696	686	0,22	Сборка	2	1,00	40
2067696	343	1,40	Монтаж	2	1,00	50
2067696	206	0,05	Контроль прочих вели-чин и характеристик	2	1,00	60
2067696	266	0,25	Маркирование	2	1,00	70
2067696	191	0,01	Контрольная	2	1,00	80
2067696	582	0,75	Регулировочная	2	1,00	90
2067696	201	0,00	Контроль прочих вели-чин и характеристик	2	1,00	100
2067696	686	0,22	Сборка	2	1,00	110
2067696	114	0,33	Заливка компаундами	2	1,00	120
2067696	195	0,02	Контроль заливки	2	1,00	130
2067696	582	0,33	Регулировочная	2	1,00	140
2067696	201	0,05	Контроль прочих вели-чин и характеристик	2	1,00	150
2067696	686	0,27	Пайка	2	1,00	160
2067696	205	0,03	Контроль прочих вели-чин и характеристик	2	1,00	170
2067696	686	0,44	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	180
2067696	201	0,05	Контроль прочих вели-чин и характеристик	2	1,00	190

2067696	582	0,33	Регулировочная	2	1,00	200
2067696	201	0,04	Контроль прочих величин и характеристик	2	1,00	210
2067696	582	0,33	Регулировочная ОТК	2	1,00	220
2067696	201	0,00	Контроль ОТК	2	1,00	230
2067696	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	240
2067696	582	0,33	Регулировочная ВП	2	1,00	250
2067696	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	260
2067728	343	0,07	Подготовительная для комплектования	4	2,00	10
2067728	540	0,30	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	4	2,00	20
2067728	343	0,40	Монтаж	4	2,00	30
2067728	686	0,33	Сборка	4	2,00	40
2067728	343	2,10	Монтаж	4	2,00	50
2067728	206	0,15	Контроль прочих величин и характеристик	4	2,00	60
2067728	582	1,50	Регулировочная	4	2,00	70
2067728	201	0,01	Контроль прочих величин и характеристик	4	2,00	80
2067728	686	0,12	Сборка	4	2,00	90
2067728	114	0,47	Заливка компаундами	4	2,00	100
2067728	201	0,03	Контроль заливки	4	2,00	110
2067728	582	0,35	Регулировочная	4	2,00	120
2067728	201	0,12	Контроль прочих величин и характеристик	4	2,00	130
2067728	686	0,25	Слесарно-сборочная	4	2,00	140
2067728	201	0,03	Контроль прочих величин и характеристик	4	2,00	150
2067728	266	0,23	Маркирование	4	2,00	160
2067728	191	0,01	Контрольная	4	2,00	170
2067728	582	0,35	Регулировочная ОТК, ВП	4	2,00	180
2067728	686	0,45	Сборка ОТК, ВП	4	2,00	190
2067728	582	0,35	Регулировочная ОТК, ВП	4	2,00	200
2067728	201	0,06	Контроль ОТК, ВП	4	2,00	210
2067728	201	0,23	Контроль прочих величин и характеристик	4	2,00	220
2067728	582	0,35	Регулировочная ОТК	4	2,00	230
2067728	201	0,00	Контроль ОТК	4	2,00	240
2067728	686	0,12	Сборка	4	2,00	250
2067728	201	0,00	Контроль ВП	4	2,00	260
2067728	582	0,35	Регулировочная ВП	4	2,00	270
2067728	201	0,00	Контроль ВП	4	2,00	280
2067837	686	0,08	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	2	1,00	10
2067837	460	0,00	ПРОГРАММНАЯ	2	1,00	20
2067837	460	0,17	МАРКИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЕ	2	1,00	30
2067837	201	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	40

2067837	540	0,06	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	2	1,00	50
2067837	686	0,25	ПАЙКА	2	1,00	60
2067837	686	0,25	ПАЙКА	2	1,00	70
2067837	201	0,04	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	80
2067837	686	0,67	СБОРКА	2	1,00	90
2067837	201	0,07	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	100
2067837	582	3,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	2	1,00	110
2067837	686	0,60	СБОРКА	2	1,00	120
2067837	201	0,06	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	130
2067837	686	0,22	СБОРКА	2	1,00	140
2067837	201	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	150
2067837	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	2	1,00	220
2067837	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	230
2067837	201	0,50	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	240
2067837	686	0,45	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	250
2067837	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	260
2067837	201	0,50	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	270
2067837	686	0,12	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	280
2067837	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	290
2067837	201	0,50	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	300
2067837	686	0,22	СБОРКА	2	1,00	310
2067837	201	0,05	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	320
2067837	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	330
2067837	201	0,05	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	340
2067837	686	0,22	СБОРКА	2	1,00	350
2067837	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	360
2067837	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	370
2067837	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	380
2067894	686	0,07	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	3	1,00	10
2067894	540	0,10	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	1,00	20
2067894	460	0,00	ПРОГРАММНАЯ	3	1,00	30
2067894	460	0,08	МАРКИРОВАНИЕ ЛА-ЗЕРНОЕ	3	1,00	40
2067894	185	0,01	КОНТРОЛЬ ГРАВИ-РОВКИ	3	1,00	50
2067894	686	0,90	ПАЙКА	3	1,00	60
2067894	686	1,00	ПАЙКА	3	1,00	70
2067894	201	0,18	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	80
2067894	686	0,33	СБОРКА	3	1,00	90
2067894	206	0,03	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	100
2067894	582	2,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	110
2067894	686	1,00	СБОРКА	3	1,00	120
2067894	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	130
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	140
2067894	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	150
2067894	686	0,20	СБОРКА	3	1,00	160
2067894	206	0,05	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	170
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	180
2067894	201	0,50	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	190

2067894	686	0,03	СБОРКА	3	1,00	260
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	3	1,00	270
2067894	686	0,40	СБОРКА ОТК, ВП	3	1,00	280
2067894	686	0,11	СБОРКА ОТК, ВП	3	1,00	290
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	3	1,00	300
2067894	201	0,20	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	3	1,00	310
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	3	1,00	320
2067894	686	0,11	СБОРКА ОТК, ВП	3	1,00	330
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	3	1,00	340
2067894	201	0,00	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	3	1,00	350
2067894	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	360
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	3	1,00	370
2067894	201	0,01	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	380
2067894	686	0,17	СБОРКА	3	1,00	410
2067894	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	3	1,00	420
2067894	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	3	1,00	430
2067894	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	3	1,00	440
2067928	686	0,17	Подготовительная для сборки	4	1,00	10
2067928	540	0,10	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	4	1,00	20
2067928	686	0,50	Пайка	4	1,00	30
2067928	686	1,00	Пайка	4	1,00	40
2067928	201	0,30	Контроль ОТК	4	1,00	50
2067928	686	1,50	Сборка	4	1,00	60
2067928	201	0,15	Контроль ОТК	4	1,00	70
2067928	266	0,05	Маркирование	4	1,00	80
2067928	201	0,01	Контроль маркировоч-ных работ	4	1,00	90
2067928	582	2,50	Регулировочная	4	1,00	100
2067928	582	0,50	Регулировочная ОТК	4	1,00	110
2067928	201	0,50	Контроль ОТК	4	1,00	120
2067928	686	0,70	Сборка	4	1,00	130
2067928	201	0,07	Контроль ОТК	4	1,00	140
2067928	582	0,50	Регулировочная ОТК	4	1,00	150
2067928	201	0,50	Контроль ОТК	4	1,00	160
2067928	582	0,50	Регулировочная ОТК, ВП	4	1,00	170
2067928	686	0,70	Сборка ОТК, ВП	4	1,00	180
2067928	582	0,50	Регулировочная ОТК, ВП	4	1,00	190
2067928	201	0,50	Контроль ОТК, ВП	4	1,00	200
2067928	686	0,17	Сборка	4	1,00	210
2067928	201	0,10	Контроль ОТК	4	1,00	220
2067928	582	0,50	Регулировочная ОТК	4	1,00	230
2067928	201	0,50	Контроль ОТК	4	1,00	240
2067928	201	0,00	Контроль ВП	4	1,00	250
2067928	582	0,50	Регулировочная ВП	4	1,00	260
2067928	201	0,00	Контроль ВП	4	1,00	270

