

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения»

На правах рукописи



СКОРНЯКОВА Елизавета Алексеевна

МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Специальность:

05.02.22 – Организация производства
(радиоэлектроника и приборостроение)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук,
старший научный сотрудник, академик Метрологической
академии Российской Федерации
Сулаберидзе Владимир Шалвович

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	12
1.1 Современные тенденции организации производственных процессов и внедрения автоматизированных систем планирования.....	12
1.2 Структурный анализ организации процесса производственного планирования.....	21
1.3 Особенности организации процесса планирования поточного производства на основе принципов «бережливого производства».....	26
1.4 Показатели результативности процесса производственного планирования.....	32
1.5 Идентификация и оценка рисков процесса производственного планирования.....	36
1.6 Выводы к разделу 1.....	45
2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИК ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	47
2.1 Разработка модели организации процесса производственного планирования.....	47
2.2 Математическое моделирование процесса создания плана поточного производства.....	52
2.3 Разработка методики расчета времени такта.....	57
2.4 Разработка методики построения плана поточного производства.....	61
2.5 Выводы к разделу 2.....	66
3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО ОПИСАННЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ.....	67
3.1 Выбор методологии разработки автоматизированной системы производственного планирования.....	67
3.2 Формирование структуры базы данных.....	70
3.3 Разработка пользовательского интерфейса.....	77

3.4 Порядок работы с разработанным программным средством	80
3.5 Выводы к разделу 3.....	89
4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА	91
4.1 Общие положения	91
4.2 Выбор оптимального алгоритма расчета времени такта	93
4.3 Проведение экспериментов построения планов	97
4.4 Оценка результативности процесса производственного планирования в автоматизированной системе.....	105
4.5 Выводы к разделу 4.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Согласно директивным документам Правительства Российской Федерации: «Прогноз научно-технологического развития РФ: 2030», утвержденный Правительством РФ 3 января 2014 года [1]; Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» [2]; Указ от 7 мая 2018 года №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [3], а также приказ Минпромторга России от 20 июня 2017 года № 1907 «Об утверждении Рекомендаций по применению принципов бережливого производства в различных отраслях промышленности» [4] – создание и внедрение автоматизированных производственных систем, нацеленных на сокращение времени производственных процессов и использующих в своем арсенале инструменты бережливого производства, является одним из приоритетных направлений технологического развития страны.

Перед современными приборостроительными предприятиями стоит ряд проблем, связанных с постоянно растущей сложностью продукции и повышением технических требований к производствам. Методами решения таких проблем являются внедрение новых информационных технологий и модернизация производственного оборудования, а также внедрение новых методов организации производства. При этом резко возрастает потребность в автоматизированных системах, позволяющих сократить время осуществления процессов и повысить их результативность.

Повышение темпов роста экономики, создание и применение на отечественных предприятиях интегрированных производственных систем, позволяющих существенно увеличить результативность и производительность, сократить сроки на подготовку производства, разработку и освоение новой продукции, а также достигнуть требуемого

уровня качества при меньших затратах, все это обуславливает потребность в более широком и интенсивном применении современных методов планирования и внедрения принципов бережливого производства в приборостроении.

Отдельно следует отметить, что основным трендом развития отечественной промышленности стал переход к поточному методу организации производства, характеризующегося определенным тактом выполнения каждого процесса и, как следствие, требующим создания новых средств автоматизации.

Планирование является одним из важнейших процессов, от которого зависит эффективность деятельности предприятия. Результативность процесса планирования напрямую влияет на качество изготавливаемой продукции и получаемую прибыль. Поэтому основным направлением повышения результативности организации процессов предприятия является разработка и внедрение автоматизированных систем управления.

Предлагаемые сегодня на рынке автоматизированные системы планирования класса MRP II, ERP, MES, APS не в полной мере соответствуют требованиям приборостроительных предприятий по ряду причин, главными из которых являются высокая стоимость таких систем, в том числе необходимость покупки постоянных обновлений, а также дополнительных модулей системы при запуске в производство новой продукции, отсутствие инструментов бережливого производства в основе системы, специфика используемой на предприятиях информации и методов организации производства, а также отсутствие возможности создания плана с «плавающим» горизонтом и возможности оперативного создания нескольких вариантов планов по различным критериям, которые являются стратегически важными элементами системы управления предприятиями. Именно эти обстоятельства дают основание считать разработку автоматизированной системы производственного планирования актуальной задачей для предприятий радиоэлектроники и приборостроения.

Степень научной разработанности темы. Вопросам организации производства и оптимизации времени производственных процессов посвящены труды таких исследователей, как Р. Акофф, А. Файоль, Г. Форд, М.Х. Мескон, Я. Монден, Ф. Тейлор, Г. Эмерсон, М. Хедоури, И. Ансофф, О.Е. Ерманский, Л.В. Канторович, О.С. Виханский, Г.Б. Клейнер и др.

Отдельно стоит отметить исследователей, внесших значительный вклад в создание инструментов и методов «бережливого производства»: Г. Тагути, К. Исикава, У. Шухарт, Э. Деминг, Дж. Лайкер, Д. Майер, В. Парето, М. Кеннеди и др.

Основы организационно-технических систем управления предприятием были разработаны следующими зарубежными учеными: Т. Воллман, Р. Гудфеллоу, Н. Гайвер, Р. Канет, Дж. Койл, Ф. Дж. Орлицки, Дж. Плоссл, Д. О'Лири, О. Уайт, из отечественных ученых можно выделить Д.А. Гаврилова, Б.Н. Гайфуллина, И.А. Обухова и др.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных вопросам организации производств и разработке автоматизированных систем планирования, следует отметить, что в них не отражены в достаточной мере проблемы автоматизации процесса планирования поточного приборостроительного производства с целью оперативного создания планов с плавающим горизонтом на основе расчета оптимального времени такта. Поиск средств сокращения времени процесса производственного планирования, разработка моделей этого процесса, позволяющих повысить его результативность, а также разработка методик создания планов на основе расчета времени такта и составили основу постановки цели и задач диссертации.

Целью диссертационной работы является повышение результативности организации приборостроительного предприятия путем разработки моделей и методик планирования производственных процессов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести анализ организации поточного производства приборостроительного предприятия, выявить особенности процесса планирования и сформулировать критерии его результативности;
2. Разработать модель организации процесса планирования с целью обеспечения оперативного взаимодействия подразделений предприятия и повышения результативности;
3. Разработать методику и модель построения планов различного горизонта, учитывающих специфику организации поточного производства приборостроительного предприятия;
4. Разработать методику расчета времени такта, позволяющую достигать наименьшей разницы между планом и заказом при учете различных ограничений;
5. Реализовать разработанные модели и методики в виде автоматизированной системы производственного планирования поточного производства и провести экспериментальное исследование и оценку результатов ее использования.

Объектом исследования является процесс планирования производственных процессов приборостроительного предприятия.

Предметом исследования являются модели и методики, позволяющие повысить результативность процесса планирования приборостроительного предприятия.

Теоретической и методологической базой исследования послужили научные труды отечественных и зарубежных ученых в области теории организации производства, теории производственного планирования, научные разработки в области автоматизации производственных процессов.

Методами исследования при решении поставленных задач являются методы математического моделирования, логического и сравнительного анализа, визуализации информации, бережливого производства, оценки рисков.

Информационной основой исследовательской работы являются научно-методические, научно-исследовательские материалы институтов и организаций, образовательных учреждений, научных и периодических изданий.

Область исследования соответствует пункту 3 «Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях», пункту 4 «Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов», пункту 9 «Разработка методов и средств организации производства в условиях технических и экономических рисков» и пункту 11 «Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами» паспорта специальности 05.02.22 – Организация производства (по отраслям).

Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Модель организации процесса планирования, позволяющая упорядочить процесс документооборота и взаимодействия участников за счет выделения устойчивого подмножества с целью повышения результативности исследуемого процесса;
2. Методика и модель построения планов производства различного горизонта, учитывающие ограничения и специфику организации поточного производства приборостроительного предприятия;
3. Методика расчета времени такта, позволяющая достигать минимальной разницы плана и заказа при учете различных ограничений;
4. Автоматизированная система производственного планирования приборостроительного предприятия поточного типа, позволяющая повысить результативность исследуемого процесса.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработана модель организации процесса планирования приборостроительного предприятия, позволяющая осуществлять взаимодействие всех участников внутри одного устойчивого подмножества в режиме реального времени с целью повышения результативности процесса производственного планирования;
2. Предложены многокритериальная модель и методика процесса создания производственного плана приборостроительного предприятия поточного типа, позволяющие создавать план любого горизонта с учетом большого количества входных данных;
3. Разработана методика расчета оптимального времени такта при учете различных ограничений, обеспечивающая наибольшее соответствие объема производства заказу для планов любой длительности, не имеющая аналогов;
4. Создана новая автоматизированная система производственного планирования на основе разработанных моделей и методик, повышающая результативность исследуемого процесса.

Практическая значимость результатов работы:

1. Разработанная модель организации процесса планирования позволила упорядочить обмен информацией между подразделениями и цехами предприятия, при большом количестве которых анализ связей затрудняется и превращается в хаос, а также позволила получить наглядную информацию о потоках данных и уровнях значимости документов;
2. Предложенные модель и методики построения плана и расчета оптимального времени такта могут быть применены не только в приборостроении, но и в автомобилестроении, машиностроении и других областях;
3. Формирование версий производственного плана в автоматизированной системе на основе оперативно внесенной информации и их оценка в режиме реального масштаба времени

позволяют значительно повысить результативность процесса планирования;

4. Автоматизированная система позволяет хранить всю необходимую информацию в одной базе данных, осуществлять планирование как по месяцам, так и по производственным периодам, учитывать различные критерии создания плана, сохранять историю версий производственного плана и их оценки с целью учета при формировании будущих планов.

Достоверность научных результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью применения методов и принципов «бережливого производства», использованием современных средств проведения экспериментов, учетом современных научных достижений в области производственного планирования и в области применения инструментов «бережливого производства», а также положительными результатами экспериментов построения плана в автоматизированной системе, обсуждением результатов исследований на научно-практических конференциях, а также их публикацией в ведущих научных рецензируемых изданиях.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертационного исследования в виде основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, внедрены в деятельность АО «Лазерные системы», АО «НПП «Сигнал», АО «Северный пресс» и ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», что подтверждается соответствующими актами.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационного исследования были представлены на IX Общероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения» (Санкт-Петербург, 16 ноября 2016 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Наука и АСУ- 2018» (Москва, 30 октября 2018 г.), XI Общероссийской научно-практической

конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения» (Санкт- Петербург, 15 ноября 2018 г.), Международном семинаре «Передовые технологии в материаловедении, машиностроении и автоматизации» (Красноярск, 04-06 апреля 2019 г.) и Международном форуме «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» (Санкт- Петербург, 4 марта 2019 г.).

Публикации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 17 научных работ (в том числе 5 без соавторов), включая 6 работ в рецензируемых научных изданиях ВАК и 2 статьи в журнале, индексируемом международными базами Web of Science и Scopus, получены свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и базы данных.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованной литературы из 103 наименований и 2 приложений. Текст диссертации изложен на 124 страницах, содержит 55 рисунков и 16 таблиц, общий объем с учетом приложений составляет 140 страниц.

1 АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

1.1 Современные тенденции организации производственных процессов и внедрения автоматизированных систем планирования

Организация производства на предприятии является видом деятельности, нацеленным на объединение всех составляющих процесса производства в единый процесс с целью обеспечения максимальной эффективности их взаимодействия и повышения результативности этих процессов. Исследованию видов, форм и инструментов организации производства посвящено большое количество научных работ [5-11].

К наиболее прогрессивному способу организации производственного процесса относят поточное производство [12-14]. Переход на поточный тип производства является одним из главных векторов развития промышленности нашей страны. Ключевыми особенностями такого вида производства является определенный такт выпуска продукции, синхронизированное время всех технологических операций, выполнение которых происходит на специализированных рабочих местах, расположенных в виде потока. Концепция поточного производства является одним из основных подходов «бережливого производства». Основные методы и инструменты «бережливого производства» отражены в серии современных отечественных стандартов [15-18], которые обосновывают необходимость их повсеместного применения и описывают назначение, этапы применения и пр. Философия «бережливого производства» подразумевает вовлечение сотрудников всех уровней от руководителя до оператора на каждом технологическом процессе с целью создания гибкой производственной системы, оперативно реагирующей на спрос потребителя

и позволяющей производить продукцию высокого качества при минимальных потерях.

Помимо эффективных принципов, которые должны быть заложены в основу организации производственного процесса, существует ряд инструментов управления предприятием, к основным из которых относится планирование [19-21]. Производственное планирование является процессом по разработке планов, основанном на определении с учетом производственных ограничений объемов производства максимально соответствующих уровню заказа. Основная цель производственного планирования заключается в том, чтобы быть эффективным инструментом достижения поставленных целей предприятия, т.е. своевременно оценивать риски, выявлять средства и альтернативные пути достижения целей и выбирать соответствующие мероприятия [22]. В зависимости от горизонта планирования можно выделить следующие категории [23-25]:

- перспективное планирование;
- текущее планирование;
- оперативно- производственное планирование.

Категории планирования предприятия представлены на рисунке 1.1.

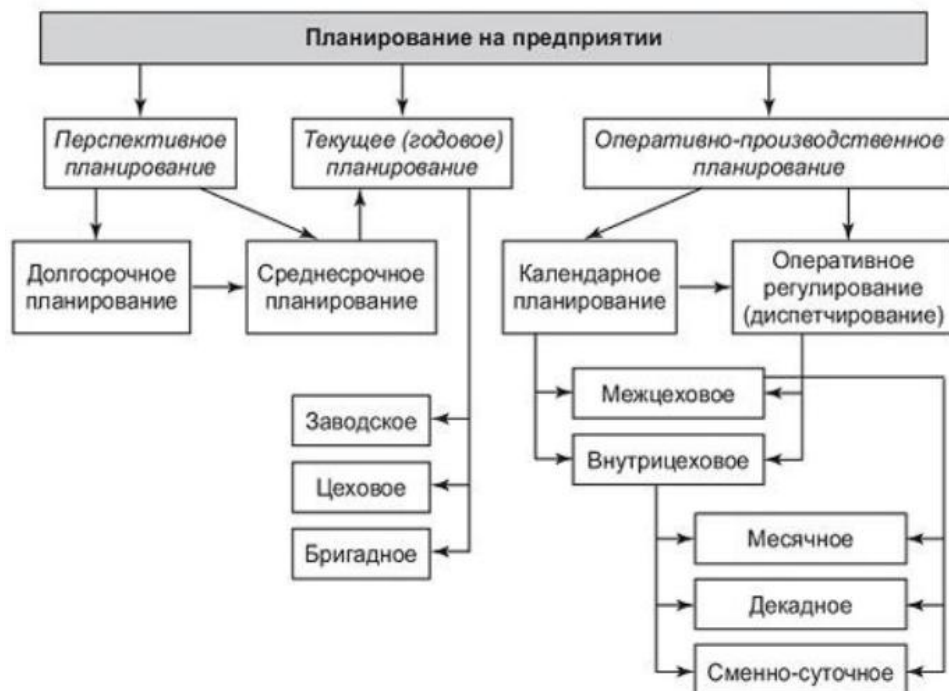


Рисунок 1.1 – Категории планирования предприятия [26]

В зависимости от специфики предприятий горизонт планирования каждой из категорий планов варьируется. Как правило, перспективное планирование разделяется на долгосрочное с горизонтом в 10-15 лет, а также среднесрочное с горизонтом 5-10 лет [27]. Но ввиду отсутствия строгой регламентации горизонта планирования каждое из предприятий само решает оптимальные временные промежутки, на которые составляется план. На данный момент наиболее распространены долгосрочные планы горизонтом в 5 лет, среднесрочные в 2-3 года. Текущее планирование обычно осуществляется для планов горизонтом в один год и подразделяется на заводское, цеховое и бригадное.

Планирование производства в настоящих исследованиях рассматривается как задача создания плана предприятия с плавающим горизонтом, т.е. временной промежуток планирования полностью определяется заказом на продукцию, но детализация такого плана включает посменное планирование на весь горизонт, что также говорит об уникальности проводимых исследований.

Необходимость такого планирования обусловлена в первую очередь следующими факторами:

- 1) детальное долгосрочное планирование позволяет показать максимально точные данные о требуемых для покрытия заказа ресурсах, своевременно начать подготовку как самого производства, так и поставщиков комплектующих;
- 2) необходимость адекватной оценки и планирования производственных мощностей и человеческих ресурсов для покрытия как пиков, так и спадов, спроса на продукцию;
- 3) такое планирование является главной основой для детальной оценки рисков предприятия.

Реализация принципов «бережливого производства» в планировании приборостроительного предприятия возможна с помощью информационных

технологий (ИТ). ИТ зависят от специфики производства, для которых они выбираются.

В настоящее время современные методологии производственного планирования реализованы различными классами информационных систем (ИС). Наибольшую известность получили MRP [28] и ERP [29] системы, а также более современные системы CSRP, MES и APS. Отдельно стоит сказать про наиболее известные отечественные разработки в области планирования, реализованные корпорацией «Галактика» (ЕПП, АММ), компанией «АСКОН» (Лоцман: PLM [30, 31], Гольфстрим [32]), «1С: ERP» [33] от компании «1С» и др. В зависимости от целей планирования и функций, которые должны быть автоматизированы, руководство выбирает к внедрению одну или несколько систем. На рисунке 1.2 представлен цикл производственного планирования с разбивкой на функции в соответствии с принятой терминологией приведенных выше систем и обозначен функциональный охват каждой из этих систем.