2087690	686	0,60	Подготовительная для сборки	2	1,00	10
2087690	551	0,02	Пропитка	2	1,00	80
2087690	343	0,20	Подготовительная для монтажа	2	1,00	90
2087690	540	0,70	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	100
2087690	343	0,60	Монтаж	2	1,00	110
2087690	686	1,30	Сборка	2	1,00	120
2087690	343	18,00	Монтаж	2	1,00	130
2087690	343	42,00	Монтаж	2	1,00	140
2087690	201	5,00	Контроль монтажных работ	2	1,00	150
2087690	343	0,33	Заливка компаундами	2	1,00	160
2087690	201	0,03	Контроль заливки	2	1,00	170
2087690	686	1,00	Сборка	2	1,00	180
2087690	266	1,80	Маркирование	2	1,00	190
2087690	191	0,08	Контроль маркировки	2	1,00	200
2087690	686	2,50	Сборка	2	1,00	210
2087690	201	0,30	Контроль сборки	2	1,00	220
2087690	582	6,50	Регулировочная	2	1,00	230
2087690	686	1,00	Сборка	2	1,00	240
2087690	343	5,00	Монтаж	2	1,00	250
2087690	441	0,60	Лакирование	2	1,00	260
2087690	205	0,50	Контроль ОТК	2	1,00	270
2087690	686	0,70	Сборка	2	1,00	280
2087690	582	0,70	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	290
2087690	582	0,09	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	300
2087690	582	1,40	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	310
2087690	582	1,13	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	320
2087690	582	0,70	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	330
2087690	582	0,35	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	340
2087690	582	2,80	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	350
2087690	582	0,81	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	360
2087690	582	2,80	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	370
2087690	686	0,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	380
2087690	582	3,00	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	390
2087690	686	1,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	400
2087690	343	1,00	Монтаж	2	1,00	410
2087690	582	0,38	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	420
2087690	582	2,10	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	430
2087690	201	10,50	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	440
2087690	686	2,00	Сборка	2	1,00	450
2087690	343	2,50	Монтаж	2	1,00	460
2087690	205	0,25	Контроль ОТК	2	1,00	470

2087690	582	1,23	Регулировочная ОТК	2	1,00	480
2087690	582	0,28	Регулировочная ОТК	2	1,00	490
2087690	582	2,10	Регулировочная ОТК	2	1,00	500
2087690	582	0,28	Регулировочная ОТК	2	1,00	510
2087690	582	2,10	Регулировочная ОТК	2	1,00	520
2087690	201	4,20	Контроль ОТК	2	1,00	530
2087690	582	3,00	Регулировочная ОТК	2	1,00	540
2087690	582	2,80	Регулировочная ОТК	2	1,00	550
2087690	205	2,10	Контроль ОТК	2	1,00	560
2087690	686	1,20	Сборка	2	1,00	570
2087690	343	2,50	Монтаж	2	1,00	580
2087690	205	0,25	Контроль ОТК	2	1,00	590
2087690	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	600
2087690	686	0,70	Сборка	2	1,00	610
2087690	201	0,13	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	620
2087690	582	1,23	Регулировочная ВП	2	1,00	630
2087690	582	0,28	Регулировочная ВП	2	1,00	640
2087690	582	2,10	Регулировочная ВП	2	1,00	650
2087690	582	0,28	Регулировочная ВП	2	1,00	660
2087690	582	2,10	Регулировочная ВП	2	1,00	670
2087690	582	3,00	Регулировочная ВП	2	1,00	680
2087690	582	2,80	Регулировочная ВП	2	1,00	690
2087690	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	700
2087690	686	0,75	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	730
2087690	201	0,17	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	740
2092217	686	0,03	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ	5	1,00	10
2092217	540	0,03	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	5	1,00	20
2092217	70	0,17	ГРАВИРОВКА	5	1,00	30
2092217	185	0,02	КОНТРОЛЬ ПОСЛЕ ГРАВИРОВ	5	1,00	40
2092217	686	0,50	ПАЙКА	5	1,00	50
2092217	686	1,00	ПАЙКА	5	1,00	60
2092217	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	70
2092217	686	0,17	СБОРКА	5	1,00	80
2092217	201	0,07	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	90
2092217	201	0,00	КОНТРОЛЬ ПЗ	5	1,00	100
2092341	686	0,27	Подготовительная для сборки	4	1,00	10
2092341	540	0,02	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	4	1,00	20
2092341	686	10,27	Сборка	4	1,00	30
2092341	201	1,00	Контрольная	4	1,00	40
2092341	686	2,00	Сборка	4	1,00	50
2092341	201	0,20	Контрольная	4	1,00	60
2092342	686	0,50	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	3	1,00	10
2092342	540	1,20	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	1,00	40
2092342	343	0,25	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ МО	3	1,00	50
2092342	343	30,00	МОНТАЖ	3	1,00	60
2092342	205	3,00	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	3	1,00	70
2092342	686	3,00	СБОРКА	3	1,00	80

2092342	266	0,50	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	90
2092342	201	0,10	КОНТРОЛЬ МАРКИ-РОВОЧНЫХ	3	1,00	100
2092342	686	1,00	СБОРКА	3	1,00	110
2092342	686	8,00	СБОРКА	3	1,00	120
2092342	343	44,00	МОНТАЖ	3	1,00	130
2092342	686	3,00	СБОРКА	3	1,00	140
2092342	205	3,50	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	3	1,00	150
2092342	266	0,50	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	160
2092342	201	0,03	КОНТРОЛЬ МАРКИ-РОВОЧНЫХ	3	1,00	170
2092342	686	4,00	СБОРКА	3	1,00	180
2092342	582	1,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	190
2092342	582	3,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	200
2092342	686	1,50	СБОРКА	3	1,00	210
2092342	686	1,50	СБОРКА ОТК, ПЗ	3	1,00	220
2092342	201	1,50	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	230
2092342	201	0,00	КОНТРОЛЬ ПЗ	3	1,00	240
2092342	686	0,60	СБОРКА	3	1,00	300
2092342	114	2,00	ЗАЛИВКА КОМПА-УНДАМИ	3	1,00	310
2092342	201	0,20	КОНТРОЛЬ ЗАЛИВКИ	3	1,00	320
2092342	686	3,00	СБОРКА	3	1,00	330
2092342	686	3,00	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБО	3	1,00	340
2092342	206	0,70	КОНТРОЛЬ СБОРКИ	3	1,00	350
2092342	686	2,00	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБО	3	1,00	470
2092342	686	0,70	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	3	1,00	480
2092342	686	0,00	СБОРКА	3	1,00	490
2092342	582	0,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	500
2092342	582	0,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	3	1,00	510
2092342	201	0,00	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	520
2092342	582	0,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ПЗ	3	1,00	530
2092342	201	0,00	КОНТРОЛЬ ПЗ	3	1,00	540
2092342	686	0,00	СБОРКА	3	1,00	550
2092342	686	1,00	СБОРКА	3	1,00	560
2092342	37	0,50	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ДЛЯ ВОД	3	1,00	570
2092342	686	0,20	СБОРКА ОТК, ПЗ	3	1,00	600
2092342	686	1,00	СБОРКА ОТК, ПЗ	3	1,00	630
2092342	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК, ПЗ	3	1,00	640
2092342	686	2,00	СБОРКА	3	1,00	650
2092342	37	0,50	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ДЛЯ ВОД	3	1,00	660
2092342	686	2,00	СБОРКА	3	1,00	690
2092342	266	0,33	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	700
2092342	686	2,00	СБОРКА ОТК, ПЗ	3	1,00	710
2092342	201	2,00	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	720
2092342	201	0,00	КОНТРОЛЬ ПЗ	3	1,00	730
2092342	686	3,00	СБОРКА	3	1,00	740
2092342	37	0,50	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ДЛЯ ВОД	3	1,00	750