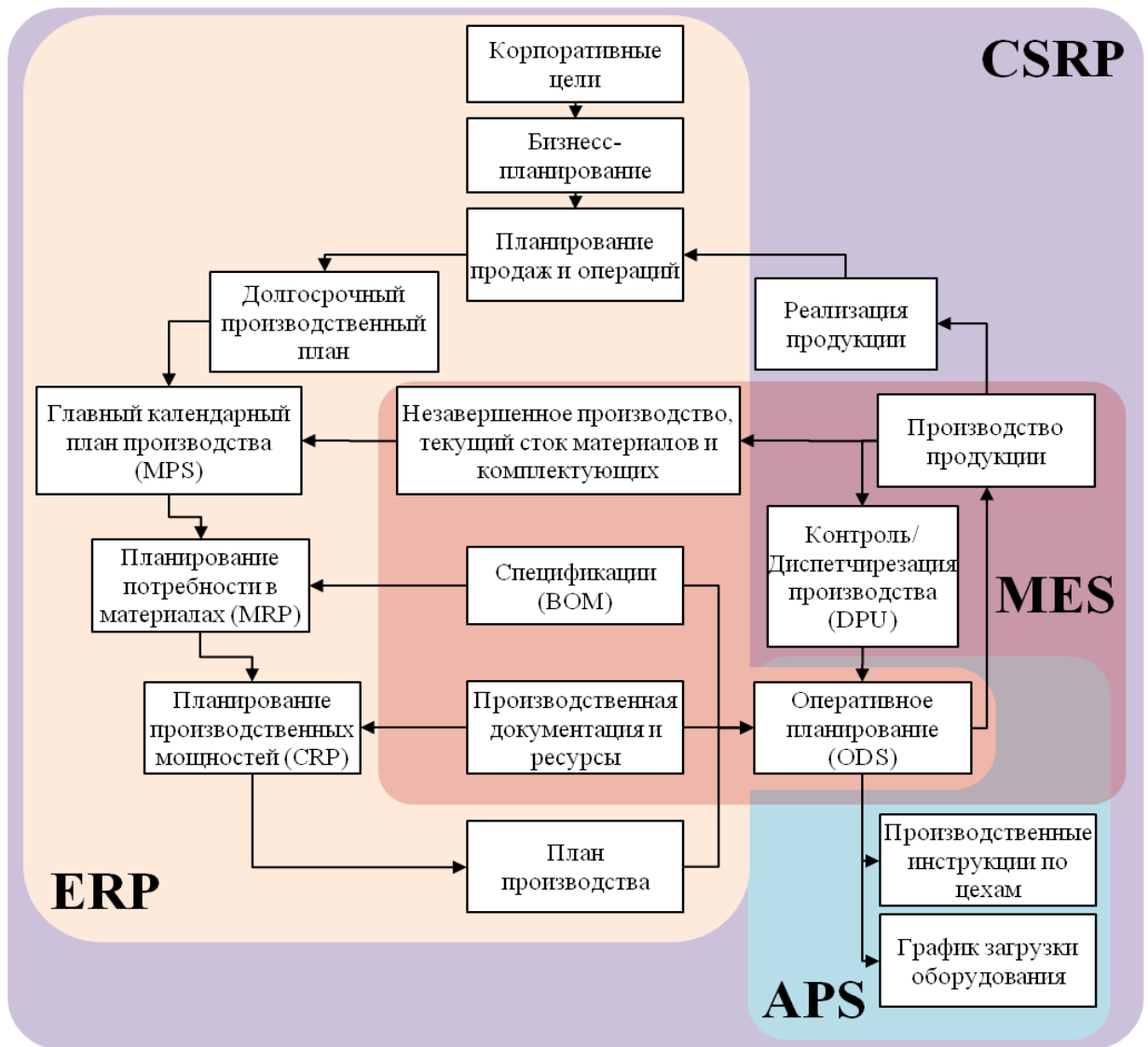


Рисунок 1.2 - Информационные системы производственного планирования

Как видно из рисунка 1.2, 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 [34-38].

К основным недостаткам существующих на сегодняшний день автоматизированных систем (АС) планирования можно отнести следующие:

- 1) высокая стоимость таких систем, необходимость покупки постоянных обновлений у разработчика наряду с отсутствием учета специфики

- приборостроительных предприятий, в результате чего предприятиям приходится либо осуществлять доработку купленных систем собственными ИТ-отделами, либо поступаться своим требованиям и упрощать систему управления;
- 2) отсутствие инструментов бережливого производства в основе системы, позволяющих стандартизировать процессы предприятия и осуществлять эффективное управление;
 - 3) горизонт планирования зачастую определяется типом системы – предприятиям приходится делать выбор: либо долгосрочное планирование в разрезе месяцев, либо оперативное планирование горизонтом в 3-10 смен;
 - 4) отсутствие возможности создания долгосрочных планов для каждой смены с учетом плановых остановок производства и поправочных коэффициентов, за счет использования которых цеха и производственные подразделения могут проводить наиболее полную оценку рисков, а также рассчитываемые объемы производства являются более точными, чем расчет среднего на месяц.

Особый интерес для проводимых исследований представляют организационно-производственные системы, использующие в своем арсенале уникальные принципы и правила построения производственных планов. Актуальность развития таких систем обусловлена необходимостью снижения рисков в условиях нестабильного рынка, а также подтверждается рядом принятых Правительством РФ директив [1-4].

В указанные выше системы разработчиками закладываются различные типы планирования и управления производством. В зависимости от того, каким образом должен быть реализован производственный план, выделяется четыре типа систем [28]:

- 1) система пополнения запасов;
- 2) система, ориентированная на «узкие места» производства (focused on bottlenecks);

3) проталкивающая система (push system);

4) притягивающая система (pull system).

Основной акцент в системах пополнения запасов сделан на поддержании постоянного уровня запасов на каждой из стадий производства с целью обеспечения его всем необходимым. Данный механизм хорош тем, что требует минимум информации, проходящей через все звенья производственной системы. Так как необходимое для производства количество единиц продукции может быть неизвестно, продукты всех типов производятся заранее и хранятся в виде запаса. В случае, если предприятия, позиционируют свою продукцию, как производимую в соответствии с заказом, а не на склад, то используется недовыполнение поставок продукции покупателю вместо запасов произведенной продукции. Основными недостатками такой системы являются излишние запасы продукции и отсутствие гибкости при реакции на требования потребителей. Несмотря на то, что такой подход кажется устаревшим, он до сих пор используется на предприятиях, производящих недорогую легкодоступную продукцию, спрос на которую носит случайный характер.

Системы, ориентированные на «узкие места», нацелены на поиск ограничений в виде операций, машин, оборудований или стадий производственного процесса, которые сдерживают производство. Подход к управлению такими системами был разработан Голдраттом и получил название «теория ограничений» [39]. Суть такого подхода заключается в отыскании «узкого места» и подчинения всего производства ему. Управление ограничениями осуществляется за счет использования производственных буферов (буферных зон) с целью поддержания пропускной способности «узкого места». Для управления такими системами существуют специальные программные продукты, например, OPT (optimized production technology).

Проталкивающие системы характеризуются использованием информации о потребителях, поставщиках и производстве с целью управления материальным потоком. Поставки необходимых для

производства комплектующих и материалов планируются таким образом, чтобы поступать на производство к моменту, когда они необходимы для изготовления узлов и сборочных единиц. Узлы и сборочные единицы поступают на сборку также по мере их необходимости. Готовая продукция отгружается покупателям в соответствии с их заказами. Название «проталкивающие» такие системы получили вследствие того, что поступающие партиями материалы и комплектующие проталкивают другие партии дальше по процессам производства. Такой материальный поток планируется и контролируется комплексом графиков, регламентирующих время перехода партий с одной стадии производства на другую. Способность проталкивающих систем производить продукцию в сроки, обозначенные покупателем, напрямую зависит от корректности составляемых календарных планов, а корректность планов определяется точностью прогнозируемого спроса и длительностью производственного цикла. Главным преимуществом систем проталкивающего типа являются существенное снижение запасов и лучшее использование производственных ресурсов, особенно на предприятиях, ориентированных именно на производственный процесс. Примером такого типа систем является MRP- система.

Акцент притягивающих систем [40-42] делается именно на снижении уровня запасов на каждой из стадий производства. В притягивающих системах с целью своевременного понимания, когда материалы и комплектующие должны поступить на процесс, необходимо посмотреть производственный график, то в притягивающих системах необходимо посмотреть на следующий производственный процесс, что и является их ключевым отличием. Системы такого типа также получили название «Just-In-Time» (JIT) [43]. Производство, соответствующее такому типу систем, очень болезненно реагирует на любые отклонения от стандартного процесса, поэтому такие системы характеризуются максимально быстрым устранением любых проблем и постоянным улучшением процессов с целью их предотвращения. Успешное применение таких систем зарегистрировано на

небольших специализированных производствах и в поточном производстве, производящем типовые продукты на производственных линиях.

Системы ИТ характеризуются более совершенными технологиями организации производства и позволяют максимально эффективно использовать ресурсы предприятий. Особенно важны эти аспекты в приборостроительной отрасли, имеющей особое значение для российской экономики [44, 45].

Приборостроительная отрасль нуждается в совершенствовании технологий, с этой целью должны быть решены следующие задачи [46]:

- разработка и совершенствование технологий изготовления новых материалов [47];
- разработка инновационных технологий изготовления компонентной базы приборостроения;
- автоматизация процессов производства изделий приборостроительных предприятий;
- создание нового высокопроизводительного оборудования и технологической оснастки.

Несмотря на сложную экономическую ситуацию и другие негативные факторы, влияющие на предприятия приборостроительной отрасли, в сравнении с другими предприятиями им удается развиваться наиболее быстро – проведено и проводится обновление парка производственного оборудования, улучшается качество выпускаемых приборов и повышаются объемы сбыта отечественной приборостроительной продукции.

Рассмотренные ранее прогрессивные методы организации производства, а также указанные выше задачи и результаты в области развития отечественного приборостроения говорят о необходимости создании новых АС планирования на основе признанных инструментов и методов «бережливого производства». Разработка производственного плана, учитывающего прогнозируемый спрос, мощности оборудования и поставщиков, а также возможности использования человеческих ресурсов

является главной задачей процесса планирования производства и проводимых исследований, нацеленных на создание автоматизированной системы.

1.2 Структурный анализ организации процесса производственного планирования

Анализ процесса производственного планирования проведен на примере приборостроительных предприятий АО «Лазерные системы» и АО «Северный пресс», а также автомобилестроительного предприятия Филиала ООО «Тойота Мотор» в Санкт-Петербурге с целью более глубокого анализа процесса. Указанные предприятия характеризуются поточным типом производства, нестабильным спросом на продукцию и объемами выпуска.

Для анализа процесса производственного планирования использована методология IDEF0 [48]. Исследуемый процесс описан контекстной диаграммой A0 (рис. 1.3). Контекстная диаграмма (A0) определяет набор действий для разработки производственного плана, процесс рассматривается с точки зрения отдела производственного планирования (ОПП).

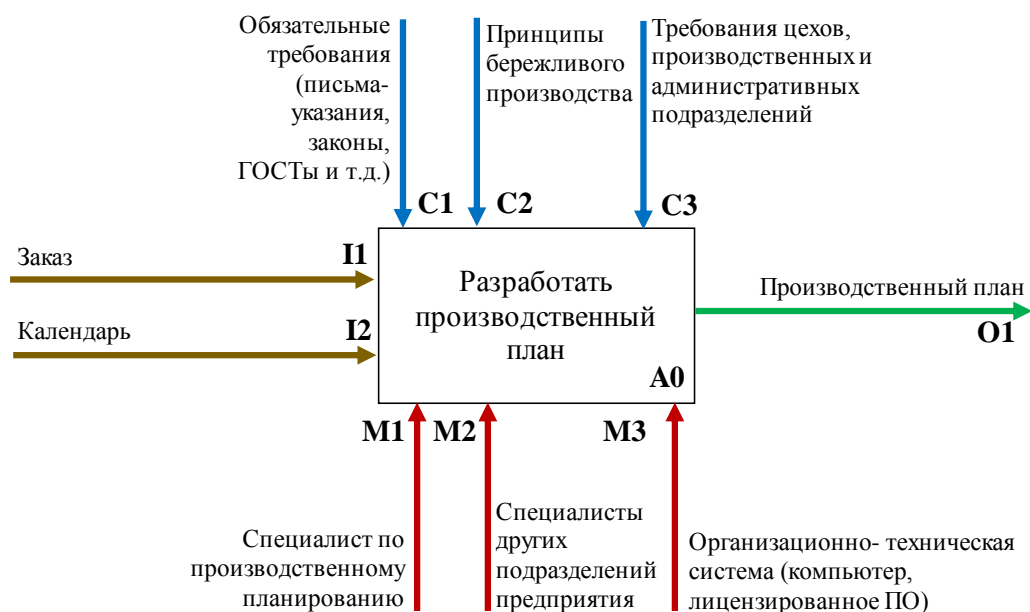


Рисунок 1.3 - Контекстная диаграмма процесса производственного планирования

Деятельностью узла A0 является создание производственного плана. Входными данными этого блока является заказ, а выходными – утвержденный производственный план. Управляющими воздействиями и ограничениями процесса планирования являются обязательные требования законодательных документов, требования цехов и других подразделений организации и принципы бережливого производства. Механизмами для выполнения процесса являются специалисты по производственному планированию, специалисты других подразделений предприятия и база данных (файл Excel).

На рисунке 1.4 представлена декомпозиция контекстной диаграммы узла A0, отображающая деятельность по разработке производственного плана [49].

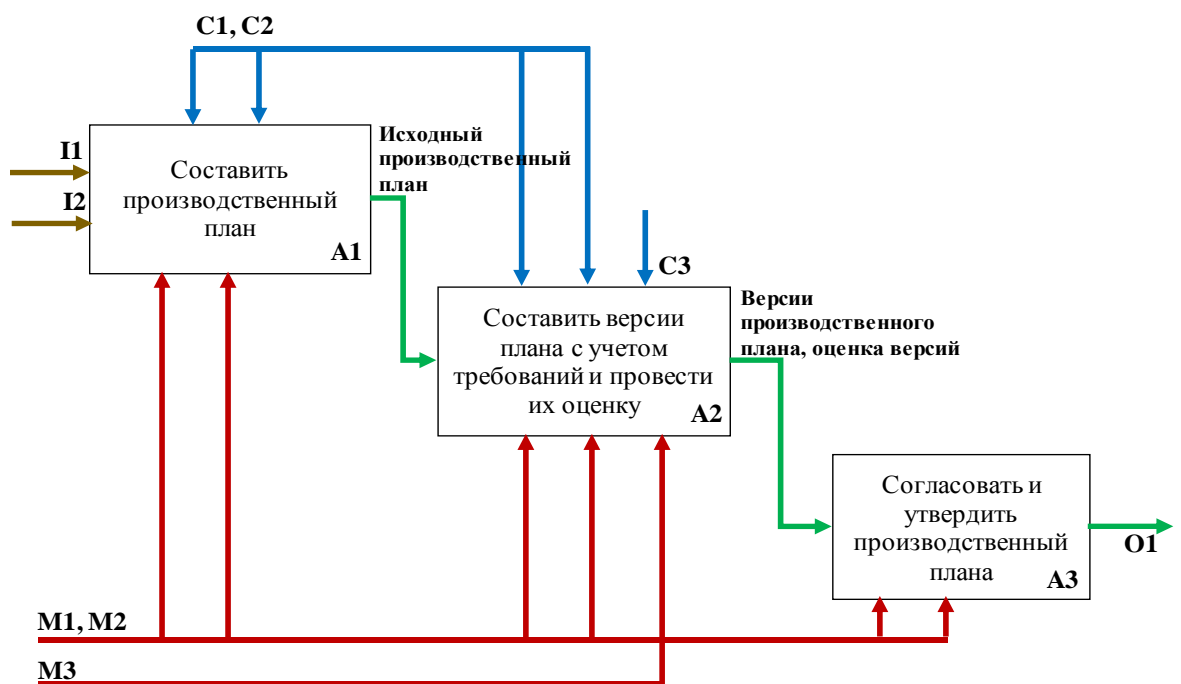


Рисунок 1.4 - Декомпозиция контекстной диаграммы (A0)

Также с целью более глубокого анализа процесса планирования проведена декомпозиция узла A2 (рис. 1.5). В результате выявлено, что наиболее важными подпроцессами, влияющим на качество производственного плана, являются сбор исходных данных, создание плана и его версий, а также оценка плана вовлеченными подразделениями. Улучшению в виде автоматизации подлежит весь узел A2.

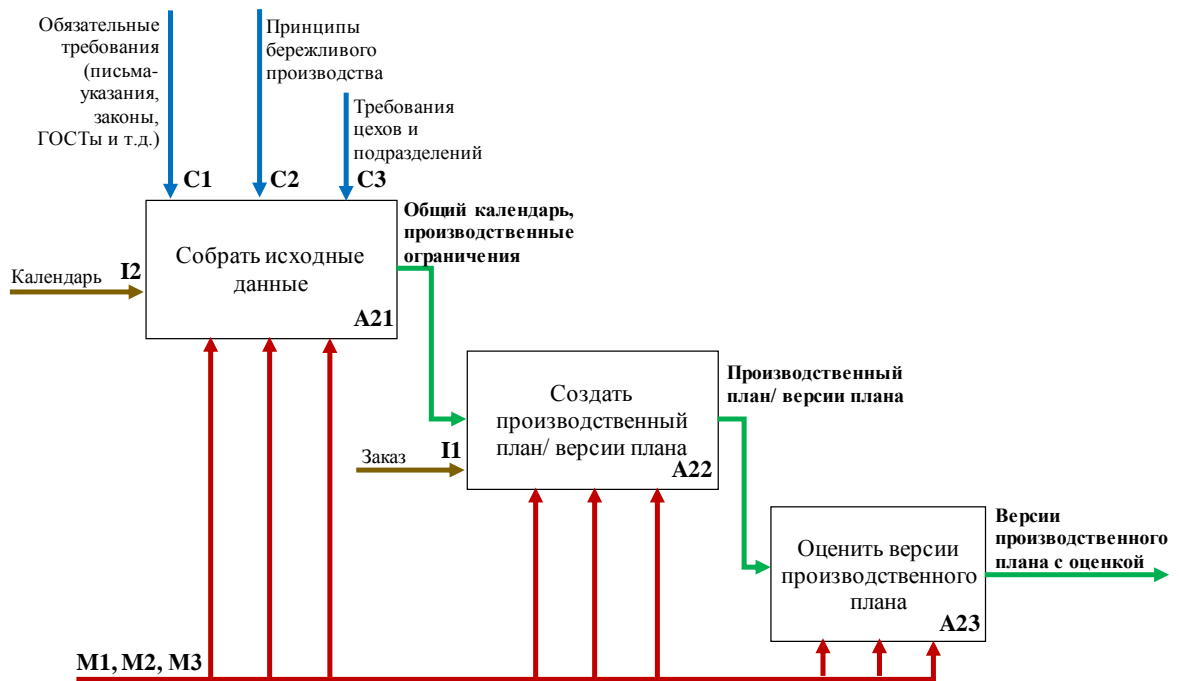


Рисунок 1.5 - Декомпозиция узла A2

Данные, собранные в течение нескольких лет, позволили выявить следующие основные проблемы исследуемого процесса [50]:

- несвоевременное предоставление информации вовлеченными подразделениями предприятия;
- недостаточная достоверность и полнота предоставляемой информации;
- ошибки при построении производственного плана;
- недостаточный процесс сбора и обмена информацией с руководителями подразделений организации и руководителями высшего звена.

При осуществлении процесса планирования приборостроительного предприятия возникает необходимость сбора и учета большого массива данных (узел A21). При отсутствии автоматизированной системы весь массив хранится на бумажных и электронных носителях в различных форматах. На сбор и обработку требуемых для процесса данных у специалиста отдела производственного планирования затрачивается от одного дня до двух недель, так как вся информация после сбора должна быть приведена в стандартный формат и согласована с руководителями цехов и

подразделений. В рассматриваемом процессе ежемесячного планирования на процесс сбора и обработки информации отводится не более дня, что говорит о необходимости улучшения данного процесса. В качестве решения описанной проблемы может выступить автоматизированная система, включающая сбор информации в стандартном формате, ее подтверждение в электронном виде руководителем подразделения и учет этой информации для дальнейшего построения версий производственного плана. Данное улучшение позволит оперативно собирать информацию, визуализировать ее в стандартном формате, а также руководителям высшего звена отслеживать достоверность предоставленной информации по средствам подтверждения отдельными руководителями.