2092405	686	0,15	Подготовительная для сборки	2	1,00	10
2092405	540	0,80	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	20
2092405	463	0,67	Оплеточная	2	1,00	30
2092405	686	2,65	Сборка	2	1,00	50
2092405	206	0,20	Контроль сборки	2	1,00	60
2092405	266	0,17	Маркирование	2	1,00	70
2092405	191	0,02	Контроль маркировочных работ	2	1,00	80
2092405	343	0,25	Подготовительная для монтажа	2	1,00	90
2092405	460	0,00	Программная	2	1,00	100
2092405	460	0,06	Маркирование лазерное	2	1,00	110
2092405	185	0,01	Контроль гравировки	2	1,00	120
2092405	265	0,03	Малярная	2	1,00	130
2092405	191	0,00	Контроль малярных работ	2	1,00	140
2092405	686	0,27	Сборка	2	1,00	150
2092405	343	41,00	Монтаж	2	1,00	160
2092405	686	4,00	Сборка	2	1,00	170
2092405	205	4,00	Контроль монтажных работ	2	1,00	180
2092405	582	1,00	Подготовительная для регулировки	2	1,00	190
2092405	582	7,00	Регулировочная	2	1,00	200
2092405	686	1,00	Сборка	2	1,00	210
2092405	686	0,50	Сборка	2	1,00	220
2092405	686	0,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	230
2092405	201	0,50	Контроль ОТК	2	1,00	240
2092405	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	250
2092405	686	1,00	Сборка	2	1,00	280
2092405	582	0,95	Подготовительная для регулировки	2	1,00	290
2092405	686	1,00	Сборка	2	1,00	300
2092405	582	1,50	Регулировочная	2	1,00	310
2092405	582	2,50	Регулировочная ОТК	2	1,00	320
2092405	201	1,17	Контроль ОТК	2	1,00	330
2092405	582	2,50	Регулировочная ВП	2	1,00	340
2092405	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	350
2092405	582	0,50	Подготовительная для регулировки	2	1,00	360
2092405	686	0,50	Сборка	2	1,00	370
2092405	582	1,00	Регулировочная	2	1,00	380
2092405	582	10,00	Регулировочная	2	1,00	390
2092405	582	4,00	Регулировочная ОТК	2	1,00	400
2092405	201	5,00	Контроль ОТК	2	1,00	410
2092405	582	4,00	Регулировочная ВП	2	1,00	420
2092405	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	430
2092405	686	2,00	Сборка	2	1,00	440
2092405	114	1,00	Заливка компаундами	2	1,00	450
2092405	201	0,10	Контроль заливки	2	1,00	460
2092405	686	1,20	Сборка	2	1,00	470
2092405	203	0,10	Контроль сборки	2	1,00	480

2092405	686	1,00	Вспомогательная для сборки	2	1,00	490
2092405	686	1,00	Сборка	2	1,00	550
2092405	686	0,20	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	680
2092405	201	0,50	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	690
2092405	686	1,50	Вспомогательная для сборки	2	1,00	700
2092405	686	0,20	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	730
2092405	686	1,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	760
2092405	201	0,20	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	770
2092405	686	1,50	Вспомогательная для сборки	2	1,00	780
2092405	686	2,00	Сборка	2	1,00	790
2092405	266	0,33	Маркирование	2	1,00	820
2092405	686	0,50	Сборка	2	1,00	830
2092405	686	0,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	840
2092405	201	0,50	Контроль ОТК	2	1,00	850
2092405	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	860
2092405	686	1,00	Сборка	2	1,00	870
2092405	686	0,50	Вспомогательная для сборки	2	1,00	880
2092407	686	0,30	Подготовительная для сборки	3	1,00	10
2092407	540	0,02	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	3	1,00	20
2092407	686	0,40	Калибровка	3	1,00	30
2092407	686	6,00	Сборка	3	1,00	40
2092407	201	0,60	Контроль сборки	3	1,00	50
2092408	686	0,06	Подготовительная для сборки	4	1,00	10
2092408	540	0,02	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	4	1,00	20
2092408	343	0,10	Монтаж	4	1,00	30
2092408	343	1,00	Монтаж	4	1,00	40
2092408	201	0,10	Контрольная	4	1,00	50
2092408	266	0,10	Маркирование	4	1,00	60
2092408	201	0,01	Контроль маркировоч-ных работ	4	1,00	70
2092408	686	0,05	Вспомогательная для сборки	4	1,00	80
2092410	686	0,10	Подготовительная для сборки	4	1,00	10
2092410	686	1,70	Сборка	4	1,00	20
2092410	206	0,17	Контроль ОТК	4	1,00	30
2092410	582	2,50	Регулировочная	4	1,00	40
2092410	582	1,00	Регулировочная ОТК	4	1,00	50
2092410	201	0,50	Контроль ОТК	4	1,00	60
2092410	686	0,15	Вспомогательная для сборки	4	1,00	70
2092410	686	0,17	Сборка	4	1,00	80
2092410	582	3,56	Регулировочная	4	1,00	90
2092410	582	1,56	Регулировочная ОТК	4	1,00	100
2092410	201	9,50	Контроль ОТК	4	1,00	110
2092410	686	0,17	Сборка	4	1,00	120

2092412	686	0,15	Подготовительная для сборки	5	1,00	10
2092412	686	1,25	Сборка	5	1,00	20
2092412	206	0,10	Контроль ОТК	5	1,00	30
2092412	686	0,03	Сборка	5	1,00	40
2092412	582	1,00	Регулировочная	5	1,00	50
2092412	800	0,33	Подготовка перед формованием	5	1,00	70
2092412	800	0,30	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	5	1,00	80
2092412	800	0,33	Заливка	5	1,00	90
2092412	800	0,03	Сушка формованных изделий	5	1,00	100
2092412	800	0,50	Сборка для формовщика	5	1,00	110
2092412	201	0,03	Контроль прочих величин и характеристик	5	1,00	120
2092412	800	0,25	Сборка для формовщика	5	1,00	130
2092412	265	1,00	Лакирование кистью, валиком, тампоном	5	1,00	140
2092412	800	0,17	Сборка для формовщика	5	1,00	150
2092412	201	0,03	Контроль лакировки	5	1,00	160
2092412	540	0,10	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	5	1,00	180
2092412	800	0,17	Сборка	5	1,00	190
2092412	206	0,02	Контроль ОТК	5	1,00	200
2097084	686	0,05	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СБОРКИ	5	1,00	10
2097084	540	0,20	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	5	1,00	20
2097084	686	0,40	СБОРКА	5	1,00	30
2097084	686	0,17	МОНТАЖ	5	1,00	40
2097084	201	0,05	КОНТРОЛЬНАЯ	5	1,00	50
2097084	686	0,40	СБОРКА	5	1,00	60
2097084	582	2,08	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	5	1,00	70
2097084	686	0,17	СБОРКА	5	1,00	80
2097084	201	1,00	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	90
2097084	686	0,40	СБОРКА	5	1,00	100
2097084	686	0,80	ЗАЛИВКА	5	1,00	110
2097084	201	0,08	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	5	1,00	120
2097084	686	0,12	ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНО	5	1,00	130
2097084	201	0,12	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	140
2097084	686	0,12	ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНО	5	1,00	150
2097084	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	5	1,00	160
2097084	686	0,12	ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНО	5	1,00	170
2097084	582	0,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	5	1,00	180
2097084	201	0,00	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	5	1,00	190
2097084	686	0,17	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ	5	1,00	200

			ДЛЯ СБО			
2097084	686	0,03	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СБОРКИ	5	1,00	210
2097084	686	0,11	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	220
2097084	686	0,33	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	230
2097084	686	0,08	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	240
2097084	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	5	1,00	250
2097084	686	0,17	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБО	5	1,00	260
2097084	686	0,03	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СБОРКИ	5	1,00	270
2097084	582	0,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	5	1,00	280
2097084	582	0,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	5	1,00	290
2097084	686	0,10	СБОРКА	5	1,00	320
2097084	686	0,10	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	330
2097084	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	340
2097084	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	5	1,00	350
2097084	582	0,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	5	1,00	360
2097084	201	0,25	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	370
2097084	582	0,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	5	1,00	380
2097084	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	5	1,00	390
2148153-01	686	0,40	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СБОРКИ	2	1,00	10
2148153-01	540	0,15	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	2	1,00	20
2148153-01	686	0,15	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ МО	2	1,00	50
2148153-01	343	1,50	МОНТАЖ	2	1,00	60
2148153-01	686	6,00	СБОРКА	2	1,00	70
2148153-01	343	22,50	МОНТАЖ	2	1,00	80
2148153-01	343	55,00	МОНТАЖ	2	1,00	90
2148153-01	686	3,50	СБОРКА	2	1,00	100
2148153-01	343	5,00	МОНТАЖ	2	1,00	110
2148153-01	266	2,10	МАРКИРОВАНИЕ	2	1,00	120
2148153-01	686	2,50	СБОРКА	2	1,00	130
2148153-01	201	10,00	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	2	1,00	140
2148153-01	686	2,20	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	150
2148153-01	201	0,83	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	160
2148153-01	686	0,33	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	170
2148153-01	686	0,83	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	180
2148153-01	343	1,00	МОНТАЖ ОТК, ВП	2	1,00	190
2148153-	686	1,50	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	200

01						
2148153-01	201	0,15	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	210
2236391-02	686	0,12	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	5	1,00	10
2236391-02	201	0,01	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	20
2236391-02	540	0,07	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	5	1,00	30
2236391-02	686	1,90	СБОРКА	5	1,00	40
2236391-02	201	0,20	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	50
2236391-02	582	0,85	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	5	1,00	60
2236391-02	686	0,13	СБОРКА	5	1,00	70
2236391-02	266	0,06	МАРКИРОВАНИЕ	5	1,00	80
2236391-02	201	0,01	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	90
2236391-02	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	5	1,00	100
2236391-02	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	5	1,00	110
2236391-02	686	0,10	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	120
2236391-02	686	0,33	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	130
2236391-02	686	0,09	СБОРКА ОТК, ВП	5	1,00	140
2236391-02	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	5	1,00	150
2236391-02	201	0,12	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	5	1,00	160
2236391-02	686	0,22	СБОРКА	5	1,00	170
2236391-02	201	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	180
2236391-02	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	5	1,00	190
2236391-02	201	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	5	1,00	200
2236391-02	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	5	1,00	210
2236391-02	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	5	1,00	220
2236391-02	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	5	1,00	230
2236391-02	686	0,06	СБОРКА	5	1,00	240
2236391-02	201	0,00	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	5	1,00	250
2236401-01	686	0,04	Подготовительная для сборки	2	1,00	10
2236401-01	540	0,03	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	20
2236401-01	686	0,43	Пайка	2	1,00	30

2236401-01	686	0,22	Сборка	2	1,00	40
2236401-01	686	0,50	Пайка	2	1,00	50
2236401-01	686	0,06	Сборка	2	1,00	60
2236401-01	201	0,17	Контроль ОТК	2	1,00	70
2236401-01	582	1,00	Регулировочная	2	1,00	80
2236401-01	686	0,05	Сборка	2	1,00	90
2236401-01	201	0,01	Контроль ОТК	2	1,00	100
2236401-01	582	0,25	Регулировочная ОТК	2	1,00	130
2236401-01	201	0,01	Контроль ОТК	2	1,00	140
2236401-01	266	0,09	Маркирование	2	1,00	210
2236401-01	201	0,01	Контроль ОТК	2	1,00	220
2236401-01	582	0,25	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	230
2236401-01	201	0,03	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	240
2236401-01	686	0,43	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	250
2236401-01	201	0,05	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	260
2236401-01	582	0,25	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	270
2236401-01	201	0,25	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	280
2236401-01	686	0,11	Сборка	2	1,00	290
2236401-01	201	0,01	Контроль ОТК	2	1,00	300
2236401-01	582	0,25	Регулировочная ОТК	2	1,00	310
2236401-01	201	0,13	Контроль ОТК	2	1,00	320
2236401-01	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	360
2236401-01	582	0,25	Регулировочная ВП	2	1,00	370
2236401-01	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	380
2236444	686	0,03	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ КО	3	1,00	10
2236444	540	0,01	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	1,00	20
2236444	686	0,30	СБОРКА	3	1,00	30
2236444	266	0,06	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	40
2236444	206	0,03	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	3	1,00	50
2236444	582	0,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	60
2236444	686	0,15	СБОРКА	3	1,00	70
2236444	206	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	80
2236444	582	0,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	90

2236444	686	0,38	СБОРКА ОТК, ВП	3	1,00	100
2236444	686	0,15	СБОРКА ОТК, ВП	3	1,00	110
2236444	582	0,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	3	1,00	120
2236444	201	0,00	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	3	1,00	130
2236444	206	0,60	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	140
2236444	582	0,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	3	1,00	150
2236444	201	0,60	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	160
2236444	206	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	3	1,00	170
2236444	582	0,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	3	1,00	180
2236444	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	3	1,00	190
2236603	686	0,10	Подготовительная для сборки	6	1,00	10
2236603	460	0,00	Программная	6	1,00	20
2236603	460	0,03	Маркирование лазерное	6	1,00	30
2236603	185	0,00	Контроль прочих величин и характеристик	6	1,00	40
2236603	540	0,15	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	6	1,00	50
2236603	686	0,10	Сборка	6	1,00	60
2236603	686	1,00	Пайка	6	1,00	70
2236603	686	1,10	Пайка	6	1,00	80
2236603	201	0,30	Контроль ОТК	6	1,00	90
2236603	686	0,50	Сборка	6	1,00	100
2236603	201	0,04	Контроль ОТК	6	1,00	110
2236603	582	1,00	Регулировочная	6	1,00	120
2236603	686	0,27	Сборка	6	1,00	130
2236603	201	0,05	Контроль ОТК	6	1,00	140
2236603	582	0,50	Регулировочная	6	1,00	150
2236603	201	0,40	Контроль ОТК	6	1,00	160
2236603	582	0,50	Регулировочная	6	1,00	230
2236603	686	0,06	Сборка	6	1,00	240
2236603	201	0,01	Контроль ОТК	6	1,00	250
2236603	582	0,50	Регулировочная ОТК, ВП	6	1,00	260
2236603	686	0,40	Сборка ОТК, ВП	6	1,00	270
2236603	582	0,50	Регулировочная ОТК, ВП	6	1,00	280
2236603	201	0,10	Контроль ОТК, ВП	6	1,00	290
2236603	686	0,20	Сборка	6	1,00	300
2236603	201	0,10	Контроль ОТК	6	1,00	310
2236603	582	0,50	Регулировочная ОТК	6	1,00	320
2236603	201	0,30	Контроль ОТК	6	1,00	330
2236603	686	0,20	Сборка	6	1,00	340
2236603	201	0,00	Контроль ВП	6	1,00	350
2236603	582	0,50	Регулировочная ВП	6	1,00	360
2236603	201	0,00	Контроль ВП	6	1,00	370
2236603	686	0,33	Сборка	6	1,00	380
2236603	201	0,01	Контроль ОТК, ВП	6	1,00	400
2236604	686	0,05	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	4	2,00	10