Следующим этапом является непосредственное создание производственного плана или его версий в случае значительных изменений заказа. На создание плана в электронном документе формата Excel специалистом отдела производственного планирования затрачивается от 30 минут до 2-3 часов, в зависимости от изменений, которые необходимо внести и от горизонта планирования. При создании большого числа версий, этот процесс может растягиваться на несколько дней. Значительную роль играет сложность вносимых изменений и скорость обработки большого массива данных в Excel. Так как план составляется на несколько месяцев вперед или на несколько лет для каждого рабочего дня, он должен учитывать определенные критерии построения плана (визуализация несоответствия данным критериям отслеживается при помощи условного форматирования, значительно снижающего скорость работы файла) и должен быть построен максимально быстро, то с целью повышения результативности данного процесса он также должен быть переведен в автоматизированную среду.

Помимо создания версий плана значительным этапом в ежемесячном планировании является оценка этих версий вовлеченными подразделениями. Оценка нескольких версий может занимать от 10 минут до нескольких дней в зависимости от уровня изменений плана. Критерии оценивания и формат

оценок у каждого подразделения различны и нуждаются в стандартизации с целью снижения времени на обработку информации.

Из приведенной на рисунке 1.6 диаграммы Ганта, описывающей текущий процесс производственного планирования, видно, что любая задержка в одном из рассмотренных этапов создания плана приводит к сбоям в цепочке всех последующих, связанных с ним процессов промышленного предприятия.



Рисунок 1.6 – Процесс ежемесячного планирования

Отдельно следует отметить особенность производства таких уникальных приборов, как «Алкорамка» (АР), производимых АО «Лазерные системы». Прибор является инновационным и спрос на него растет с каждым годом. Создание АР является комплексным процессом, включающим большое количество сложных сборочных операций, проверок качества и контроль на всех стадиях жизненного цикла. Неправильно спланированное производство подобных инновационных приборов может привести к задержкам поставок и, как следствие, к значительным материальным затратам как производителя, так и потребителя, а также поставить под угрозу безопасность человеческой жизни и безопасность производственного процесса в целом.

Проведенный анализ этапов жизненного цикла изделий исследуемых предприятий показал, что процесс производственного планирования является стратегически важным и позволяет проводить оценку рисков до запуска комплектующих в производство.

В результате проведенного структурного анализа (рис. 1.3-1.5) определено «узкое место» процесса производственного планирования, которым является узел А2, включающий сбор и учет необходимой

информации для создания версий производственного плана, непосредственное создание плана, а также его оценка вовлеченными подразделениями. Определена необходимость стандартизации и автоматизации процесса создания и оценки производственного плана.

1.3 Особенности организации процесса планирования поточного производства на основе принципов «бережливого производства»

Стратегический подход к управлению является обязательным условием для стабильного развития компании. Методы стратегического планирования стремительно распространяются на все сферы производственной деятельности. Это связано с нестабильной экономической ситуацией и стремлением компаний быть подготовленными к любым изменениям окружающей среды.

Ключевым элементом стратегического планирования является принятие оперативных управленческих решений. Сложность принятия правильных управленческих решений обуславливается множеством внешних и внутренних факторов. К внешним факторам можно отнести постоянно меняющиеся рыночные условия (колебания спроса, поддержка продаж продукции и т.д.), а также риски со стороны поставщиков ресурсов для предприятия. К внутренним факторам относятся недостаточная производительность оборудования и его выход из строя, проведение модернизации оборудования, внедрение глобальных проектов и риски управления персоналом. Для минимизации влияния перечисленных факторов на производство с целью выполнения всего объема заказов к установленному сроку, необходимо создать сбалансированную систему производственного планирования.

Особую важность производственное планирование представляет для поточных массовых производств, минута простоя которых, оценивается

сотнями тысяч рублей. Такие предприятия наиболее восприимчивы к действию внешних и внутренних факторов. Оценка рисков на таких предприятиях является наиболее сложной.

Учитывая сжатые сроки на реакцию к изменяющимся условиям, предприятия покупают или разрабатывают «под ключ» автоматизированные системы, позволяющие учитывать различные факторы, влияющие на эффективность производственных процессов, уровень качества и затраты. Главным вектором разработок в этой области является создание систем, ориентированных на клиента и учитывающих принципы бережливого производства. Следует отметить, что не все существующие на текущий момент автоматизированные системы основываются на признанных во всем мире принципах «бережливого производства». Именно поэтому создание систем, позволяющих учитывать эти принципы, остается актуальным и по настоящий день.

Учитывая специфику приборостроительных производств, которая усложняется необходимостью прогнозирования ряда входных данных, так как горизонт планирования при создании плана может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет, обязательным является использование принципов и инструментов «бережливого производства» [51-56], обеспечивающих эффективную организацию производственного процесса. Принято считать, что концепция «бережливого производства» возникла, как интерпретация идей Toyota Production System (TPS) [57, 58] американскими исследователями.

Принципы бережливого производства универсальны и применимы для всех процессов предприятия, но очень часто руководство применяет их «точечно», в основном на производственных процессах, упуская при этом из вида ключевые административно- производственные процессы, такие как производственное планирование, заказ комплектующих и т.п. Проблемы понимания и внедрения инструментов бережливого производства присущи всем производствам, в том числе и приборостроительным [59].

Производственное планирование, являющееся одним из самых стратегически важных процессов на предприятии, нуждается в особом контроле. Разрабатываемая в рамках настоящих диссертационных исследований автоматизированная система планирования должна создавать план, максимально эффективно использующий ресурсы предприятия, особенно когда речь идет о высокопроизводительном производстве. Автоматизация процесса планирования в первую очередь призвана стандартизировать этот процесс, стандартизировать формат используемых данных и постоянно улучшать его в будущем. Основные принципы и инструменты, которые обязательны к использованию в системе планирования, представлены на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Принципы и инструменты бережливого производства в производственном планировании [60]

Автоматизированная система планирования является частным случаем «Пока-Йоке» (англ. Poka-Yoke) [61, 62], при этом автоматизация процесса нацелена на полное исключение ошибок или «дефектов» в планировании. Как показывает практика, при построении плана в файлах Excel пакета Microsoft Office очень часто возникают ошибки, даже при наличии условного форматирования и специальных макросов. Поэтому только автоматизация процесса может полностью исключить возможность возникновения ошибок в

плане. Помимо исключения ошибок в процессе автоматизации задается стандартный формат, что также упрощает и ускоряет процесс сбора и обработки вносимых данных. Стандартизация процессов является одной из главных целей применения принципов бережливого производства.

Процесс планирования производства является циклическим и для высокопроизводительных предприятий эти циклы повторяются ежемесячно ввиду получения более точных прогнозов от клиентов. Для стандартизации и постоянного улучшения процесс планирования должен осуществляться по принципу PDCA [60, 63] (рис. 1.8), также как и его подпроцессы.

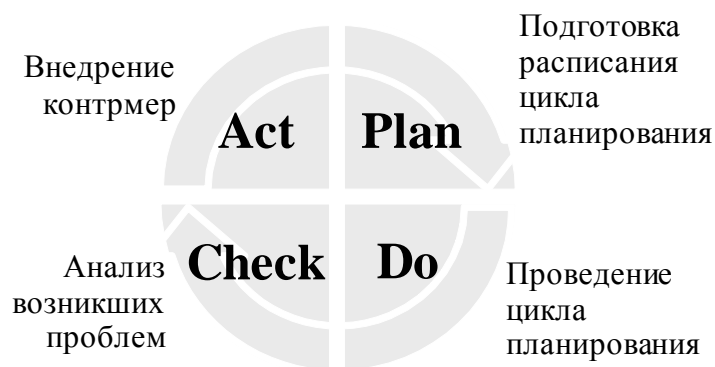


Рисунок 1.8 – Цикл PDCA процесса производственного планирования

Производственное планирование является и как отдельной стадией Plan жизненного цикла продукции (рис. 1.9а), так и является самостоятельным циклом PDCA (рис. 1.9б).

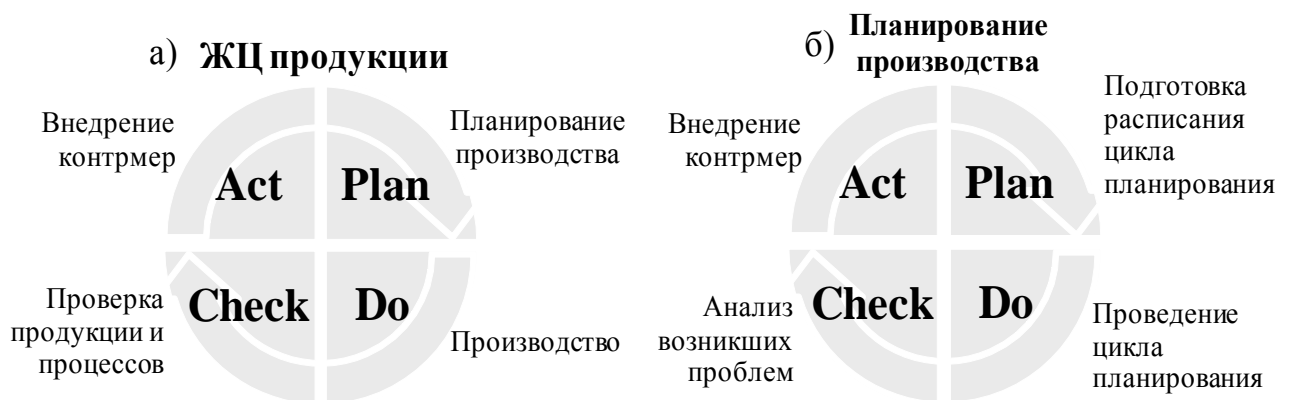


Рисунок 1.9 - Производственное планирование в виде цикла PDCA

Главное, к чему должна стремиться любая компания, это производство только нужного количества продукции высокого качества в установленные сроки и с минимальными затратами (принцип «Just-In-Time»).

Система ЛТ включает в себя три основных элемента:

- процесс непрерывного потока;
- время такта (ВТ);
- система вытягивания.

Производство высокопроизводительных предприятий основывается на процессе непрерывного потока, который позволяет избавиться от задержек в межпроцессной и внутрипроцессной работе, а также производить одну деталь за один процесс. То есть должен быть осуществлен переход от производства, при котором перед и после каждого процесса существуют запасы заготовок, к производству, где одна деталь переходит из процесса в процесс без задержек, непрерывно. При построении такого производства технологический процесс перестраивается с целью создания непрерывного потока, который обеспечивает эффективное добавление ценности. Также процесс непрерывного потока призван свести к минимуму время незавершённой работы, находящейся без движения. Изделия или информация должны быть единым потоком, обеспечивающим связь между процессами и людьми, с целью немедленного выявления любой проблемы.

Система вытягивания подразумевает отсутствие складских запасов и производство только нужного количества изделий. Следует отметить, что наиболее популярные системы MRP II относятся к системам «выталкивающего» типа, а не «вытягивающего» [28], что также доказывает актуальность разрабатываемой автоматизированной системы планирования.

Также производство только нужного количества изделий закладывается в производственный план в виде «времени такта» (ВТ). Время такта – это расчетная величина, получаемая делением доступного рабочего времени производства на заказ потребителей. По сути ВТ – это та скорость, с которой потребитель хочет получать единицу готовой продукции. Для поточных массовых производств время такта исчисляется секундами. В зависимости от этого времени каждый цех проектирует свои процессы, поэтому переход с

одного ВТ на другое является сложным процессом и закладывается в виде ограничения каждого цеха при производственном планировании.

ВТ является элементом стандартизированной работы [10], также, как и «время цикла» (ВЦ). При этом необходимо понимать, что если ВТ является расчетной величиной, получаемой в зависимости от требований потребителей продукции, то еще одним из ограничений при составлении плана является время цикла (ВЦ) [64], которое отдел производственного планирования получает от производства. Максимальное и минимальное ВЦ задается исходя из производственных мощностей, это может быть ограничение оборудования, ограничение проектного дизайна процесса (производственная площадь, отведенная на процесс и т.п.) или ограничение, связанное с человеческим ресурсом.

Также следует отметить, что в процессе производственного планирования участвуют почти все подразделения предприятия, поэтому особое значение имеет «обмен информацией» (Немаваси, англ. Nemawashi) [60]. Создание производственного плана как начинается с процесса обмена информацией (сбор ограничений и информации от вовлеченных подразделений), так им и заканчивается (оценка опций плана). Без Немаваси невозможно создать корректный, эффективный план. Планирование и обмен информацией в принципе являются неразделимыми понятиями.

Особое внимание необходимо уделить визуализации в процессе производственного планирования. Результатом этого процесса является созданная производственная стратегия – план с оценкой всех вовлеченных подразделений. Так как это документ, который предоставляется на утверждение руководителям высшего звена, то он должен быть максимально информативен и прост в восприятии. Самой частой ошибкой являются «перегруженные» или перенасыщенные текстом документы, особенно часто это встречается в планировании, так как работа осуществляется с большим массивом данных.

Таким образом, включив все описанные элементы в автоматизированную систему, удастся значительно повысить эффективность и результативность процесса планирования, сократить время на создание плана и его оценку, стандартизировать форматы используемых данных и сделать процесс более «прозрачным» для всех участников.

1.4 Показатели результативности процесса производственного планирования

В соответствии с [65] результативность (effectiveness) – это степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов. Оптимизация деятельности любого приборостроительного предприятия должна осуществляться посредством результативного менеджмента процессов, эффективного использования ресурсов и снижения межфункциональных барьеров.

С целью оценки результативности процесса производственного планирования были сформулированы качественные и количественные показатели и критерии их оценивания (таблица 1) для каждого из подпроцессов.

Так как главным результатом процесса производственного планирования является план, то в таблицу в первую очередь были включены показатели, влияющие на скорость сбора исходных данных, создания и оценки плана (временные показатели), а также показатели, характеризующие качество плана – степень соответствия совокупности присущих характеристик плана требованиям. Временные критерии для показателей сформулированы на основе ограничений сроков планирования.

Таблица 1 - Показатели результативности процесса производственного планирования

№	Подпроцесс	№ показателя	Показатель результативности	Критерий		
				Не требуются улучшения, корректирующие/предупреждающие действия	Требуются предупреждающие действия	Требуются корректирующие действия
1	Сбор и обработка исходной информации	1.1	Время создания исходного календаря	<1 минуты	1-30 минут	>30 минут
		1.2	Количество ошибок при создании исходного календаря	0	>0	
		1.3	Время внесения статусов дней и графика смен	<10 минут	10-30 минут	>30 минут
		1.4	Количество ошибок в статусах дней/ графике смен	0	>0	
		1.5	Время внесения плановых остановок производства	<10 минут	10-30 минут	>30 минут
		1.6	Количество ошибок внесения плановых остановок	0	>0	
		1.7	Время внесения ограничений производства	<4 часов	4-8 часов	>8 часов
		1.8	Количество ошибок внесения ограничений производства	0	>0	
		1.9	Время формирования общего календаря	<1 минуты	1-30 минут	>30 минут
		1.10	Количество ошибок при формировании общего календаря	0	>0	
2	Создание плана	2.1	Для построения плана использован общий календарь	Да	Нет	
		2.2	ВТ не превышает максимального значения	Да	Нет	
		2.3	Ограничения по смене ВТ применены корректно	Да	Нет	
		2.4	Ежедневный объем рассчитывает корректно	Да	Нет	
		2.5	Ежедневный объем каждой продукции не превышает максимальные значения	Да	Нет	
		2.6	$K_{оп}$ соответствует заданным ограничениям	Да	Нет	
		2.7	Ежемесячная разница/разница по периодам между планом производства и заказом минимальна	Да	Нет	
		2.8	Кумулятивная (накопительная) разница между планом производства и заказом минимальна	Да	Нет	
		2.9	Построенный план соответствует условиям, заданным специалистом по планированию	Да	Нет	
		2.10	Количество ошибок в созданном плане	0	>0	
		2.11	Время создания плана	1 минута	1-30 минут	>30 минут
3	Оценка плана	3.1	Время оценки плана	<4 часов	4-8 часов	>8 часов

Также для наглядности представления критериев все указанные показатели сгруппированы по значениям показателей результативности (таблица 2).

Таблица 2 – Сгруппированные показатели результативности

Показатель результативности	Критерий		
	Не требуются улучшения, корректирующие/предупреждающие действия	Требуются предупреждающие действия	Требуются корректирующие действия
Время создания исходного календаря / формирования общего календаря / создания плана	<1 минуты	1-30 минут	>30 минут
Количество ошибок при создании исходного календаря / в статусах дней/ графике смен / при внесении плановых остановок / при формировании общего календаря / в созданном плане	0	>0	
Время внесения статусов дней и графика смен / внесения плановых остановок производства	<10 минут	10-30 минут	>30 минут
Время получения и сопоставления ограничений производства / время оценки плана	<4 часов	4-8 часов	>8 часов
Для построения плана использован общий календарь	Да	Нет	
ВГ соответствует ограничениями	Да	Нет	
Ежедневный объем рассчитывает корректно / не превышает ограничения	Да	Нет	
$K_{оп}$ соответствует ограничениям	Да	Нет	
Ежемесячная разница/ разница по периодам / кумулятивная разница между планом производства и заказом минимальна	Да	Нет	
Построенный план соответствует условиям, заданным специалистом по планированию	Да	Нет	

Выделение наиболее существенных для рассматриваемого процесса показателей результативности приводит к задаче векторной оптимизации, которая заключается в нахождении максимума вектор- функции (F) [66]. Формула данного метода имеет следующий вид:

$$F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \rightarrow \max, x \in D, \quad (1)$$

где $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ – частные критерии подпроцессов, D – область допустимых значений.

Основные этапы свертывания:

- обоснование допустимости свертки;
- нормировка критериев;

- учет приоритетов критериев;
- построение функции свертки.

Обязательным условием является отношение сворачиваемых критериев к одному типу показателей [66] – оперативности, результативности и т.п. Свертывание частных критериев необходимо выполнять отдельно для каждой группы показателей. Показатели, представленные в таблице 1, относятся к разным группам и разным подпроцессам, что говорит о нецелесообразности проведения свертки. Также, так как в качестве критериев выбраны интервалы, то их нормировка не представляется возможной.

Следует отметить, что методы оптимизации не применяются в данной работе, так как целью создания автоматизированной системы является максимизация всех показателей результативности процесса планирования.

С целью оценки приведенных показателей результативности предлагается использовать приведенную на рисунке 1.10 модель.



Рисунок 1.10 – Модель оценки результативности процесса
производственного планирования

Фиксация фактических значений показателей результативности и их оценка будут проводиться по результатам осуществления процесса планирования в разработанной автоматизированной системе.

1.5 Идентификация и оценка рисков процесса производственного планирования

Процесс производственного планирования является циклическим и описанные в подразделе 1.2 проблемы, периодически повторяются, негативно влияя на построение производственного плана. Часть этих проблем напрямую связаны с человеческим фактором - высокой загруженностью руководителей подразделений и цехов, которые несут ответственность за предоставляемую информацию и обязаны ее согласовывать.

Исследования «ручного» процесса планирования показали, что вся автоматизация заключается только в использовании стандартных компьютерных приложений и их средств.

С целью снижения или полного исключения рисков процесса производственного планирования, они должны быть идентифицированы, проанализированы и оценены [67]. Перечень рисков исследуемого процесса составлен на основе данных, полученных в результате осуществления процесса производственного планирования за несколько лет, представлен в таблице 3.