2236604	540	0,05	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	4	2,00	20
2236604	686	0,15	СБОРКА	4	2,00	30
2236604	686	0,15	СБОРКА	4	2,00	40
2236604	206	0,03	КОНТРОЛЬ ОТК	4	2,00	50
2236604	686	0,15	ПАЙКА	4	2,00	60
2236604	205	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	4	2,00	70
2236604	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	4	2,00	80
2236604	686	0,10	СБОРКА	4	2,00	90
2236604	206	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	4	2,00	100
2236604	266	0,04	МАРКИРОВАНИЕ	4	2,00	190
2236604	191	0,00	КОНТРОЛЬ МАРКИ-РОВОЧНЫХ	4	2,00	200
2236604	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	4	2,00	210
2236604	201	0,15	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	4	2,00	220
2236604	686	0,06	СБОРКА ОТК, ВП	4	2,00	230
2236604	686	0,25	СБОРКА ОТК, ВП	4	2,00	240
2236604	686	0,17	СБОРКА ОТК, ВП	4	2,00	250
2236604	201	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	4	2,00	260
2236604	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	4	2,00	270
2236604	201	0,15	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	4	2,00	280
2236604	686	0,17	СБОРКА	4	2,00	290
2236604	201	0,02	КОНТРОЛЬ ОТК	4	2,00	300
2236604	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	4	2,00	310
2236604	201	0,15	КОНТРОЛЬ ОТК	4	2,00	320
2236604	686	0,17	СБОРКА	4	2,00	330
2236604	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	4	2,00	340
2236604	582	0,15	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	4	2,00	350
2236604	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	4	2,00	360
2236606	686	0,05	Подготовительная для сборки	5	1,00	10
2236606	540	0,17	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	5	1,00	20
2236606	686	0,50	Пайка	5	1,00	30
2236606	686	0,15	Сборка	5	1,00	40
2236606	686	0,30	Пайка	5	1,00	50
2236606	686	0,15	Сборка	5	1,00	60
2236606	686	0,45	Пайка	5	1,00	70
2236606	201	0,04	Контроль ОТК	5	1,00	80
2236606	686	0,30	Сборка	5	1,00	90
2236606	201	0,04	Контроль ОТК	5	1,00	100
2236606	582	0,91	Регулировочная	5	1,00	110
2236606	582	0,91	Регулировочная ОТК	5	1,00	120
2236606	201	0,91	Контроль ОТК	5	1,00	130
2236606	686	0,25	Сборка	5	1,00	140
2236606	201	0,02	Контроль ОТК	5	1,00	150
2246055	686	1,20	Подготовительная для сборки	5	1,00	10
2246055	540	1,00	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	5	1,00	20

2246055	686	0,55	Сборка	5	1,00	30
2246055	686	0,50	Сборка	5	1,00	40
2246055	201	0,20	Контроль ОТК	5	1,00	50
2246055	686	2,50	Пайка	5	1,00	60
2246055	686	4,00	Пайка	5	1,00	70
2246055	201	0,50	Контроль ОТК	5	1,00	80
2246055	201	0,50	Контроль ОТК	5	1,00	100
2246055	686	0,50	Пайка	5	1,00	110
2246055	201	0,50	Контроль ОТК	5	1,00	120
2246055	686	9,50	Сборка	5	1,00	130
2246055	582	4,40	Регулировочная	5	1,00	140
2246055	686	1,65	Сборка	5	1,00	150
2246055	686	5,65	Сборка	5	1,00	180
2246055	206	1,00	Контроль сборки	5	1,00	190
2246055	582	1,70	Регулировочная	5	1,00	200
2246055	201	1,70	Контроль ОТК	5	1,00	210
2246055	686	3,20	Сборка	5	1,00	260
2246055	206	0,30	Контроль ОТК	5	1,00	270
2246055	582	1,70	Регулировочная	5	1,00	280
2246055	201	1,70	Контроль ОТК	5	1,00	290
2246055	686	0,17	Сборка	5	1,00	300
2246055	206	0,17	Контроль ОТК	5	1,00	310
2246055	686	0,50	Пайка	5	1,00	320
2246055	206	0,17	Контроль ОТК	5	1,00	330
2246055	582	1,70	Регулировочная	5	1,00	340
2246055	201	1,70	Контроль ОТК	5	1,00	350
2246055	686	0,25	Сборка	5	1,00	360
2246055	201	0,05	Контроль ОТК	5	1,00	370
2246055	582	1,70	Регулировочная ОТК, ВП	5	1,00	380
2246055	201	1,70	Контроль ОТК, ВП	5	1,00	390
2246055	686	0,40	Сборка ОТК, ВП	5	1,00	400
2246055	201	0,10	Контроль ОТК, ВП	5	1,00	410
2246055	582	1,70	Регулировочная ОТК, ВП	5	1,00	420
2246055	201	0,10	Контроль ОТК, ВП	5	1,00	430
2246055	686	0,17	Сборка ОТК, ВП	5	1,00	440
2246055	582	1,70	Регулировочная ОТК, ВП	5	1,00	450
2246055	201	1,70	Контроль ОТК, ВП	5	1,00	460
2246055	686	0,25	Сборка	5	1,00	490
2246055	201	0,00	Контроль ВП	5	1,00	500
2246055	582	1,70	Регулировочная ВП	5	1,00	510
2246055	201	0,00	Контроль ВП	5	1,00	520
2248264	686	0,15	Подготовительная для сборки	4	1,00	10
2248264	540	0,45	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	4	1,00	20
2248264	686	0,60	Пайка	4	1,00	30
2248264	686	2,20	Сборка	4	1,00	40
2248264	201	0,15	Контроль ОТК	4	1,00	50
2248264	582	2,50	Регулировочная	4	1,00	60
2248264	686	0,40	Сборка	4	1,00	70
2248264	686	0,80	Пайка	4	1,00	80

2248264	201	0,15	Контроль ОТК	4	1,00	90
2248264	686	0,50	Сборка	4	1,00	100
2248264	582	0,90	Регулировочная	4	1,00	110
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК	4	1,00	120
2248264	201	0,90	Контроль ОТК	4	1,00	130
2248264	686	0,90	Сборка	4	1,00	140
2248264	201	0,12	Контроль ОТК	4	1,00	150
2248264	686	0,25	Сборка	4	1,00	160
2248264	201	0,10	Контроль ОТК	4	1,00	170
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК	4	1,00	180
2248264	201	0,10	Контроль ОТК	4	1,00	190
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК	4	1,00	260
2248264	201	0,12	Контроль ОТК	4	1,00	270
2248264	686	0,90	Сборка	4	1,00	280
2248264	686	0,25	Сборка ОТК	4	1,00	290
2248264	201	0,12	Контроль ОТК	4	1,00	300
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК, ВП	4	1,00	310
2248264	686	0,63	Сборка ОТК, ВП	4	1,00	320
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК, ВП	4	1,00	330
2248264	201	0,10	Контроль ОТК, ВП	4	1,00	340
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК, ВП	4	1,00	350
2248264	201	0,01	Контроль ОТК, ВП	4	1,00	360
2248264	686	0,17	Сборка ОТК, ВП	4	1,00	370
2248264	201	0,20	Контроль ОТК, ВП	4	1,00	380
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК, ВП	4	1,00	390
2248264	201	0,01	Контроль ОТК, ВП	4	1,00	400
2248264	686	0,25	Сборка	4	1,00	410
2248264	201	0,17	Контроль ОТК	4	1,00	420
2248264	582	0,90	Регулировочная ОТК	4	1,00	430
2248264	201	0,10	Контроль ОТК	4	1,00	440
2248264	686	0,20	Сборка	4	1,00	450
2248264	201	0,00	Контроль ВП	4	1,00	460
2248264	582	0,90	Регулировочная ВП	4	1,00	470
2248264	201	0,00	Контроль ВП	4	1,00	480
2390313	551	0,03	Пропитка	4	1,00	150
2390315	686	5,25	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СБОРКИ	2	1,00	10
2390315	460	0,00	ПРОГРАММНАЯ	2	1,00	20
2390315	460	0,05	МАРКИРОВАНИЕ ЛА-ЗЕРНОЕ	2	1,00	30
2390315	460	0,03	МАЛЯРНАЯ	2	1,00	40
2390315	185	0,01	КОНТРОЛЬ ГРАВИ-РОВКИ	2	1,00	50
2390315	540	0,25	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	2	1,00	80
2390315	686	0,12	СБОРКА	2	1,00	90
2390315	343	0,15	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ МО	2	1,00	100
2390315	343	0,30	МОНТАЖ	2	1,00	110
2390315	686	1,00	СБОРКА	2	1,00	120
2390315	343	2,20	МОНТАЖ	2	1,00	130
2390315	343	5,00	МОНТАЖ	2	1,00	140

2390315	266	0,30	МАРКИРОВАНИЕ	2	1,00	150
2390315	201	1,00	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	2	1,00	160
2390315	582	5,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	2	1,00	170
2390315	343	1,00	МОНТАЖ	2	1,00	180
2390315	582	1,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	2	1,00	190
2390315	686	0,35	ЗАЛИВКА КОМПА-УНДАМИ	2	1,00	200
2390315	201	0,09	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	2	1,00	210
2390315	686	0,50	СБОРКА	2	1,00	220
2390315	343	0,50	МОНТАЖ	2	1,00	230
2390315	201	0,15	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	240
2390315	582	1,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	250
2390315	201	0,60	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	260
2390315	686	0,30	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	270
2390315	582	1,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	280
2390315	201	0,20	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	290
2390315	686	0,50	СБОРКА	2	1,00	300
2390315	343	0,50	МОНТАЖ	2	1,00	310
2390315	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	320
2390315	582	1,25	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	330
2390315	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	340
2390315	686	0,33	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	350
2390315	201	0,05	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	360
2510003	551	0,00	ПРОПИТКА	4	1,00	50
2779002	686	0,01	СЛ-СБОРЩ.	4	1,00	10
2779002	540	0,00	РЕЦЕПТУРНАЯ	4	1,00	20
2779002	686	0,11	СБОРКА	4	1,00	30
2779002	206	0,01	КОНТРОЛЬНАЯ	4	1,00	40
2779004	686	0,02	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ КО	4	1,00	10
2779004	551	0,11	ПРОПИТКА	4	1,00	20
2779004	206	0,01	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	4	1,00	30
2779004	540	0,00	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	4	1,00	40
2779004	686	0,22	СБОРКА	4	1,00	50
2779004	206	0,02	КОНТРОЛЬ СБОРКИ	4	1,00	60
2967003	686	0,03	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	3	2,00	10
2967003	540	0,02	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	2,00	20
2967003	686	0,33	СБОРКА	3	2,00	30
2967003	206	0,03	КОНТРОЛЬ СБОРКИ	3	2,00	40
2967003	686	0,08	СБОРКА	3	2,00	50
2967003	206	0,01	КОНТРОЛЬ СБОРКИ	3	2,00	60
3032053	551	0,00	Пропитка	2	1,00	50
3032189	551	0,01	ПРОПИТКА	3	2,00	50
3032194	551	0,02	ПРОПИТКА	3	2,00	50
3032197	551	0,00	ПРОПИТКА	3	2,00	50
3036045	551	0,01	Пропитка	2	1,00	50
3290024	686	0,10	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ МО	4	1,00	10

3290024	540	0,10	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	4	1,00	20
3290024	343	0,20	МОНТАЖ	4	1,00	30
3290024	343	0,80	МОНТАЖ	4	1,00	40
3290024	686	1,30	СБОРКА	4	1,00	50
3290024	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК	4	1,00	60
3290024	343	2,60	МОНТАЖ	4	1,00	70
3290024	205	0,17	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	4	1,00	80
3290024	686	0,90	СБОРКА	4	1,00	90
3290024	266	0,20	МАРКИРОВАНИЕ	4	1,00	100
3290024	205	0,20	КОНТРОЛЬ ОТК	4	1,00	110
3290024	582	1,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	4	1,00	120
3290024	686	0,80	ПАЙКА	4	1,00	130
3290024	201	0,05	КОНТРОЛЬ ОТК	4	1,00	140
3290024	582	0,40	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	4	1,00	150
3290024	582	0,40	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	4	1,00	160
3290024	686	0,15	СБОРКА ОТК, ВП	4	1,00	170
3290024	686	0,25	СБОРКА ОТК, ВП	4	1,00	180
3290024	582	0,40	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	4	1,00	190
3290024	205	0,90	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	4	1,00	200
3290024	205	0,09	КОНТРОЛЬ ОТК	4	1,00	210
3290024	582	0,40	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	4	1,00	220
3290024	205	0,40	КОНТРОЛЬ ОТК	4	1,00	230
3290024	205	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	4	1,00	240
3290024	582	0,40	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	4	1,00	250
3290024	205	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	4	1,00	260
3290028	686	0,10	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ КО	1	1,00	10
3290028	540	0,07	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	1	1,00	20
3290028	343	0,10	МОНТАЖ	1	1,00	80
3290028	686	0,35	ПАЙКА	1	1,00	90
3290028	686	1,10	СБОРКА	1	1,00	100
3290028	206	0,12	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	1	1,00	110
3290028	551	0,00	ПРОПИТКА	1	1,00	140
3290028	343	1,20	МОНТАЖ	1	1,00	150
3290028	343	2,80	МОНТАЖ	1	1,00	160
3290028	343	0,67	МОНТАЖ	1	1,00	170
3290028	266	0,17	МАРКИРОВАНИЕ	1	1,00	180
3290028	201	0,55	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	1	1,00	190
3290028	686	0,50	СБОРКА	1	1,00	200
3290028	206	0,05	КОНТРОЛЬ ОТК	1	1,00	210
3600052-02	686	0,02	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	6	2,00	10
3600052-02	540	0,01	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	6	2,00	20
3600052-02	686	0,15	СБОРКА	6	2,00	30
3600052-02	203	0,02	КОНТРОЛЬНАЯ	6	2,00	40

3600052-03	686	0,02	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	6	1,00	10
3600052-03	540	0,01	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	6	1,00	20
3600052-03	686	0,15	СБОРКА	6	1,00	30
3600052-03	203	0,02	КОНТРОЛЬНАЯ	6	1,00	40
3620397-02	460	0,00	Программная	2	1,00	20
3620397-02	460	0,01	Маркирование лазерное	2	1,00	30
3620397-02	185	0,00	Контроль гравировки	2	1,00	40
3620397-02	265	0,02	Малярная	2	1,00	50
3620397-02	191	0,00	Контроль малярных работ	2	1,00	60
3620397-02	540	0,05	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	90
3620397-02	551	0,04	Пропитка	2	1,00	100
3620397-02	343	0,02	Монтаж	2	1,00	170
3620397-02	266	0,17	Маркирование	2	1,00	220
3620433	686	0,67	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	3	1,00	10
3620433	540	0,33	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	1,00	20
3620433	343	1,25	МОНТАЖ	3	1,00	50
3620433	686	4,00	СБОРКА	3	1,00	60
3620433	343	61,00	МОНТАЖ	3	1,00	70
3620433	686	2,00	СБОРКА	3	1,00	80
3620433	686	2,00	СБОРКА	3	1,00	90
3620433	343	1,00	МОНТАЖ	3	1,00	100
3620433	266	0,33	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	110
3620433	201	7,00	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	120
3620433	686	0,70	СБОРКА	3	1,00	130
3620433	201	0,33	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	140
3620433	582	0,08	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	150
3620433	582	3,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	160
3620433	582	3,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	3	1,00	170
3620433	201	3,60	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	180
3620433	686	0,80	СБОРКА	3	1,00	190
3620433	343	2,50	МОНТАЖ	3	1,00	200
3620433	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	3	1,00	210
3620433	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	3	1,00	220
3620433	582	3,60	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	3	1,00	230
3620433	686	0,70	СБОРКА	3	1,00	240
3620433	201	0,07	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	250
3620433	686	0,13	СБОРКА	3	1,00	260
3620433	201	0,04	КОНТРОЛЬ ОТК	3	1,00	270
3620433-01	686	0,50	Подготовительная для сборки	2	1,00	10

3620433-01	540	0,10	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	20
3620433-01	343	0,20	Подготовительная для монтажа	2	1,00	50
3620433-01	343	0,70	Монтаж	2	1,00	60
3620433-01	686	5,00	Сборка	2	1,00	70
3620433-01	343	23,50	Монтаж	2	1,00	80
3620433-01	343	50,00	Монтаж	2	1,00	90
3620433-01	686	2,00	Сборка	2	1,00	100
3620433-01	686	1,83	Сборка	2	1,00	110
3620433-01	343	2,30	Монтаж	2	1,00	120
3620433-01	266	1,40	Маркирование	2	1,00	130
3620433-01	205	7,00	Контроль прочих величин и характеристик	2	1,00	140
3620433-01	686	0,83	Сборка	2	1,00	150
3620433-01	201	0,33	Контроль ОТК	2	1,00	160
3620433-01	582	2,60	Регулировочная	2	1,00	170
3620433-01	582	1,30	Регулировочная ОТК	2	1,00	180
3620433-01	201	0,10	Контроль ОТК	2	1,00	190
3620433-01	686	1,00	Сборка	2	1,00	200
3620433-01	343	4,00	Монтаж	2	1,00	210
3620433-01	686	0,25	Сборка	2	1,00	220
3620433-01	201	0,05	Контроль сборки	2	1,00	230
3620434	686	0,40	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	2	1,00	10
3620434	686	0,40	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	3	1,00	10
3620434	540	0,33	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	2	1,00	20
3620434	540	0,33	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	3	1,00	20
3620434	551	0,10	ПРОПИТКА	2	1,00	50
3620434	551	0,10	ПРОПИТКА	3	1,00	50
3620434	686	0,30	КАЛИБРОВКА	2	1,00	60
3620434	686	0,30	КАЛИБРОВКА	3	1,00	60
3620434	343	0,50	МОНТАЖ	2	1,00	70
3620434	343	0,50	МОНТАЖ	3	1,00	70
3620434	686	4,20	СБОРКА	2	1,00	80
3620434	686	4,20	СБОРКА	3	1,00	80
3620434	343	24,00	МОНТАЖ	2	1,00	90
3620434	343	24,00	МОНТАЖ	3	1,00	90