Выявление наиболее критичных рисков процесса планирования проводилось методом экспертного ранжирования [68-70] группой экспертов, состоящей из семи экспертов ($m=7$), являющихся специалистами в области управления производством и производственного планирования. Проведено строгое ранжирование рисков ($n=13$) в порядке убывания степени критичности, наиболее критичному дефекту соответствует наибольший ранг. Результаты ранжирования экспертами и рассчитанные весовые коэффициенты q_i приведены в таблице 4. Для наглядности риски расположены в таблице 4 в порядке убывания ранга.

Таблица 3 - Перечень идентифицированных рисков

Подпроцесс возникновения риска	№ риска	Наименование риска
Сбор данных для создания плана	R _{1.1}	Несвоевременное предоставление данных
	R _{1.2}	Предоставление некорректных данных
	R _{1.3}	Обработка данных сверх установленного срока
Создание плана и его версий	R _{2.1}	Ошибки при учете рабочего календаря
	R _{2.2}	Ошибки при учете плановых остановок производства
	R _{2.3}	Ошибки при учете производственных мощностей
	R _{2.4}	Расчетные ошибки при создании плана
	R _{2.5}	Текстовые опечатки при создании плана
	R _{2.6}	Несоответствие плана принципам бережливого производства
	R _{2.7}	Создание плана сверх установленного срока
Оценка плана/ версий плана ответственными специалистами	R _{3.1}	Несвоевременная оценка плана специалистом
	R _{3.2}	Оценка плана не подтверждена руководителем - недостоверная оценка
	R _{3.3}	Обработка оценок сверх установленного срока

Таблица 4 - Ранжирование рисков процесса производственного планирования

№ риска	Наименование риска	№ эксперта							Qi	qi
		1	2	3	4	5	6	7		
R _{2.4}	Расчетные ошибки при создании плана	13	13	12	12	11	13	12	86	0,135
R _{2.6}	Несоответствие плана принципам бережливого производства	11	11	11	13	12	12	9	79	0,124
R _{1.2}	Предоставление некорректных данных	10	9	13	11	10	9	13	75	0,118
R _{2.3}	Ошибки при учете производственных мощностей	12	10	10	9	13	11	10	75	0,118
R _{2.5}	Текстовые опечатки при создании плана	6	12	9	10	9	10	11	67	0,105
R _{2.1}	Ошибки при учете рабочего календаря	7	7	8	8	6	8	8	52	0,082
R _{2.2}	Ошибки при учете плановых остановок производства	8	8	7	7	8	7	7	52	0,082
R _{2.7}	Создание плана сверх установленного срока	9	6	6	5	7	5	6	44	0,069
R _{1.3}	Обработка данных сверх установленного срока	4	3	5	6	3	6	4	31	0,049
R _{1.1}	Несвоевременное предоставление данных	5	4	4	3	5	3	5	29	0,046
R _{3.1}	Несвоевременная оценка плана специалистом	3	2	2	4	4	4	3	22	0,035
R _{3.3}	Обработка оценок сверх установленного срока	2	1	3	2	1	2	2	13	0,020
R _{3.2}	Оценка плана не подтверждена руководителем - недостоверная оценка	1	5	1	1	2	1	1	12	0,019

С целью проверки уровня согласованности экспертов был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла W по следующей формуле [71]:

$$W = \frac{12S_W}{m^2(n^3 - n)},$$

где

$$S_W = \sum_{i=1}^n (Q_i - Q)^2,$$

где Q - суммарный средний ранг всех рисков определяется по формуле:

$$Q = \frac{m(n+1)}{2},$$

где m – число экспертов, n – число оцениваемых рисков.

$$W = \frac{12 \cdot 8106}{7^2(13^3 - 13)} = 0,91$$

С помощью критерия согласия Пирсона (χ^2) проведем проверку нулевой гипотезы о несогласованности оценок экспертов друг с другом ($W=0$) при альтернативной гипотезе ($W \neq 0$). Значение критерия согласия Пирсона определено по формуле:

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W$$

Для полученных экспертных оценок значение критерия согласия Пирсона (χ^2) равно 76,35. Значение критерия согласия Пирсона (χ^2), полученное в результате расчетов, больше критического значения, представленного в таблице [71] для соответствующего уровня значимости (10%) и числа степеней свободы ($n-1=13-1=12$), следовательно нулевая гипотеза о несогласованности оценок экспертов отклоняется.

В соответствии с шкалой Марголина [72], значение коэффициента конкордации $W=0,91$ соответствует высокой согласованности экспертов, по шкале Харрингтона такой коэффициент соответствует очень высокой согласованности. Таким образом можно сделать вывод, что полученные

результаты экспертного ранжирования могут быть использованы для дальнейших исследований.

В результате ранжирования, проведенного экспертной группой, риски упорядочены по степени критичности. Из проведенной экспертной оценки (табл. 4) видно, что наиболее критичными являются риски, связанные с ошибками в собираемых данных и составляемом плане, что доказывает необходимость создания автоматизированной системы, позволяющей максимально снизить или полностью исключить риски процесса планирования.

Также следует отметить, что даже в «ручном» планировании с помощью программ Microsoft Office, в частности в Excel, использовались различного рода инструменты – формулы, форматирование, макросы, целью которых является предотвращение ошибок. Учитывая горизонты среднесрочного и долгосрочного планирования, выраженные в значительном объеме данных, которые необходимо обрабатывать, проверять и хранить, обязательным является учет рисков внезапного зависания и прекращения функционирования файлов Excel, не говоря уже о «человеческой» скорости работы в таких файлах.

Все вышесказанное свидетельствует о необходимости автоматизации исследуемого процесса. Для определения очередности и способов сокращения/ устранения каждого из возможных рисков помимо ранжирования рисков, экспертами был проведен FMEA- анализ [73-75] рисков.

По данным исследований известно, что 80% дефектов, выявляющихся в процессе производства и использования изделий, являются следствием недостаточного качества процессов разработки концепции этих изделий, их конструирования, подготовкой и запуском в производство [76]. Поспешная и несовершенная разработка изделий приводит к 60% сбоев во время гарантийного срока (рис. 1.11).

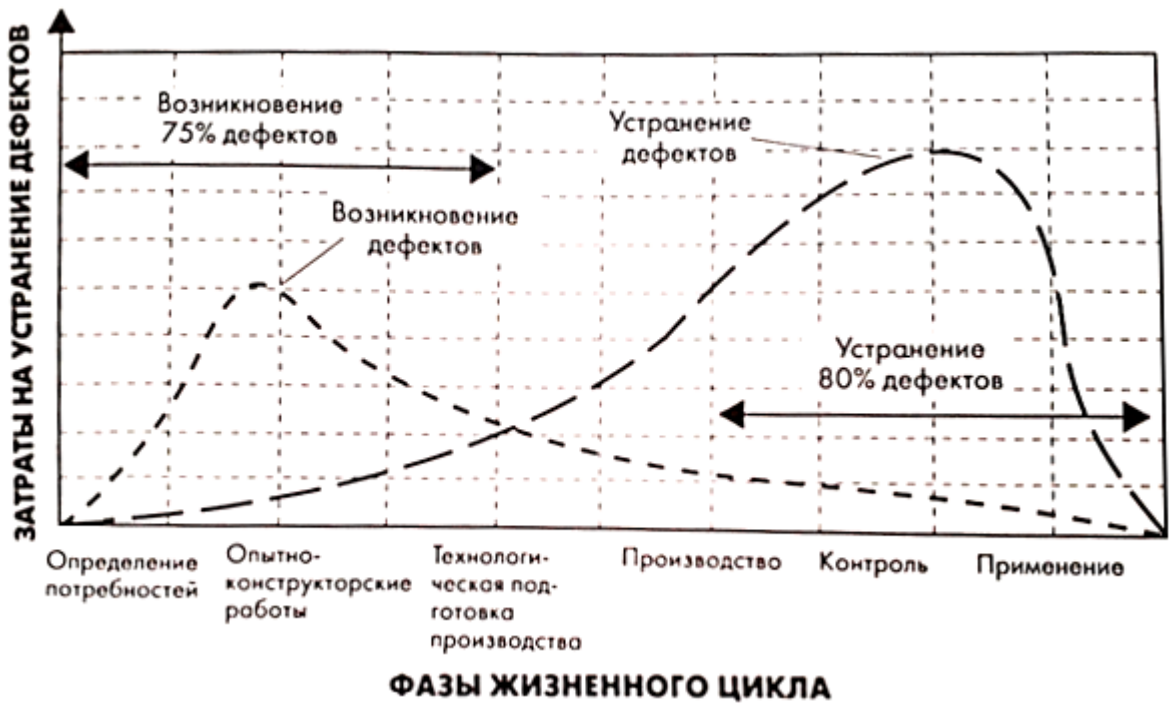


Рисунок 1.11 - Распределение затрат, связанных с возникновением и устранением дефектов, по стадиям жизненного цикла продукции [75]

Также хорошо известно правило десятикратных затрат, основанном на данных исследовательского отдела «Дженерал Моторс», это правило гласит, что если на одном из этапов круга качества изделия допущена ошибка и ее выявление происходит только на следующей стадии, то на ее исправление затрачивается в 10 раз больше средств, если бы обнаружение произошло своевременно. Данное правило распространяется на все фазы жизненного цикла (ЖЦ) (рис. 1.12), в том числе и на исследуемый процесс производственного планирования, в результате которого получают исходные данные для технологической подготовки производства: предполагаемый срок производства продукции и объем ее выпуска по годам с учетом сезонности, режим работы предприятия, включающий график сменности, количество смен, расписание рабочего дня и пр., планируемый коэффициент загрузки оборудования и т.д., а также всех последующих фаз. Производственное планирование относится к фазам ЖЦ, во время которых возникает 75% дефектов (рис. 1.11), поэтому очень важно применять специальные технологии анализа процессов, ярким примером которых является FMEA-анализ.



Рисунок 1.12 – Типичный жизненный цикл продукции

Разработаны типовые формы представления результатов FMEA-анализа, в соответствии с которыми происходит анализ процесса с определением потенциальных отклонений, их причин, последствий, а также мер их минимизации или полного исключения. Ранг приоритетности риска (RPN), являющийся смешанной мерой критичности отказа, рассчитан путем умножения ранга значимости последствий отказа (S) на вероятность отказа (O) и возможность выявления проблемы (D). Оценка показателей S (таблица 5), O (таблица 6) и D (таблица 7) проводилась по бальной шкале от 1 до 10 по аналогии с таблицами 4-6 из [74]. Результаты проделанного FMEA-анализа приведены в таблице 8.

Таблица 5 - Тяжесть последствий вида отклонений процесса S

Тяжесть последствий	Критерий	Ранг
Отсутствует	Нет последствий	1
Очень незначительная	Элементы процесса планирования не соответствуют требованиям. Отклонения замечают требовательные участники процесса (менее 25%)	2
Незначительная	Элементы процесса планирования не соответствуют требованиям. Отклонения замечают 50% участников процесса	3
Очень низкая	Элементы процесса планирования не соответствуют требованиям. Отклонения замечают большинство участников процесса (более 75%)	4
Низкая	Подпроцессы процесса планирования выполнены, но некоторые из них с отклонениями. Участники процесса испытывают некоторую неудовлетворенность	5
Умеренная	Подпроцессы процесса планирования выполнены, но некоторые из них с отклонениями. Участники процесса испытывают дискомфорт	6
Высокая	Подпроцессы процесса планирования выполнены, но на сниженном уровне результативности. Участники процесса очень не удовлетворены	7
Очень высокая	Подпроцессы процесса планирования выполнены с значительными отклонениями от установленных сроков	8
Опасная с предупреждением об опасности	Очень высокий уровень тяжести последствий, когда отклонения подпроцессов планирования ведут к задержкам последующих процессов и в итоге вызывают остановки производства с предупреждением	9
Опасная без предупреждения об опасности	Очень высокий уровень тяжести последствий, когда отклонения подпроцессов планирования ведут к задержкам последующих процессов и в итоге вызывают остановки производства без предупреждения	10

Таблица 6 - Виды отклонений процесса в соответствии с частотой и вероятностью появления О

Характеристика появления вида отклонения процесса	Ранг	Частота появления отказа	Вероятность
Очень низкая – отклонение процесса маловероятно	1	<0,010 на 1000 циклов процесса/планов	$\leq 10^{-5}$
Низкая - относительно мало – отклонений процесса	2	0,1 на 1000 циклов процесса/планов	10^{-4}
	3	0,5 на 1000 циклов процесса/планов	$5 \cdot 10^{-4}$
Умеренная – отклонения процесса возможны	4	1 на 1000 циклов процесса/планов	10^{-3}
	5	2 на 1000 циклов процесса/планов	$2 \cdot 10^{-3}$
	6	5 на 1000 циклов процесса/планов	$5 \cdot 10^{-3}$
Высокая - наличие повторных отклонений процесса	7	10 на 1000 циклов процесса/планов	10^{-2}
	8	20 на 1000 циклов процесса/планов	$2 \cdot 10^{-2}$
Очень высокая – отклонение процесса почти неизбежно	9	50 на 1000 циклов процесса/планов	$5 \cdot 10^{-2}$
	10	>100 на 1000 циклов процесса/планов	$\geq 10^{-1}$

Таблица 7 - Критерии оценки обнаружения вида отклонения процесса D

Характеристика обнаружения	Критерий - возможность обнаружения вида отказов на основе предусмотренных операций контроля	Ранг
Практически стопроцентно	Предусмотренный контроль почти всегда обнаруживает	1
Очень хорошее	Очень высок шанс	2
Хорошее	Высокий шанс	3
Умеренно хорошее	Умеренно высокий шанс	4
Умеренное	Умеренный шанс	5
Слабое	Низкий шанс	6
Очень слабое	Очень низкий шанс	7
Плохое	Маловероятно	8
Очень плохое	Почти невероятно	9
Практически невозможно	Предусмотренный контроль не может обнаружить	10

Таблица 8 - FMEA- анализ процесса производственного планирования

Подпроцесс	Потенциальное отклонение процесса	Потенциальные причины	Потенциальные последствия	Способы сокращения/устранения	S	O	D	RP N
Сбор данных для создания плана	Несвоевременное предоставление данных	Высокая загруженность специалистов, долгое подтверждение данных с руководителем	Задержка процесса создания плана, невозможность создания плана, создание плана без учета необходимых данных	Отслеживание статуса предоставляемых данных в режиме реального времени в автоматизированной системе (АС)	7	10	1	70
	Предоставление некорректных данных	Человеческий фактор (ошибки в расчетах), данные не подтверждены руководителем	Некорректный план, простой производства, значительные финансовые потери	Возможность подтверждения данных руководителем в АС	9	6	6	324
	Обработка данных сверх установленного срока	Человеческий фактор, высокая загруженность специалистов, разноформатные данные	Задержка процесса создания плана, ошибки при создании плана из-за разноформатных данных	Сбор данных в стандартизованном формате, реализованном в виде структуры интерфейса АС	6	5	1	30
Создание плана и его версий	Ошибки при учете рабочего календаря	Человеческий фактор, отсутствие дополнительной проверки	Некорректный план, простой производства/дополнительные рабочие выходные или сверхурочная работа, значительные финансовые потери	Автоматизированное обобщение внесенных данных и их учет в создаваемом плане	10	7	3	210
	Ошибки при учете плановых остановок производства				10	7	5	350
	Ошибки при учете производственных мощностей				10	7	4	280
	Расчетные ошибки при создании плана			Автоматизированный расчет плана и его версий	10	8	5	400
	Опечатки при создании плана			10	10	5	500	
	Несоответствие плана принципам бережливого производства			Принципы бережливого производства заложены в алгоритм создания плана	10	7	4	280
	Создание плана сверх установленного срока	Человеческий фактор, высокая загруженность специалистов, создание большого количества версий плана (нестандартные условия планирования)	Задержка процесса оценки плана и последующих процессов - утверждения финального плана, заказа комплектующих, управления персоналом и т.д., значительные финансовые потери	Создание плана происходит в АС и не превышает пары минут	9	5	1	45

Продолжение таблицы 8

Оценка плана/ версий плана ответственными специалистами	Несвоевременная оценка плана специалистом	Высокая загруженность специалистов, долгое подтверждение данных с руководителем	Задержка процесса утверждения финального плана и последующих процессов - заказа комплектующих, управления персоналом и т.д., значительные финансовые потери	Автоматический запрос проведения оценки плана ответственным специалистом	7	5	1	35
	Оценка плана не подтверждена руководителем - недостоверная оценка	Человеческий фактор (ошибки в оценке), отсутствие руководителя		Автоматический запрос подтверждения данных руководителем	7	4	5	140
	Обработка оценок сверх установленного срока	Человеческий фактор, высокая загруженность специалистов, разноформатные данные		Оценка плана в стандартизированном формате, реализованном в виде структуры интерфейса АС	6	5	1	30

Результаты проделанного FMEA- анализа коррелируются с результатами ранжирования рисков экспертным методом. К наиболее критичным рискам относятся риски, связанные с возможными ошибками и предоставлением некорректных данных. Благодаря проделанному анализу выявлены риски, для которых в первую очередь разрабатываются корректирующие или предупреждающие мероприятия ($RPN > 100$) [75].

1.6 Выводы к разделу 1

1. Проведен анализ современных тенденций организации производственных процессов приборостроительных предприятий, к которым относятся переход к наиболее прогрессивному способу организации производственного процесса – поточному производству, а также использование эффективных инструментов управления предприятием, таких как планирование, для проведения которого разрабатываются и внедряются современные автоматизированные системы.

2. Проведен структурный анализ процесса производственного планирования, по его результатам выявлены элементы исследуемого процесса, которые с целью улучшения должны быть переведены в автоматизированную среду: сбор данных для построения производственного

плана, построение производственного плана с учетом собранных требований и принципов бережливого производства и оценка версий плана в стандартном формате ответственными подразделениями.

3. Проанализированы наиболее популярные автоматизированные системы, включающие модуль планирования производства. Обоснована актуальность разработки автоматизированной системы производственного планирования поточного приборостроительного предприятия на основе принципов бережливого производства.

4. Рассмотрены принципы и инструменты бережливого производства, обязательные к использованию в качестве основы автоматизированной системы производственного планирования.

5. Сформулированы показатели результативности процесса производственного планирования, необходимые для оценки исследуемого процесса, а также предложена модель оценки результативности исследуемого процесса.

6. Проведена идентификация и оценка рисков процесса производственного планирования, предложены способы их сокращения или устранения.

2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДИК ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

2.1 Разработка модели организации процесса производственного планирования

Смежные процессы, сотрудники отдела производственного планирования и других подразделений и цехов, все они образуют совокупность элементов процесса производственного планирования предприятия. Электронные письма, документы, процессы их обработки представляют собой информационные связи между элементами процесса производственного планирования и являются основой осуществления исследуемого процесса.

Для разработки математической модели использована теория ориентированных графов. Применение ориентированных графов для оптимизации взаимодействия участников производственных процессов и построения производственного плана является признанным методом и хорошо изложено Кузьбожевым Э.Н. и Бабич Т.Н. [76-78], а также у других авторов [79-82]. Теория графов может быть использована для разработки моделей движения рисков в процессе производственного планирования [83], модели автоматизированной системы планирования [84, 85], а также для алгоритмизации потока данных в процессе создания плана [86].

Процесс производственного планирования осуществляется на основе взаимодействия его элементов:

$$E = \{V_1, V_2, \dots, V_i\}, \quad (2.1)$$

где V_1, V_2, \dots, V_i – вершины графа, представляющие участников процесса производственного планирования.

Отображение Γ описывает взаимодействие элементов в процессе производственного планирования посредством информационных связей

между ними. Совокупность множества E и отображения Γ представляют собой граф:

$$G = (E, \Gamma), \quad (2.2)$$

где E - множество элементов процесса производственного планирования, Γ – множество информационных связей между элементами рассматриваемого процесса планирования.

Так как граф G имеет сложную структуру, проведем его обработку несколькими методами. Первым шагом преобразования рассматриваемого графа является поиск внутренне устойчивых подмножеств. Для их определения используем метод Мальгранжа.

Граф G является сильно связанным, если он обладает следующим свойством:

$$(\forall V_i \in E) \hat{\Gamma} V_i = E, \quad (2.3)$$

где $\hat{\Gamma}$ - транзитивное замыкание.

Транзитивным замыканием $\hat{\Gamma} V_i$ называется многозначное отображение, определяемое формулой:

$$\hat{\Gamma} V_i = \{V_i\} \cup \Gamma V_i \cup \Gamma^2 V_i \cup \Gamma^3 V_i \dots \quad (2.4)$$

Другими словами $\hat{\Gamma} V_i$ является множеством вершин, в которые можно прийти из V_i по некоторому пути. Аналогично определяется обратное транзитивное замыкание $\hat{\Gamma}^{-1} V_i$, т.е. множество вершин, из которых попадают в V_i по некоторому пути.

Метод Мальгранжа заключается в разложении графа на максимально сильно связанные подграфы. Подграф G' графа $G=(E, \Gamma)$ можно назвать максимально сильно связанным, если не существует сильно связанного графа G'' , строго содержащего G' .

Если $C(V_i)$ - класс (подграф), содержащий V_i , то

$$C(V_i) = \hat{\Gamma} V_i \cap \hat{\Gamma}^{-1} V_i \quad (2.5)$$

Рассмотрим граф, отображающий обмен информацией между подразделениями и службами предприятия, при большом количестве которых анализ связей затрудняется и превращается в хаос (рис 2.1).

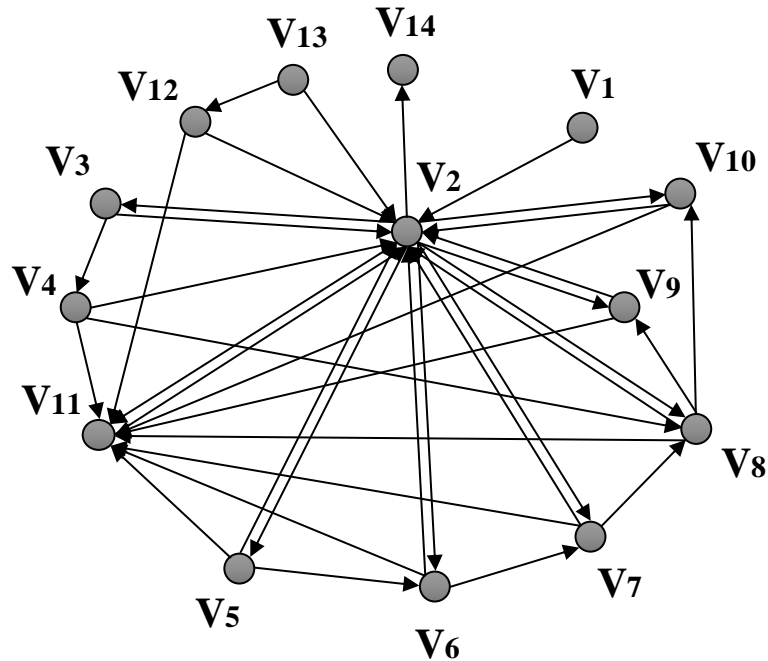


Рисунок 2.1 – Граф, отображающий взаимодействие участников процесса
производственного планирования

С целью упорядочения взаимодействия участников процесса (V_1, V_2, \dots, V_{14}) применим метод выделения внутренних устойчивых подмножеств (метод Мальгранжа) [79]. Использование данного метода позволит осуществлять стандартизированный обмен данными внутри любого независимого подграфа.

Берем вершину V_2 , представляющую собой отдел производственного планирования и находим $\hat{\Gamma} V_i$, $\hat{\Gamma}^{-1} V_i$ и $\hat{\Gamma} V_i \cap \hat{\Gamma}^{-1} V_i$. Представим граф (рис. 2.1) в виде булевой матрицы (рис. 2.2).

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀	V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₁₄	$\hat{\Gamma}V_2$
V ₁		1													X
V ₂			1	1	1	1	1	1	1	1	1				0
V ₃		1		1											1
V ₄		1						1			1				2
V ₅		1				1					1				1
V ₆		1					1				1				1
V ₇		1						1			1				1
V ₈		1							1	1	1				1
V ₉		1									1				1
V ₁₀		1									1				1
V ₁₁		1		1	1	1	1	1	1	1					1
V ₁₂		1									1				X
V ₁₃		1										1			X
V ₁₄														1	1

$\hat{\Gamma}^{-}V_2$	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X

Рисунок 2.2 – Булева матрица для разложения графа методом Мальгранжа

В соответствии с рисунком 2.2 получаем:

$$\hat{\Gamma}V_2 = \{V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9, V_{10}, V_{11}\} \quad (2.6)$$

$$\hat{\Gamma}^{-}V_2 = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9, V_{10}, V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14}\} \quad (2.7)$$

$$C(V_2) = \hat{\Gamma}V_2 \cap \hat{\Gamma}^{-}V_2 = \{V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9, V_{10}, V_{11}\} \quad (2.8)$$

На рисунке 2.3 приведен граф после применения метода Мальгранжа.

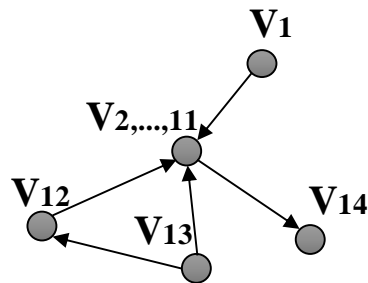


Рисунок 2.3 – Граф, преобразованный методом Мальгранжа

Согласно проведенному преобразованию значительно легче разобраться с процессами взаимодействия подразделений и понять какие процессы должны быть переведены в автоматизированную среду в первую очередь.

Однако, предложенного преобразования недостаточно. Проведем дальнейшие изменения полученного на рисунке 2.3 графа, разделив его на последовательные уровни, то есть преобразуем его методом Демукрона [79], который заключается в отыскании порядковой функции и топологической сортировки графа на основе матрицы смежности.

Ациклический граф G , полученный в результате применения метода Мальгранжа, имеет следующий вид:

$$G = (E, \hat{\Gamma}^-), \quad (2.9)$$

где E - множество элементов процесса производственного планирования, $\hat{\Gamma}^-$ – обратное отображение графа.

Проведем дальнейшую топологическую сортировку графа, используя матрицу смежности. Матрица смежности для графа, приведенного на рисунке 2.3, показана на рисунке 2.4.

На рисунке 2.5 приведены последовательные значения, соответствующие итерациям алгоритма, при этом прочерки соответствуют вершинам, не принадлежащим множеству ("замаскированные" вершины) на соответствующем этапе алгоритма.

	V_1	$V_{2...11}$	V_{12}	V_{13}	V_{14}
V_1		1			
$V_{2...11}$					1
V_{12}		1			
V_{13}		1	1		
V_{14}					

Рисунок 2.4 - Матрица смежности
вершин

V_1	$V_{2...11}$	V_{12}	V_{13}	V_{14}	
0	3	1	0	1	$L_0 = \{V_1, V_{13}\}$
-	2	0	-	0	$L_1 = \{V_{12}, V_{14}\}$
-	1	-	-	-	$L_2 = \{V_{2...11}\}$

Рисунок 2.5 - Последовательность
итерации алгоритма Демукрона

Граф, разделенный на уровни значимости по методу Демукрона приведен на рисунке 2.6.

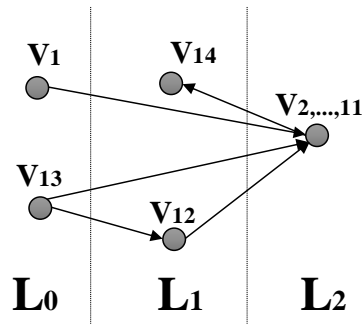


Рисунок 2.6 - Граф, разделенный по уровням значимости

Таким образом, проделанные преобразования позволили получить наглядную информации о потоках и уровнях значимости документов.

Преобразованный граф использован в качестве основы для автоматизированной системы производственного планирования.

Основное преимущество данной модели заключается в осуществлении взаимодействия внутри одного устойчивого подмножества в режиме реального времени, что является основополагающим при повышении результативности процесса производственного планирования.

2.2 Математическое моделирование процесса создания плана поточного производства

Математическая модель позволяет описать производственные процессы с целью их представления при помощи признанных методов и последующего анализа для повышения эффективности управления предприятием. Моделированию производственного планирования в настоящее время посвящено не так много исследований, в основном все разработки касаются маркетинга, подготовки производства или снабжения. Следует отметить, что ряд авторов освещает вопрос планирования приборостроительных предприятий [87, 88], но не затрагивают специфику организации поточных производств, поэтому разработку моделей процесса производственного планирования поточного приборостроительного предприятия можно считать особенно актуальной.

Основной отличительной особенностью поточного производства является согласованность норм времени всех операций производства, организованного в виде потока. Для эффективного производства на поточных предприятиях все работы должны быть стандартизованы. В соответствии с [18] работа является стандартизованной, когда присутствует точное описание каждого действия, включающее время такта, время цикла, последовательность выполнения определенных задач, минимальное количество запасов для выполнения работы.

Время такта (*takt time*) [18] - доступное производственное время за определенный период (например, смена, сутки, месяц и т.д.), деленное на объем потребительского спроса за этот период. Под временем такта понимается время производства одной единицы продукции или услуги.

Время цикла (*lead time*) [18] – это время, необходимое для выполнения конкретной операции при производстве единицы продукции или услуги в соответствии с процессом, где операция представляет собой повторяющуюся последовательность действий, которая приводит к выполнению заданий.

В общем виде расчет объема производства для любого временного периода можно выразить следующей формулой:

$$Q_{\Pi} = \frac{t_{\text{дост.раб.}}}{BT}, \quad (2.10)$$

где Q_{Π} - количество произведенной продукции, $t_{\text{дост.раб.}}$ - доступное для производства время, BT – время такта.

Доступное для производства время ($t_{\text{дост.раб.}}$) рассчитывается, как разница между общим рабочим временем ($t_{\text{общ}}$) минус плановые остановки производства ($t_{\text{пл.ост.}}$).

Помимо ограничений рабочего времени существуют ограничения времени процессов, выраженные в виде ВЦ, каждый участник процесса производственного планирования может указать самое долгое ВЦ ($ВЦ_{\text{max}}$), определяемое самым «узким местом» - оборудованием, человеком и др.

Следует отметить, что переход от одного ВТ к другому является очень комплексным и сложным процессом, требующим значительных временных и человеческих ресурсов для создания нового баланса процессов под новое ВТ. С этой целью в план включены ограничение времени перехода с одного ВТ на другое – $T_{смены}$, выраженное количеством календарных дней, а также ограничение дня, с которого может быть осуществлен переход.

Учитывая тот факт, что любое производство сталкивается с внеплановыми остановками, поломками оборудования, дефектами, в формулу целесообразно заложить некий поправочный коэффициент. В большинстве разработанных на сегодняшний день систем существует возможность учета коэффициента производительности оборудования, но для операций, которые осуществляются не на оборудовании, а вручную, такого поправочного коэффициента нет.

Таким поправочным коэффициентом является коэффициент операционной производительности ($K_{ОП}$). Цель $K_{ОП}$ может быть задана каждым из участников (цеха, подразделения) процесса производственного планирования с обязательным указанием причины, которая может заключаться во внедрении в производство различных проектов, производством тестовых партий новых или обновленных продуктов, тестированием нового оборудования и т.д. Задаваться подобные цели могут для каждой производственной смены, главным является их обобщение и выявление $K_{ОПmin}$ – минимального значения коэффициента для каждой смены, которое должно быть заложено в план производства, как ограничение.

Формула расчета объема производства (2.10) с добавленным коэффициентом операционной производительности выглядит следующим образом [89]:

$$Q_{П} = \frac{t_{дост.раб.}}{ВТ} \cdot K_{ОП}, \quad (2.11)$$

где $K_{ОП}$ - коэффициент операционной производительности.

В идеальном случае объем производства должен полностью соответствовать заказу на производство, то есть продукция должна поставаться точно в срок (“Just In Time”), но практически всегда это условие не соблюдается ввиду стремления производителя максимально использовать свои ресурсы, поэтому введен следующий критерий построения плана:

$$\begin{cases} \Delta = Q_{II} - Q_3 \\ \Delta \rightarrow \min \end{cases}, \quad (2.12)$$

где Q_3 - количество заказанной продукции.

Ограничения объемов производства каждого продукта, задается участниками процесса планирования, и имеет следующий вид:

$$x_i \leq x_{i_{\max}}, \quad (2.13)$$

где x – количество продуктов, i – вид продукта ($i \in 1, \dots, n$).

Для i -го вида продуктов и j -го количества смен система ограничений плана имеет следующий вид:

$$\begin{cases} t_{\text{дост.раб.}j} = t_{\text{общ}j} - t_{\text{нл.ост.}j} \\ VT_j \geq BC_{\max j} \\ T_c \geq T_{\text{смены}} \\ K_{OP_j} = K_{OP \min j} \\ x_{i_j} \leq x_{i_{\max j}} \end{cases}, \quad (2.14)$$

где T_c – количество дней между двумя соседними переходами на новое ВТ.

Из 2.14 видно, что ограничения производственного плана имеют вид и неравенств, и уравнений.

При построении плана решается следующее неравенство:

$$\sum_{i=0}^n Q_{3i} \leq \sum_{j=0}^m K_{OP \min j} \cdot \frac{t_{\text{дост.раб.}j}}{VT_j}, \quad (2.15)$$

В случае, если данное неравенство не решается, то вводятся дополнительные рабочие смены:

$$\sum_{i=0}^n Q_{3i} \leq \left(\sum_{j=0}^m K_{OП \min j} \cdot \frac{t_{доцм.раб.j}}{BT_j} + \sum_{k=0}^l K_{OП \min k} \cdot \frac{t_{доцм.раб.k}}{BT_k} \right), \quad (2.16)$$

где k – количество дополнительных смен.

Также задача построения плана может быть решена с использованием теории графов [89], где вес узлов – производительность смены ($Q_{a,b,c}$, где a - номер недели в году, b - номер дня в неделе, c - номер смены), а вес ребра – сложность организации смены (W), определенная экспертным методом. Для удобства чтения графа для веса ребра W введены индексы x и y , обозначающие предыдущую и последующую смены соответственно.

На рисунке 2.7 приведен граф, представляющий модель построения плана производства.

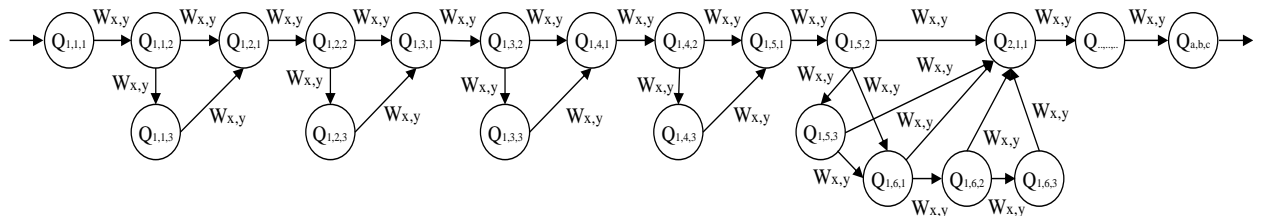


Рисунок 2.7 - Ориентированный граф построения производственного плана

В качестве временной единицы построения плана на рисунке 2.7 выбрана неделя, но представленная модель может быть использована для построения планов любых горизонтов. Следует отметить, что такой вид графа позволяет учитывать особенности российского законодательства в части Трудового кодекса РФ – добавлять в план работы в выходной день и изменять рабочий график (график сменности) с учетом определенных временных требований, заданных специалистом по планированию.

На рисунке 2.8 приведен пример использования предложенной модели - построения плана производства для одной рабочей недели с BT в 3,2 минуты и плановой остановкой производства в пятницу.

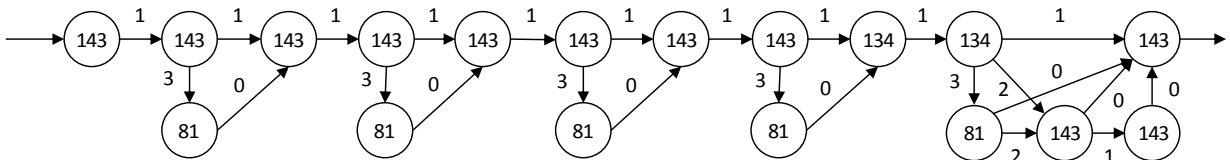


Рисунок 2.8 - Представление задачи построения производственного плана в виде ориентированного графа

При обходе данного графа можно формировать маршруты с требуемыми показателями веса и выбирать оптимальный маршрут.

Предложенные модели создания плана производства заложены в основу автоматизированной системы планирования поточного производства.

2.3 Разработка методики расчета времени такта

Расчет оптимального ВТ является одной из главных задач производственного планирования поточного производства, так как позволяет привести план к максимальному соответствию главному критерию создаваемого плана (2.12).

Ключевым показателем результативности процесса планирования является время создания плана производства. Учитывая постоянно меняющиеся внешние и внутренние условия, предприятиям регулярно приходится создавать многочисленные версии планов, которые учитывают различные ограничения и условия построения.

При ручном процессе создания плана (в приложениях пакета Microsoft Office) горизонтом от года, значительное время занимает именно подбор оптимального ВТ, а учитывая тот факт, что после создания плана могут быть получены указания изменить некоторые критерии построения, то расчет оптимального ВТ приходится осуществлять заново. Время создания одного плана горизонтом на два года занимает в среднем 30 минут [50]. При создании нескольких версий этот процесс может занимать от одного рабочего дня.

В общем виде методика расчета ВТ включает следующие этапы:

- 1) выбор заказа;

- 2) выбор периода планирования;
- 3) выбор критериев планирования;
- 4) проверка ограничений ($T_{смены}$, $ВЦ_{max}$, возможный для смены ВТ день недели);
- 5) расчет ВТ, который позволяет создать план с минимальной Δ , то есть максимально приближенный к критерию оптимальности (2.12) выбранного ВТ.

С целью выбора наилучшей методики расчета оптимального ВТ разработано несколько алгоритмов.

Первым разработан алгоритм, рассчитывающий оптимальное ВТ для фиксированных временных промежутков, задаваемых цехами и подразделениями предприятия, в виде ограничения - $T_{смены}$ (рис. 2.9).