3620434	686	1,50	СБОРКА	2	1,00	100
3620434	686	1,50	СБОРКА	3	1,00	100
3620434	266	0,40	МАРКИРОВАНИЕ	2	1,00	110
3620434	266	0,40	МАРКИРОВАНИЕ	3	1,00	110
3620434	343	1,60	МОНТАЖ	2	1,00	120
3620434	343	1,60	МОНТАЖ	3	1,00	120
3620434	205	2,50	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	2	1,00	130
3620434	205	2,50	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	3	1,00	130
3620434	686	0,50	СБОРКА	2	1,00	140
3620434	686	0,50	СБОРКА	3	1,00	140
3620434	343	1,00	МОНТАЖ	2	1,00	150
3620434	343	1,00	МОНТАЖ	3	1,00	150
3620434	205	0,10	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	2	1,00	160
3620434	205	0,10	КОНТРОЛЬ МОН-ТАЖНЫХ РАБОТ	3	1,00	160
3620434	686	0,50	СБОРКА	2	1,00	170
3620434	686	0,50	СБОРКА	3	1,00	170
3620434	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	2	1,00	200
3620434	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	3	1,00	200
3620434	343	1,00	МОНТАЖ	2	1,00	210
3620434	343	1,00	МОНТАЖ	3	1,00	210
3620434	686	0,60	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	220
3620434	686	0,60	СБОРКА ОТК, ВП	3	1,00	220
3620434	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	230
3620434	201	0,10	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	3	1,00	230
3620435	686	0,17	Подготовительная для сборки	2	1,00	10
3620435	540	0,25	Приготовление (смесей, флюсов, композиций и рецептур)	2	1,00	40
3620435	551	0,10	Пропитка	2	1,00	50
3620435	460	0,00	Программная	2	1,00	60
3620435	460	0,03	Маркирование лазерное	2	1,00	70
3620435	265	0,01	Малярная	2	1,00	80
3620435	201	0,01	Контроль гравировки	2	1,00	90
3620435	343	0,10	Подготовительная для монтажа	2	1,00	100
3620435	343	0,70	Монтаж	2	1,00	110
3620435	686	3,50	Сборка	2	1,00	120
3620435	463	0,67	Оплеточная	2	1,00	130
3620435	343	29,00	Монтаж	2	1,00	140
3620435	343	91,00	Монтаж	2	1,00	150
3620435	686	2,00	Сборка	2	1,00	160
3620435	343	8,00	Монтаж	2	1,00	170
3620435	266	1,70	Маркирование	2	1,00	180
3620435	201	15,00	Контроль ОТК	2	1,00	190
3620435	686	0,40	Сборка	2	1,00	200
3620435	582	0,15	Регулировочная	2	1,00	210
3620435	582	8,00	Регулировочная	2	1,00	220
3620435	686	1,83	Сборка	2	1,00	230
3620435	343	1,00	Монтаж	2	1,00	240
3620435	343	0,80	Лакирование	2	1,00	250

3620435	201	0,10	Контроль лакировки	2	1,00	260
3620435	582	3,30	Регулировочная	2	1,00	270
3620435	582	0,09	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	280
3620435	582	2,30	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	290
3620435	582	1,13	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	300
3620435	582	0,77	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	310
3620435	582	0,38	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	320
3620435	582	3,84	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	330
3620435	582	0,56	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	340
3620435	582	3,00	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	350
3620435	686	0,33	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	360
3620435	686	0,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	370
3620435	582	2,30	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	380
3620435	686	1,30	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	390
3620435	343	1,00	Монтаж ОТК, ВП	2	1,00	400
3620435	582	0,38	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	410
3620435	582	2,30	Регулировочная ОТК, ВП	2	1,00	420
3620435	201	15,50	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	430
3620435	686	1,50	Сборка	2	1,00	440
3620435	343	1,00	Монтаж	2	1,00	450
3620435	201	0,50	Контроль ОТК	2	1,00	460
3620435	582	3,30	Регулировочная ОТК	2	1,00	470
3620435	582	3,00	Регулировочная ОТК	2	1,00	480
3620435	582	4,35	Регулировочная ОТК	2	1,00	490
3620435	582	0,28	Регулировочная ОТК	2	1,00	500
3620435	582	2,30	Регулировочная ОТК	2	1,00	510
3620435	582	0,28	Регулировочная ОТК	2	1,00	520
3620435	582	2,30	Регулировочная ОТК	2	1,00	530
3620435	201	7,00	Контроль ОТК	2	1,00	540
3620435	686	1,50	Сборка	2	1,00	550
3620435	343	1,00	Монтаж	2	1,00	560
3620435	201	0,13	Контроль ОТК	2	1,00	590
3620435	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	600
3620435	582	3,30	Регулировочная ВП	2	1,00	610
3620435	582	3,00	Регулировочная ВП	2	1,00	620
3620435	582	3,00	Регулировочная ВП	2	1,00	630
3620435	582	0,28	Регулировочная ВП	2	1,00	640
3620435	582	2,30	Регулировочная ВП	2	1,00	650
3620435	582	0,28	Регулировочная ВП	2	1,00	660
3620435	582	2,30	Регулировочная ВП	2	1,00	670
3620435	201	0,00	Контроль ВП	2	1,00	680
3620435	686	1,50	Сборка ОТК, ВП	2	1,00	690
3620435	201	0,10	Контроль ОТК, ВП	2	1,00	700
3620437	686	0,23	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ СБ	2	1,00	10

3620437	540	0,40	ПРИГОТОВЛЕНИЕ (СМЕСЕЙ,	2	1,00	20
3620437	343	0,10	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ДЛЯ МО	2	1,00	30
3620437	460	0,00	ПРОГРАММНАЯ	2	1,00	40
3620437	460	0,02	МАРКИРОВАНИЕ ЛА-ЗЕРНОЕ	2	1,00	50
3620437	460	0,01	МАЛЯРНАЯ	2	1,00	60
3620437	185	0,01	КОНТРОЛЬ ГРАВИ-РОВКИ	2	1,00	70
3620437	551	0,01	ПРОПИТКА	2	1,00	100
3620437	343	0,20	МОНТАЖ	2	1,00	110
3620437	686	3,00	СБОРКА	2	1,00	120
3620437	343	3,00	МОНТАЖ	2	1,00	130
3620437	343	7,00	МОНТАЖ	2	1,00	140
3620437	686	0,63	СБОРКА	2	1,00	150
3620437	343	1,50	МОНТАЖ	2	1,00	160
3620437	266	0,20	МАРКИРОВАНИЕ	2	1,00	170
3620437	201	1,45	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	2	1,00	180
3620437	686	0,30	СБОРКА	2	1,00	190
3620437	201	0,03	КОНТРОЛЬ ПРОЧИХ ВЕЛИЧИН	2	1,00	200
3620437	686	0,12	СБОРКА	2	1,00	210
3620437	201	0,12	КОНТРОЛЬ СБОРКИ	2	1,00	220
3620437	582	0,70	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ	2	1,00	230
3620437	201	0,50	КОНТРОЛЬНАЯ	2	1,00	240
3620437	582	0,09	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	250
3620437	582	1,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	260
3620437	582	1,13	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	270
3620437	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	280
3620437	582	0,35	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	290
3620437	582	2,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	300
3620437	582	1,03	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	310
3620437	582	2,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	320
3620437	582	0,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	330
3620437	582	0,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	340
3620437	201	2,50	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	350
3620437	686	0,06	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	360
3620437	686	0,33	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	370
3620437	686	0,60	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	380
3620437	343	0,25	МОНТАЖ ОТК, ВП	2	1,00	390
3620437	582	0,50	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	400
3620437	201	0,50	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	410
3620437	582	0,38	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	420
3620437	582	1,00	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	430