В качестве альтернативного был создан алгоритм (рис. 2.10), учитывающий $T_{смены}$, но для поиска наименьшей Δ , рассчитывающий различные варианты ВТ для промежутков разной длительности.

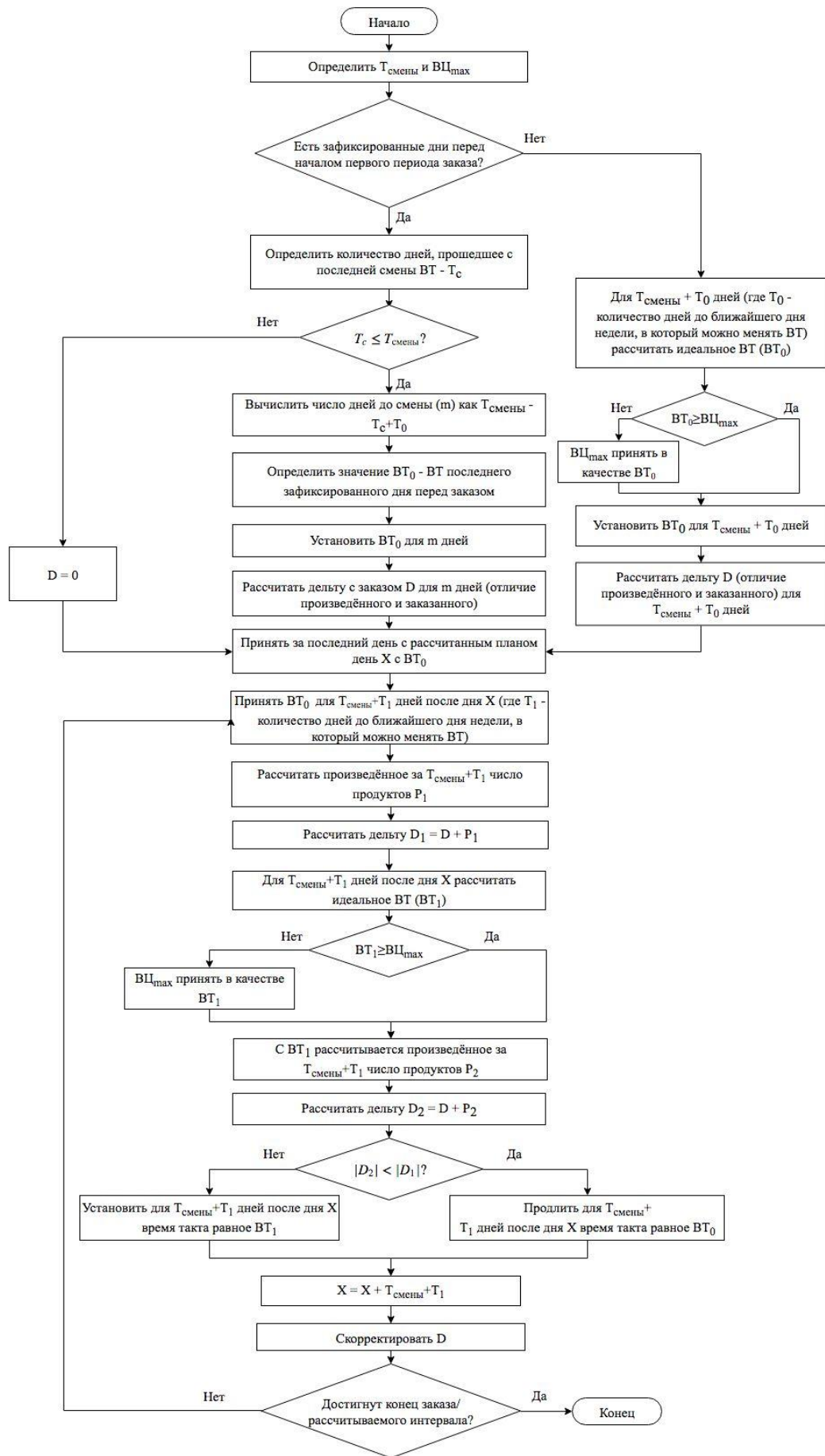


Рисунок 2.9 – Алгоритм, рассчитывающий VT на фиксированные промежутки, равные $T_{смены}$

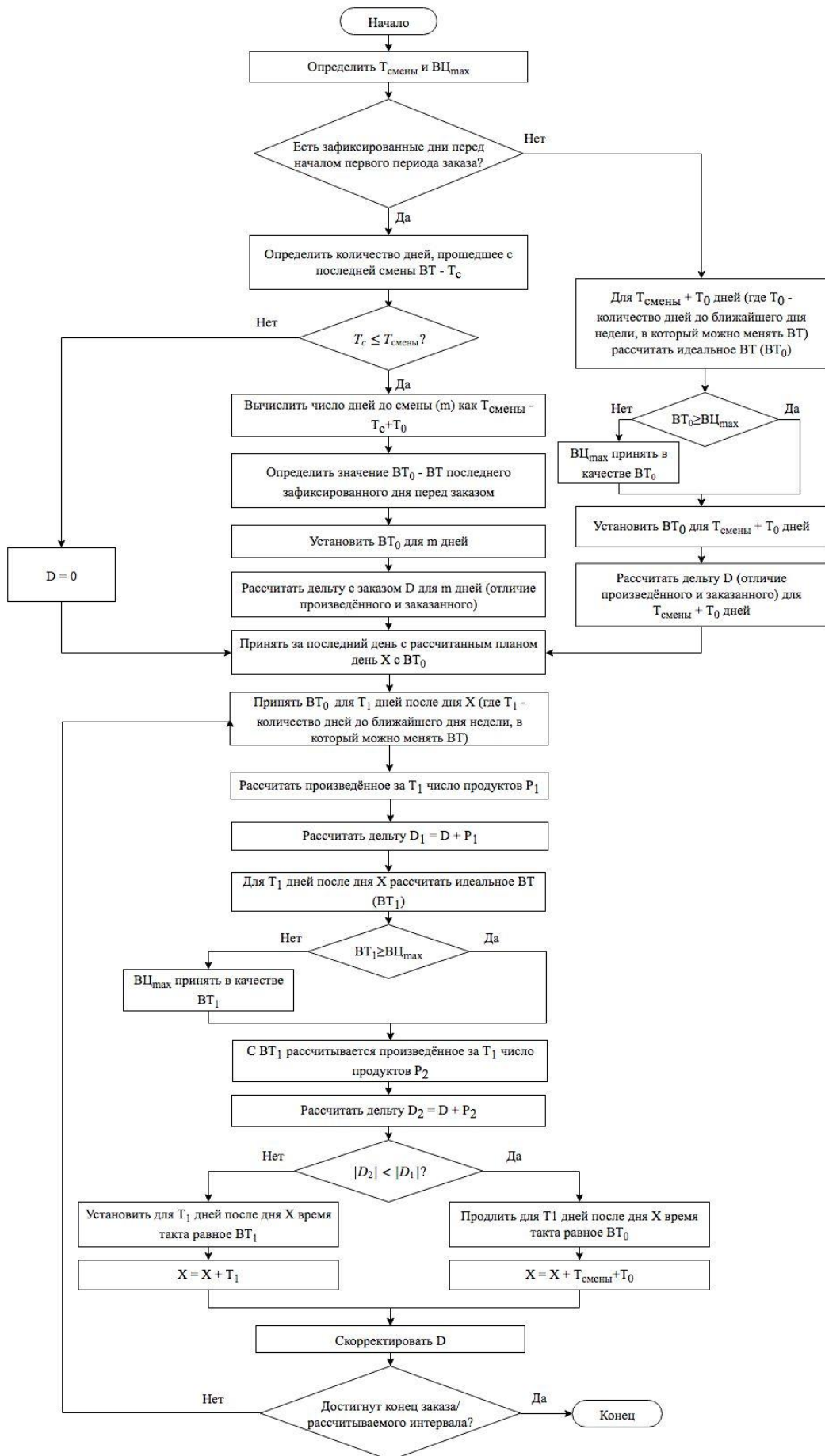


Рисунок 2.10 – Алгоритм, рассчитывающий идеальное время такта для различных промежутков

Выбор оптимального алгоритма расчета ВТ должен быть осуществлен на основе полученных экспериментальных путем данных. Критерием оптимальности рассчитанного ВТ является кумулятивная (накопительная) Δ , показывающая степень соответствия созданного плана заказу на производство.

2.4 Разработка методики построения плана поточного производства

Для удобства применения разработанных моделей необходимо оформить последовательность действий при осуществлении процесса производственного планирования в виде методики.

Методика построения плана производства включает следующие этапы:

- 1) сбор исходных данных;
- 2) внесение/ подгрузка заказа;
- 3) выбор критериев построения плана;
- 4) построение плана или его версий;
- 5) оценка плана или его версий;
- 6) представление плана (нескольких версий планов) на согласование.

Учитывая особенности процесса производственного планирования исследуемых предприятий и данные по отклонениям, выявленным во время осуществления ежемесячного цикла, разработан алгоритм сбора данных от вовлеченных подразделений (рис. 2.11) [90]. В результате проделанного в разделе 1.3 анализа инструментов «бережливого производства» [60] в представленный алгоритм включены обязательный обмен информацией и ее согласование (Nemawashi) на каждом из этапов сбора данных с целью исключения ошибок и недостоверной информации, а также элементы автоматизации (PY), нацеленные на предотвращение ошибок и их передачу на следующий этап процесса. Так как методика является самостоятельным результатом диссертационного исследования, она может быть применена без использования разработанной автоматизированной системы. Именно

поэтому на рисунке 2.11 добавлены обозначения «РУ» для тех операций, где чаще всего встречаются ошибки при создании производственного плана, и для которых обязательны средства автоматизации.

Входы и выходы алгоритма (рис. 2.11) с разбивкой по подразделениям представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры построения плана

Ответственное подразделение	Входные данные алгоритма	Выходные данные алгоритма
Отдел производственного планирования	Исходный календарь, цель операционной производительности для всего предприятия в виде коэффициента операционной производительности ($K_{оп}$)	Общий календарь (сменность, остановки, цель $K_{оп}$) и максимальные значения производственных мощностей
Отдел кадров	Рабочие/ нерабочие дни, возможные рабочие выходные, плановые остановки производства, график смен	-
Финансовый отдел	Плановые остановки (инвентаризация)	-
Отдел охраны труда	Плановые остановки (тренировка по эвакуации)	-
Цеха / подразделения, вовлеченные в фактическое производство продукции	Ограничения производства (значение $K_{оп}$ в зависимости от внедряемых проектов/ производственных изменений, максимальное время цикла ($ВЦ_{max}$), $T_{смены}$, максимальная производительность каждой из единиц продукции, плановые остановки)	-

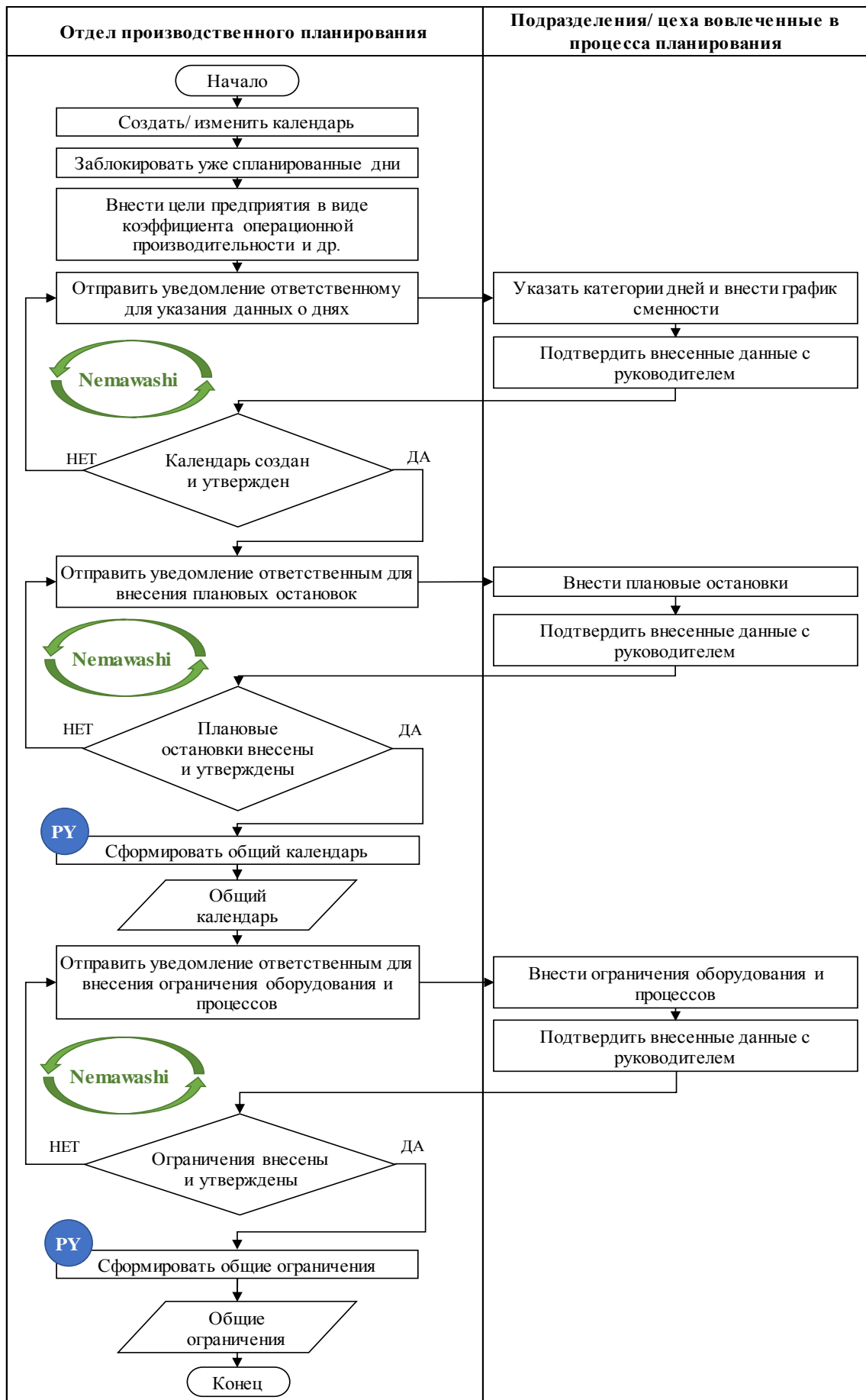


Рисунок 2.11 – Алгоритм сбора исходных данных для осуществления процесса производственного планирования

Выбор критериев построения плана зависит от многих факторов: целей планирования, указаний руководства и т.п. Для построения плана были использованы следующие критерии:

- 1) построить плана на определённый временной промежуток;
- 2) приоритизировать выполнение заказа определенного вида продукции;
- 3) построить план равномерно (в зависимости от % каждого вида продукции в заказе);
- 4) выполнить заказ, используя изменение ВТ;
- 5) выполнить заказ, используя рабочие выходные;
- 6) выполнить заказ, используя третьи смены;
- 7) максимальное ВТ в соответствии с данными цехов;
- 8) задать другое максимальное ВТ;
- 9) изменение ВТ с определённого дня недели;
- 10) максимальная производительность в соответствии с данными цехов;
- 11) задать другой максимум производительности для определенного вида продукции.

Формирование перечня критериев осуществлено на основе полученного опыта проведения процесса ежемесячного планирования. Необходимость каждого из них обусловлена важностью оперативного создания нескольких версий плана с разными условиями построения, при отсутствии необходимости изменения производственного календаря, а также срочных ответов на запросы руководства о возможных производственных объемах при различных вариантах входных данных.

Построение плана в разработанной автоматизированной системе подразумевает одновременный выбор нескольких критериев одновременно, так, например, заказ на производство может быть выполнен критерием 4 или 5 или 6, а также их одновременным использованием.

Для построения и оценки плана или его версий разработан отдельный алгоритм (рис. 2.12), также учитывающий опыт проведения циклов производственного планирования и включающий проверку критериев построения плана, которые могут противоречить друг другу и рассылку уведомлений с целью своевременного получения оценки плана от вовлеченных подразделений и цехов.

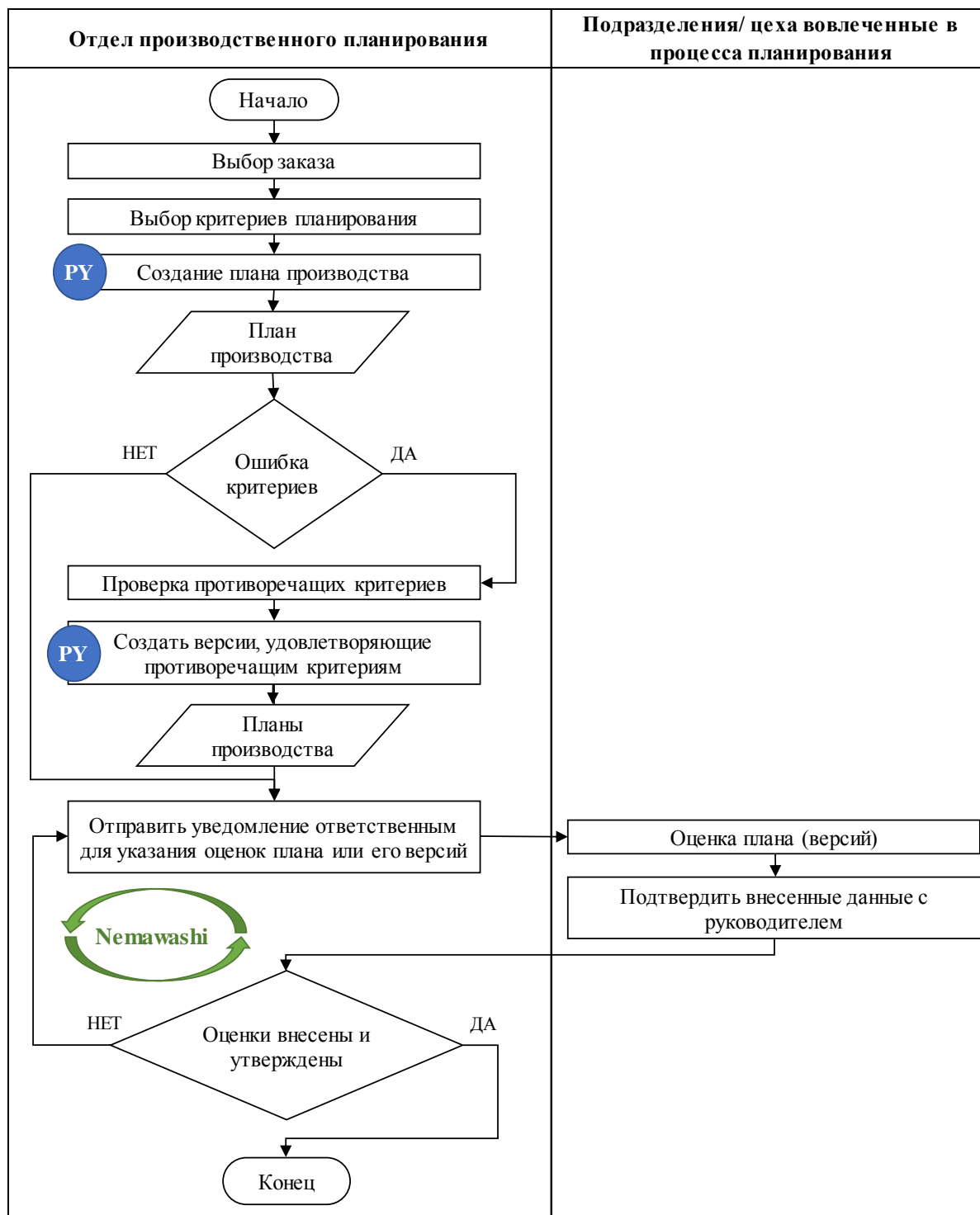


Рисунок 2.12 – Алгоритм создания и оценки плана

Представление планов на утверждение руководству должно происходить в виде документа, формат которого максимально адаптирован под восприятие неспециалистов в области планирования. Данные должны быть визуализированы таким образом, чтобы информация легко воспринималась, устное представление документа легко могло быть отслежено по ключевым моментам, отмеченным на документе.

2.5 Выводы к разделу 2

1. Разработана математическая модель процесса производственного планирования с применением теории графов. Проведены преобразования данной модели, позволившие упорядочить взаимодействие и документооборот в исследуемом процессе.

2. Разработана модель процесса планирования, учитывающая ограничения и специфику организации поточного производства приборостроительного предприятия.

3. Предложена методика расчета времени такта, включающая два альтернативных алгоритма, выбор наилучшего из них будет осуществлен на основе экспериментальных данных.

4. Разработана методика процесса планирования, учитывающая меры по предотвращению отклонений, возникающих в циклах ежемесячного планирования.

5. Для повышения результативности процесса производственного планирования, необходимо разработать автоматизированную систему производственного планирования на основе предложенных моделей и методик.

3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО ОПИСАННЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ

3.1 Выбор методологии разработки автоматизированной системы производственного планирования

Первым этапом создания автоматизированной системы является выбор методологии ее разработки. Существует много устоявшихся методологий разработки программных продуктов. Выбор методологии зависит от многих факторов: специфики поставленной задачи, субъективных предпочтений заказчика и разработчика, бюджета и т.п. К наиболее часто встречающимся методологиям можно отнести:

- 1) каскадная модель или «водопад» (Waterfall Model);
- 2) расширенная версия модели «водопад», отличающаяся тщательной проверкой и тестированием с первых стадий разработки (V-Model);
- 3) инкрементная модель (Incremental Model);
- 4) быстрая разработка приложений (rapid application development model, RAD Model);
- 5) гибкая методология разработки (Agile Model);
- 6) итеративная или итерационная модель (Iterative Model);
- 7) спиральная модель (Spiral Model).

Использование каскадной модели [91] уместно, когда есть четкие требования (без противоречий), которые понятны и зафиксированы. По сути есть четко оговоренное техническое задание (ТЗ) и не подразумевается выход за его рамки.

V-модель имеет смысл использовать, когда требуется тщательное тестирование разрабатываемого продукта и оправдывается использование заложенных в основу модели верификация и валидация.

Инкрементная модель подразумевает дробление разработки на несколько циклов создания (модулей). Каждый из модулей включает все фазы: формулировка требований, проектирование системы, написание кода, внедрение системы и ее тестирование. Продукт, разработанный по такой методологии, начинает свое функционирование в базовой версии и постепенно дорабатывается посредством добавления новых функций (инкрементов). Разработка заканчивается только тогда, когда создана полная версия системы.

Методология на основе модели быстрой разработки приложений является одной из разновидностей инкрементной модели. В большинстве случаев характеризуется крайне сжатыми сроками реализации системы, необходимостью вовлечения высококвалифицированных и узкоспециализированных разработчиков, а также высокой стоимостью разработки.

Гибкая методология [92] подразумевает оценку результата после каждой стадии разработки, но из-за отсутствия конкретных требований к результату сложно оценить требуемые для создания системы ресурсы.

Итеративная (итерационная) модель [93] также, как и гибкая, не требует детальных требований для начала разработки системы. Функционал системы создается частями, затем тестируется и дорабатывается. Главное в такой методологии – результативность на каждом шаге разработки.

Инкрементная модель по сути схожа со спиральной, но в последней акцент делается на анализ рисков ввиду ее частого применения для решения критически важных задач. Использование такой модели для малых проектов не имеет смысла, она целесообразна для разработки сложной и дорогой системы, выполнение каждого шага которой требует большего анализа рисков, чем программирование.

Учитывая опыт исследований в области разработок и внедрения информационных систем различного уровня и назначения, был сделан вывод,

что создание автоматизированной системы планирования может быть реализовано двумя путями:

1) разработка согласно техническому заданию, сформированному заказчиком. Данный подход упрощает процесс создания и согласования программного продукта благодаря использованию только формальных требований разработчика, но зачастую приводит к очевидным для ИТ-специалиста огрехам в вопросах эргономики и инженерной психологии;

2) итеративная разработка интерфейса, которая является достаточно сложной и нетривиальной задачей.

В качестве основы для разработки системы был выбран смешанный вариант, учитывающий техническое задание, описывающее предметную область и проблематику решаемой задачи, а также вариант реализации интерфейса. Данный подход позволяет оперировать проблемно-ориентированным [94] и личностно-ориентированными методами [95]. Проблемно-ориентированный подход позволяет реализовать терминологическую базу и создавать привязку к техническому процессу. Личностно-ориентированный подход позволяет учитывать специфические знания и навыки оператора процесса производственного планирования.

Итеративный подход в выбранном варианте разработки был выражен в выполнении всей работы над каждым элементом системы согласно циклу PDCA (рис. 3.1).

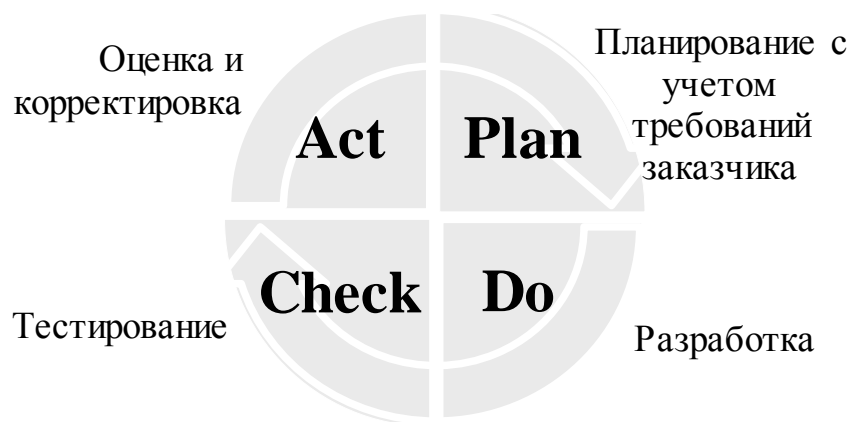


Рисунок 3.1 - Цикл итеративной разработки системы

Разработка автоматизированной системы планирования осуществлялась в следующей последовательности:

- 1) формулировка ТЗ;
- 2) разработка структуры базы данных;
- 3) разработка интерфейса системы;
- 4) написание программного кода, реализующего разработанные модели и методики.

Следует отметить, что тестирование проводилось для каждого из этапов.

Отдельное внимание было уделено выбору вида реализации системы планирования. В качестве наиболее целесообразного был выбран путь реализации приложения в виде веб-сайта с целью обеспечения механизма кроссплатформенности. Таким образом исключается привязка системы к конкретному компьютеру и его программному обеспечению (ПО), что в перспективе упростит переход к свободному ПО и ПО, разработанному в нашей стране. Браузер снимает вопрос сетевого взаимодействия, что крайне упрощает взаимодействие участников в процессе планирования и как следствие положительно влияет на время осуществления подпроцессов планирования. Также такой вид реализации исключает необходимость обновления приложений на большом количестве компьютеров предприятия.

3.2 Формирование структуры базы данных

Одной из ключевых задач при создании системы является проектирование базы данных (БД) с целью сокращения объема хранимых данных и временных затрат на многократное обновление излишних копий, а также исключения дублирования данных. Корректность выбора структуры базы данных является ключевым показателем качества созданной автоматизированной системы, так как база данных должна включать данные, позволяющие минимизировать влияние различных рисков.

Учитывая специфику решаемой задачи в качестве модели создаваемой базы данных была выбрана реляционная модель, которая обладает рядом преимуществ таких как:

- простота представления и доступность для понимания данных;
- строгие правила проектирования, основанные на математическом аппарате;
- независимость данных, которая выражена в минимальном влиянии изменений структуры БД на прикладные программы;
- отсутствие необходимости знания организации базы данных для создания запросов на языке СУБД.

К основным недостаткам можно отнести большой объем данных для представления БД, но для решения задачи повышения результативности процесса производственного планирования этот недостаток не представляет особого значения. Также к недостаткам относится низкая скорость при обработке запросов к БД, но решение этой проблемы для разработанной системы найдено и представлено далее.

Формирование структуры базы данных было начато с создания инфологической модели в соответствии со следующими шагами:

- представить предметную область в виде совокупности отдельных независимых друг от друга объектов, описанных таблицей;
- определить ключевые поля таблиц, типы связей и установить связи между ними;
- разработать структуру каждой таблицы – поля, типы данных и свойства;
- описать основные запросы к БД.

В результате разработки инфологической модели, в качестве основы для проектирования базы данных была принята первоначальная структура базы данных, описанная специалистами по планированию, которые осуществляют непосредственную работу в разработанной системе (рис. 3.2).

В результате, была создана оптимальная для исследуемого процесса и автоматизированной системы база данных, учитывающая всю необходимую информацию и состоящая из 25 таблиц. В таблице 10 представлено сравнение исходной и конечной баз данных.

С целью простоты использования и поддержки базы данных были выбраны наиболее доступные технологии и известные языки – PHP и SQL. В качестве СУБД выбрана MySQL [96]. PHP является наиболее распространенным и полноценным из языков для создания веб-сайтов [97] ввиду компактных кодов и простого синтаксиса. Обычно вместе с PHP используется MySQL и веб-сервером Apache, в дистрибутивах Linux, что в сочетании и является известной аббревиатурой LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP). Разработанная система планирования является одним из примеров использования программного обеспечения LAMP.



Рисунок 3.3 - Финальная структура базы данных

Таблица 10 – Сравнение изначальной и финальной структур базы данных

№	Название таблицы	Содержание	
		Первоначальная структура	Финальная таблица
1	Days	Идентификатор (ID) дня и его статус	
2	stoppages	Время (время начала и конца в секундах от начала суток) и название плановых остановок для каждой смены	
3	OPRs	Специальные запросы на цель $K_{оп}$	
4	Plan	Все критерии создания плана	
5	State	Все статусы дней	
6	products	Номенклатура производимой продукции и максимальные ограничения по объему производства	
7	Shifts	Номер смены, время начала и конца в секундах от начала суток, ID дня	
8	blockedDays	-	Данные о заблокированных днях (интервал дней с причиной блокировки)
9	maxProductBy Workshop	-	Максимальная производственная мощность по каждому виду продукции каждого цеха с указанием причины
10	maxVTByWorkshop	-	Максимальное время такта каждого цеха с указанием причины
11	Month	-	Количество календарных дней в месяце
12	order_	-	Названия заказов
13	Period	-	Название производственного периода (если заказ не по месяцам), даты начала и конца периодов
14	planDays	-	ID и статус, время такта и к какому подплану (subplan) привязан
15	planShifts	-	Параметры каждой смены, которая имеет ID, $K_{оп}$, номер смены, рабочее время и плановые остановки
16	planShiftsProducts	-	ID дня, имя продукта для конкретной смены дня, объем производства
17	productOrder	-	Subplan ID, ID продукта, объем производства
18	productWorkshop	-	Список цехов и подразделений, вовлеченных в производство
19	role	-	Имя пользователя, номер цеха и права доступа
20	standartDay	-	Начало и конец стандартного дня, все ID дней, которые являются стандартными
21	standartOPRs	-	Стандартная цель $K_{оп}$ и ID дней, для которых она задана
22	subOrder	-	Данные подзаказа (suborder) на месяц или период
23	subPlan	-	Данные подплана subplan, его название и название периода, для которого он создан
24	user	-	Логин, пароль, название роли, ФИО, время последнего входа в систему
25	shops	-	Название цеха, ограничения минимального количества дней с одним ВТ

Ключевым элементом построения плана производства в автоматизированной системе является рабочий день и привязанная к нему

информация (плановые остановки производства, количество рабочих смен, специальные запросы цехов), поэтому самой главной задачей создания БД был выбор наилучшего идентификатора дня, позволяющего обрабатывать запросы к базе данных самым быстрым способом [98]. Для этих целей были проведены исследования и собраны статистические данные времени обработки запросов при работе с базой данных, включающей две таблицы данных по десять миллионов записей в каждой. В первой таблице ключ был представлен атрибутом с типом данного DATETIME, во второй таблице ключ имеет тип данного INT, для того чтобы ключи могли однозначно интерпретироваться вид индекса был приведен к числу вида YYYYMMDDhhmmss. Статистические данные времени выполнения запросов приведены на рисунке 3.4.

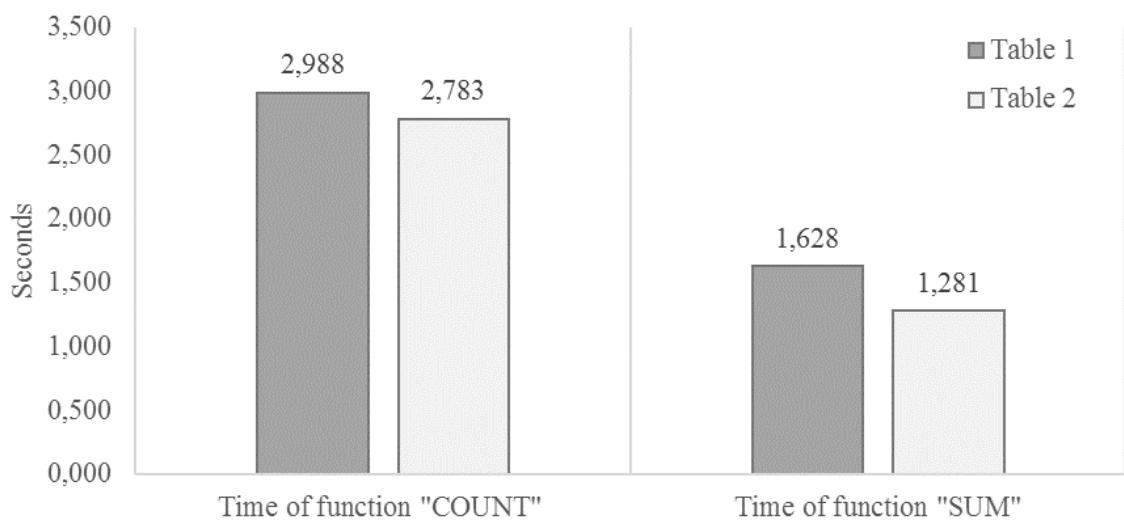


Рисунок 3.4 – Результаты времени обработки запросов для таблиц, с разными ключами

По результатам проделанных исследований тип данных для ключей дат был выбран как INT, так как при одинаковых запросах данные ключи обеспечивали меньшее время на обработку, причем чем более сложным был механизм выбора ключа, тем больший выигрыш в скорости исполнения такие ключи обеспечивают, к недостаткам такого подхода можно отнести алгоритмическое усложнение формирования интервалов дат. Но в случае с

разрабатываемой системой ключевым показателем все же является скорость обработки данных и построения плана производства.

Также одним из примеров особенностей созданной базы данных является механизм сокращения разреженности таблицы planDays за счет алгоритмического заполнения типовыми значениями исходного массива данных. В качестве стандарта задаются: понедельник- пятница – рабочие дни, суббота/ воскресенье – выходные, а также задается стандартное расписание смен для рабочих дней. Для всех дней, отличающихся от стандартных условий, создается своя уникальная запись в таблице. Таким образом, применение данного способа позволяет сократить количество записей в таблице с 365 до 61 в среднем для одного календарного года. Помимо этого, данный подход упрощает выделение нестандартных дней.

Сформированная уникальная база данных позволяет осуществлять процесс производственного планирования в единой информационной среде, хранить централизованно большой объем информации. При формировании структуры базы данных был использован итеративный подход, что было связано как со специфичными требованиями, которые при формировании технического задания не были указаны как очевидные с точки зрения опытного специалиста по планированию, так и с необходимостью обеспечить логичную структуру базы данных, которая была бы удобна для дальнейшего сопровождения системы технической службой. В процессе формирования дополнительно были проведены мероприятия, повышающие скорость обработки запросов. Созданная база данных «Planner» зарегистрирована и внесена в Реестр баз данных Федеральной службы по интеллектуальной собственности, регистрационный № 2019620209 от 04.02.2019.

3.3 Разработка пользовательского интерфейса

Несмотря на активное развитие вычислительных технологий и автоматизацию рабочих мест и процессов обработки информации, первичный ввод данных в информационную систему до сих пор является

преимущественно ручным трудом, в ходе которого в полной мере реализуется «человеческий фактор» в виде разнообразных ошибок [99]. Проблема «человеческого фактора» может быть минимизирована или исключена полностью при формировании пользовательского интерфейса.

Для созданий производственного плана должно быть использовано большое количество вводных данных. На поиск, сбор, обработку и согласование всех данных специалисту отдела производственного планирования необходимо затратить от одного дня до нескольких недель. В рассматриваемом цикле планирования на все перечисленные процессы отводится не более дня, что говорит о необходимости сокращения времени всех подпроцессов.

После первичной разработки интерфейса системы было проведено тестирование, показавшее необходимость снижения рисков влияния человеческого фактора при внесении данных в АС. С этой целью был использован метод Human Reliability Assessment (HRA) [73]. Потенциальный риск ошибки (R) определяется, как произведение вероятности появления ошибки (O) (выраженная в количестве ошибок на 100 календарных дней), на ранг тяжести последствий (S). Результаты проведенного HRA представлены в таблице 11.

Таблица 11 - HRA при внесении данных в АС

Вносимые данные	O	S	R	Способы сокращения количества ошибок
Статус дня	0,15	10	1,5	Проверка по словарю
Количество смен/ перерывов	0,05	10	0,5	Контроль длины ввода, логический контроль ввода, маски ввода
Время смен/ перерывов	0,25	10	2,5	Контроль длины ввода, логический контроль ввода, маски ввода
Название простоя производства	0,19	6	1,1	Проверка по словарю
Время простоя производства	0,11	9	1	Контроль длины ввода, логический контроль ввода, маски ввода
Номер смены	0,09	9	0,8	Маски ввода
Название цеха	0,04	6	0,2	Проверка по словарю

Для снижения времени и количества ошибок ввода были использованы следующие средства валидации HTML: маски ввода (формат даты, времени), контроль длины ввода, логический контроль ввода (невозможность ввода «наложенных» друг на друга смен, задание максимального времени смены и т.п.), проверки по словарю (выбор статуса дня, выбор категории плановых остановок производства).