3620437	201	1,00	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	440
3620437	686	0,25	СБОРКА	2	1,00	450
3620437	343	0,25	МОНТАЖ	2	1,00	460
3620437	201	0,17	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	470
3620437	582	0,70	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	480
3620437	201	0,50	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	490
3620437	582	0,28	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	500
3620437	582	2,10	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	510
3620437	201	2,00	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	520
3620437	582	0,28	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	530
3620437	582	2,10	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК	2	1,00	540
3620437	201	2,00	КОНТРОЛЬ ОТК	2	1,00	550
3620437	686	0,50	СБОРКА	2	1,00	560
3620437	343	0,25	МОНТАЖ	2	1,00	570
3620437	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	580
3620437	582	2,10	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	590
3620437	582	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	600
3620437	582	0,28	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	610
3620437	582	2,10	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	620
3620437	582	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	630
3620437	582	0,28	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	640
3620437	582	2,10	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ВП	2	1,00	650
3620437	201	0,00	КОНТРОЛЬ ВП	2	1,00	660
3620437	686	0,12	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	670
3620437	201	0,12	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	680
3620437	686	0,20	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	690
3620437	201	0,20	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	700
3620437	582	0,70	РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ОТК, ВП	2	1,00	710
3620437	201	0,70	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	720
3620437	686	0,50	СБОРКА ОТК, ВП	2	1,00	730
3620437	201	0,13	КОНТРОЛЬ ОТК, ВП	2	1,00	740

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Свидетельства о регистрации интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2795106

Метод синхронного производственного планирования и комплекс для его осуществления

Патентообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский федеральный университет" (RU)***

Авторы: ***Капулин Денис Владимирович (RU), Дрозд Олег Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU)***

Заявка № **2022116518**
Приоритет изобретения **17 июня 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **28 апреля 2023 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **17 июня 2042 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022661968

Программа динамического формирования карты потока создания ценности

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Капулин Денис Владимирович (RU), Смоглюк Сергей Юрьевич (RU), Русских Полина Андреевна (RU), Дрозд Олег Владимирович (RU)***

Заявка № **2022661585**

Дата поступления **14 июня 2022 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***28 июня 2022 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022664936

Программа обработки технологической документации

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Романов Никита Витальевич (RU), Капулин Денис Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU), Дрозд Олег Владимирович (RU)***

Заявка № **2022663584**

Дата поступления **19 июля 2022 г.**

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ ***08 августа 2022 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022664430

Программа отслеживания и контроля передвижения изделия

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Романов Никита Витальевич (RU), Капулин Денис Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU), Дрозд Олег Владимирович (RU)***

Заявка № **2022663635**
Дата поступления **19 июля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***29 июля 2022 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019616292

Программный модуль разузлования материалокомплектов

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Чорномаз Руслан Игоревич (RU), Яшанина Дарья Алексеевна (RU), Капулин Денис Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU)***

Заявка № **2019611734**
Дата поступления **21 февраля 2019 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***22 мая 2019 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022664429

Программа формирования диаграммы Ганта по производственному заказу

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Романов Никита Витальевич (RU), Капулин Денис Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU), Дрозд Олег Владимирович (RU)***

Заявка № **2022663634**
Дата поступления **19 июля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***29 июля 2022 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019616285

Программный модуль формирования истории изменений технологических нормативов

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Чорномаз Руслан Игоревич (RU), Яшанина Дарья Алексеевна (RU), Капулин Денис Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU)***

Заявка № **2019611833**
Дата поступления **26 февраля 2019 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***22 мая 2019 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019615956

Программный модуль нормализации состава изделия

Правообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) (RU)***

Авторы: ***Чорномаз Руслан Игоревич (RU), Яшанина Дарья Алексеевна (RU), Капулин Денис Владимирович (RU), Русских Полина Андреевна (RU)***

Заявка № **2019611747**
Дата поступления **22 февраля 2019 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***15 мая 2019 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты внедрения

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

660041, РОССИЯ, Красноярск, проспект Свободный, 79
телефон: (391) 2-44-82-13, тел./факс: (391) 2-44-86-25
sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

_____ № _____

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ Д.С. Гуц
«__» октября 2023 г.

А К Т

об использовании результатов диссертационной работы «Автоматизированная система планирования монтажно-сборочных процессов производства радиоэлектронной аппаратуры» Русских Полины Андреевны в учебном процессе Сибирского федерального университета

Комиссия в составе:

1. Председатель – Вайнштейн Юлия Владимировна, заместитель директора института космических и информационных технологий по учебной работе, доктор педагогических наук, профессор.
2. Члены комиссии:

- Чжан Екатерина Анатольевна, заместитель директора института космических и информационных технологий по информационной политике, канд. техн. наук, доцент;
- Климов Алексей Сергеевич, заведующий кафедрой систем автоматитики, автоматизированного управления и проектирования, канд. техн. наук, доцент;
- Носкова Елена Евгеньевна, доцент кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования, канд. техн. наук, доцент;

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Русских П.А. использованы в учебном процессе института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета по направлению подготовки магистров:- 27.04.04 – Управление в технических системах.

В рамках обучения по дисциплинам «Имитационное моделирование технологических и производственных процессов», «Производственная логистика» используются авторские учебные материалы Русских П.А., полученные при выполнении диссертационного исследования. Результаты диссертационного исследования Русских П.А, используемые в учебном процессе, включены в состав электронных обучающих курсов и учебно-методических пособий по указанным дисциплинам, способствуют повышению уровня подготовки студентов и расширяют диапазон их знаний.

Председатель: _____ Ю.В. Вайнштейн

Члены комиссии:

_____ Е.А.Чжан

_____ А.С.Климов

_____ Е.Е. Носкова

Акционерное общество
«Научно-производственное
предприятие «Радиосвязь»
(АО «НПП «Радиосвязь»)
ул. Декабристов, д. 19, Красноярск, 660021
Тел. (391) 204-11-02,
тел./факс (391) 204-12-38
E-mail:info@krtz.su
ОКПО 44589548,
ОГРН 1122468072231
ИНН/КПП 2460243408/246001001

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора –
Технический директор

_____ Е.В. Богатырев

«___» _____ 2024 г.

«25» 05 2024 г. № 04-7798
На № _____ от «_____»_____20____ г.

А К Т

об использовании результатов диссертационного исследования Русских Полины Андреевны по теме «Автоматизированная система планирования монтажно-сборочных процессов производства радиоэлектронной аппаратуры»

Комиссия в составе:

1. Председатель – Гарифуллин Эмиль Фанисович, начальник производственного отдела.

2. Члены комиссии:

- Грудинин Артем Владимирович, главный контролер;
- Рыжков Иван Анатольевич, главный метролог,

составила настоящий акт о том, что следующие результаты диссертационного исследования Русских Полины Андреевны использованы в производственной деятельности предприятия АО «НПП «Радиосвязь»:

- мультиагентная имитационная модель монтажно-сборочного производства для оптимизации и управления ресурсами предприятия;
- способ автоматизированного мониторинга на основе имитационного моделирования для оперативного анализа узких мест и оценки эффективности процессов планирования производства.

Приведенные выше результаты исследования реализованы в виде авторского программного обеспечения автоматизации процессов планирования монтажно-сборочных процессов. Применение указанных результатов позволяет сократить время монтажно-сборочного цикла на 8% и объем незавершенного производства на 4%.

Председатель: _____ Э.Ф. Гарифуллин

Члены комиссии: _____ А.В. Грудинин

_____ И.А. Рыжков