С целью снижения времени ввода данных и исключения возможных ошибок помимо приведенных в таблице 11 способов сокращения ошибок были использованы компоновочные решения, объединяющие элементы интерфейса в логические структуры, расположенные согласно порядка внесения исходных данных. В качестве примера можно привести форму ввода данных по рабочим сменам (рис. 3.5), а именно статус дня, количество смен, количество перерывов, плановые простои производства.

Дата: 04.02.2022

Данные по сменам

Количество смен

	1 смена
	Кол-во перерывов <input type="text" value="2"/>
Общее время смены,мин	490
Начало смены	7:00
Конец смены	16:00
Начало 1 перерыва	9:00
Конец 1 перерыва	9:10
Начало 2 перерыва	12:00
Конец 2 перерыва	12:40

Плановые остановки

Название	Начало	Конец	Общее время,мин	Смена	Цех отдел
Общезаводское собрание	16:00	16:30	30	1-я смена ▼	Все цеха ▼

Рисунок 3.5 - Вид интерфейса системы

С целью проверки эффективности использованных средств были проведены тесты по внесению данных для 100 календарных дней [100]. Согласно результатам тестов, удалось уменьшить количество ошибок ввода данных (рис. 3.6), а также сократить время на ввод информации для одного рабочего дня в среднем с 3 минут до 1 минуты.



Рисунок 3.6 - Результаты тестирования

Предложенные средства валидации и компоновочные решения позволили создать интерфейс системы, минимизирующий риски процесса планирования.

3.4 Порядок работы с разработанным программным средством

Программное средство реализовано с учетом разработанных моделей и методик процесса организации производства приборостроительного предприятия. Программа для ЭВМ «Production Planner» зарегистрирована и внесена в Реестр Федеральной службы по интеллектуальной собственности, регистрационный № 2019612553 от 22.02.2019.

Ниже приведено описание элементов меню разработанной автоматизированной системы планирования в очередности, соответствующей

разработанной методике. Меню имеет достаточно простую структуру (рис. 3.7).

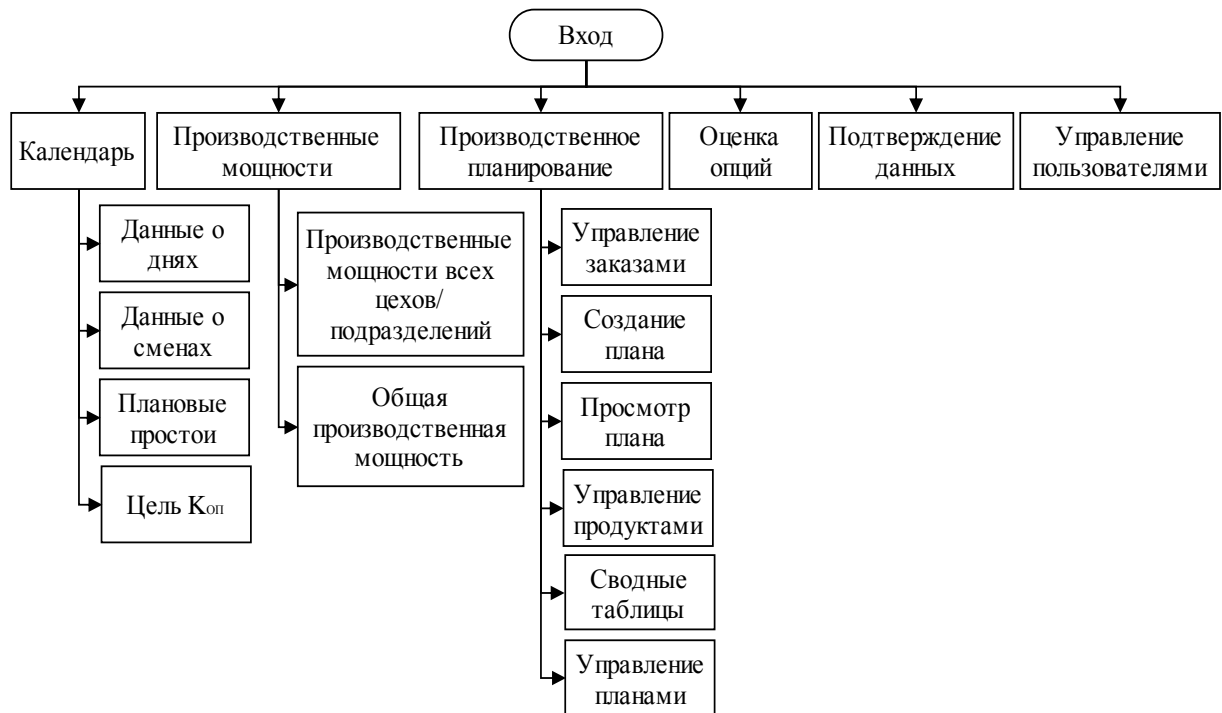


Рисунок 3.7 – Структура системы

Создание календаря

Ключевой особенностью календаря является отсутствие необходимости его подневно создания, в отличие от ручного процесса. Календарь создается автоматически благодаря специальным функциям, предоставляемым браузером. Браузер сам считает какой сейчас год, сколько дней в году, месяце и т.п., исходя из этого строится календарь. Вследствие такой реализации возможно создать календарь на любой год. Визуальная составляющая календаря разработанной системы берётся из популярного фреймворка Bootstrap 4.0. Формат календаря представлен на рисунке 3.8. Такой формат позволяет легко перемещаться между календарями разных лет простым «кликом» по нужному году или при помощи дополнительного окна, куда можно ввести номер года. Для открытия информации по каждому дню достаточно выбрать этот день нажатием на него.

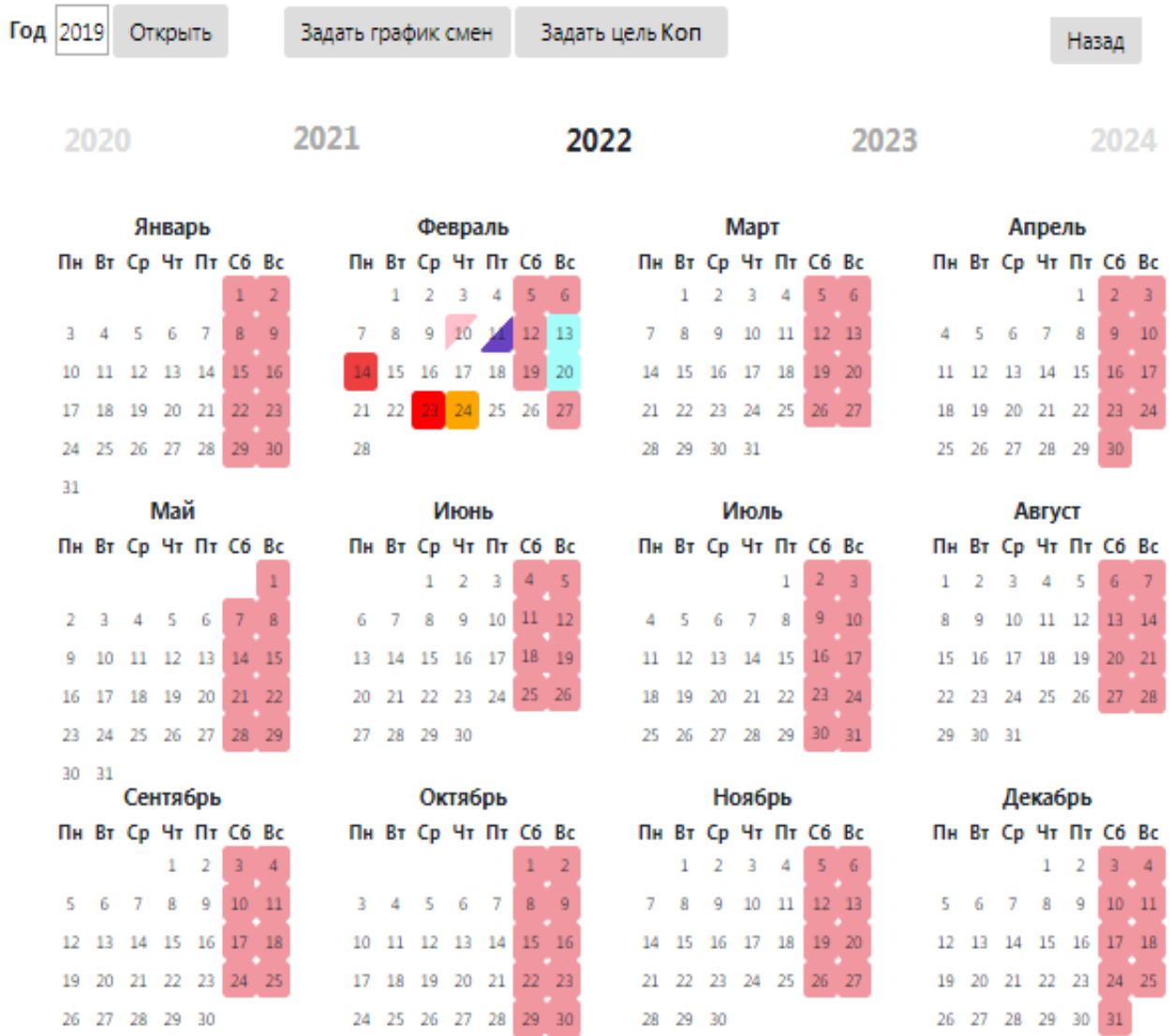


Рисунок 3.8 – Рабочий календарь

Для всех календарных дней одновременно можно задать график смен и стандартную цель коэффициента операционной производительности (K_{on}), те же данные можно вносить по отдельности для каждого дня.

Автоматическое цветовое форматирование создано только для суббот и воскресений, так как праздничные и другие дни в соответствии с решением Правительства РФ утверждаются в конце каждого года для следующего года. Создана дополнительная визуализация дней, имеющих статус отличный от «Рабочий» и «Выходной». Для всех дней календаря существует возможность выбора определенного статуса дня. Возможные статусы дней приведены на рисунке 3.9.

Дата: 23.02.2022

Праздничный ▼	Сохранить
Рабочий	
Нерабочий	
Выходной	
Возможный рабочий выходной	
Коллективный отпуск	
Праздничный	
Возможный выходной	
Сокращенный рабочий	
Рабочий выходной	

Рисунок 3.9 – Статусы дней календаря

В зависимости от выбранного статуса дня, дата данного дня приобретает определенный цвет в общем календаре. Пример цветовой заливки приведен на рисунке 3.8, например, возможные для работы выходные окрашиваются голубым цветом, праздники – красным и т.д.

После внесения информации о статусе дня, вносятся остальные данные: количество смен, количество перерывов, время смены и перерывов, плановые остановки, цель по $K_{ОП}$ (рис. 3.10).

Дата: 04.02.2022

Данные по сменам

Количество смен

	1 смена
Кол-во перерывов	<input type="text" value="2"/>
Общее время смены, мин	490
Начало смены	7:00
Конец смены	16:00
Начало 1 перерыва	9:00
Конец 1 перерыва	9:10
Начало 2 перерыва	12:00
Конец 2 перерыва	12:40

< Февраль 2022 >

Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28						

Плановые остановки

Название	Начало	Конец	Общее время, мин	Смена	Цех/отдел
Общезаводское собрание	16:00	16:30	30	1-я смена ▼	Все цеха ▼

Данные по Коп

Цель	Значение	Смена	Цех/отдел	Комментарий
Стандартная цель	95%	Все смены	Все цеха	Общезаводская цель

Рисунок 3.10 – Пример данных одного дня

Если в рабочий день запланирована остановка производства или добавлена какая-то нестандартная цель операционной производительности, то эти дни подсвечиваются, как показано на рисунке 3.8 для 10 февраля и 11 февраля.

Для простоты перемещения между датами календаря на странице внесения данных каждого конкретного дня в верхнем правом углу создан дополнительный календарь.

Внесение производственных мощностей

Внесение данных о производственных мощностях осуществляется каждым вовлеченным в процесс планирования по отдельности, при этом доступ дается только к данным, за которые он несет ответственность. Сделано это с целью недопущения копирования или корректировки мощностей под значения других подразделений или цехов. Вид интерфейса системы для внесения данных представлен на рисунке 3.11.

Производственная мощность
Общая производственная мощность

Год
Цех/отдел

Максимальное время цикла

	Время цикла, сек	Оборудование/процесс	Комментарий
Январь			
Февраль			
Март			
Апрель			
Май			
Июнь			
Июль			
Август			
Сентябрь			
Октябрь			
Ноябрь			
Декабрь			

Минимальная продолжительность с одним ВТ

Количество дней(календарных)	Причина

Максимальная производительность

Продукция

	Максимально штук в день	Оборудование/процесс	Комментарий
Январь			
Февраль			
Март			
Апрель			
Май			
Июнь			
Июль			
Август			
Сентябрь			
Октябрь			
Ноябрь			
Декабрь			

Рисунок 3.11 – Внесение данных о производственных мощностях

Последовательность внесения данных следующая:

- 1) выбрать год внесения данных;
- 2) внести максимальное ВЦ (максимальная скорость выпуска единицы продукции) для каждого месяца с указанием ограничивающего оборудования/ процесса и комментарием;
- 3) указать минимально возможную продолжительность производства с одним ВТ в календарных днях и причиной ограничения;
- 4) указать максимальную производительность по каждому виду продукции (штук в день) с указанием ограничивающего оборудования/ процесса и комментарием.

На основании внесенных от цехов и подразделений данных генерируется общая производственная мощность.

Внесение заказа на производство

Внести заказ на производство можно вручную или подгрузить файл формата Excel. На рисунке 3.12 представлен интерфейс страницы для внесения заказа. Заказ может включать неограниченное число продуктов на неограниченный временной промежуток, а также может быть создан как по месяцам, так и по периодам. Для удобства указания дат периодов создан специальный всплывающий календарь.

Год	Месяц	Период	Начало периода	Конец периода	Продукция А
2016	Январь	P1601	01.01.2016	12.01.2016	100
2016	Февраль	P1602	03.02.2016		200
2016	Март	P1603	09.03.2016		300
2016	Август	Name will be autogenerated			200

Рисунок 3.12 – Внесение заказа на производство

Выбор критериев построения плана

Для создания плана производства необходимо указать критерии его построения в следующей последовательности:

- 1) указать название плана;
- 2) выбрать заказ на производство продукции;
- 3) задать определенный временной промежуток построения плана, если необходимо построить его не на весь заказ;
- 4) выбрать вариант выполнения заказа;
- 5) выбрать вариант производственных мощностей – использовать внесенный или задать другие данные;
- б) создать план.

Интерфейс страницы выбора критериев построения плана представлен на рисунке 3.13.

Название плана

Заказ --Не выбрано--

[Создать план](#)

Настройки плана

Построить план на определённый временной промежуток	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="с"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="по"/>
Приоритизировать выполнение заказа продукции	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="с"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="по"/>
Построить план равномерно (в зависимости от % в заказе)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Выполнить заказ используя изменение ВТ	<input type="checkbox"/>		
Выполнить заказ используя рабочие выходные	<input type="checkbox"/>		
Выполнить заказ используя третьи смены	<input type="checkbox"/>		
Максимальное ВЦ в соответствии с данными цехов	<input checked="" type="checkbox"/>		
Максимальное ВЦ	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="ВТ, сек"/>	
Изменение ВТ с определённого дня	<input checked="" type="checkbox"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="Пн"/>	
Максимальная производительность в соответствии с данными цехов	<input type="checkbox"/>		
Задать другой максимум производительности	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	Продукт А ▾
ВТ до расчёта	<input type="checkbox"/>	<input style="width: 50px;" type="text" value="ВТ, сек"/>	
Дата последней смены ВТ	<input style="width: 100px;" type="text" value="dd.mm.yyyy"/>		

[На главную](#)

Рисунок 3.13 – Настройка плана

После нажатия кнопки «Создать план», система автоматически перемещает пользователя на страницу сгенерированного подневного плана. Пользователь может оценить план, посмотрев его на этой странице (результат кумулятивной Δ показывается на странице), или же сделать выгрузку в файл формата Excel.

Анализ плана и сравнение его версий

Для удобства анализа созданного плана и сравнения версий планов сделан специальный функционал, позволяющий создавать сводные таблицы и графики на их основе (рис. 3.14). Для этого необходимо выбрать параметры построения таблицы и графиков (левая часть страницы) и нажать «Построить».

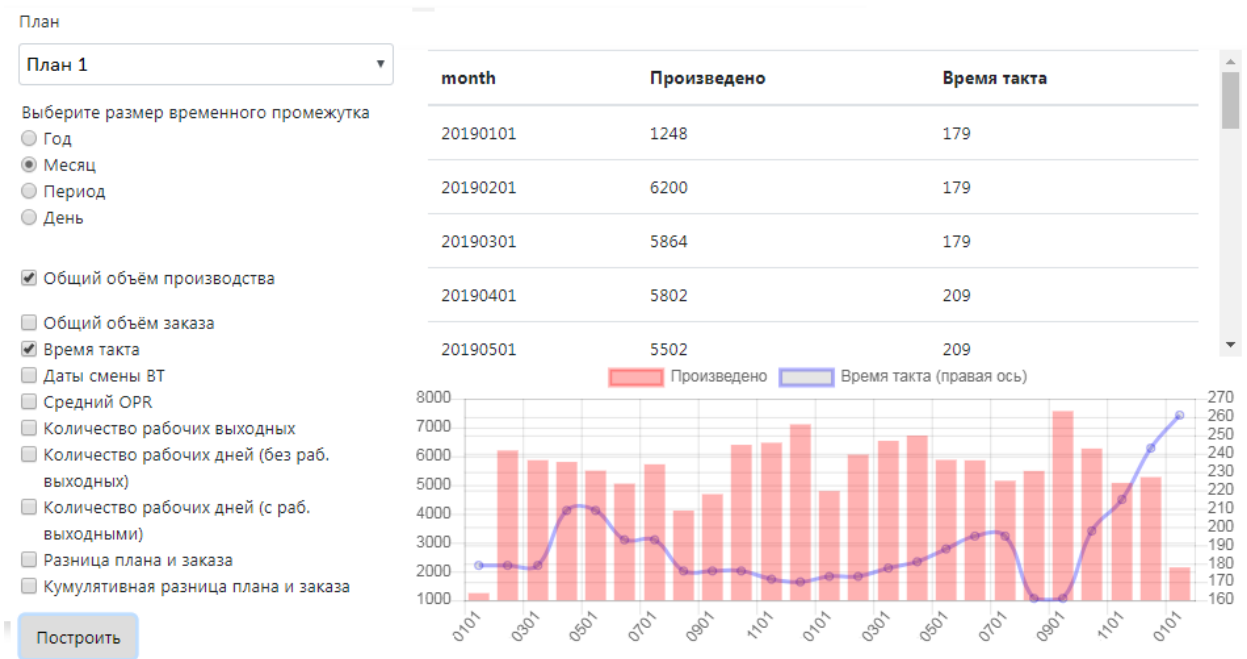


Рисунок 3.14 – Сводные таблицы планов и графики

Оценка плана

Когда план и его версии созданы, ответственным отправляется уведомление о необходимости их оценки. Форма оценки представлена на рисунке 3.15. Для простоты восприятия оценки выбираются из: ●- план может быть реализован, ▲- есть сложности с реализацией плана, ✘- план не может быть реализован, а также обязательно должен быть добавлен комментарий.

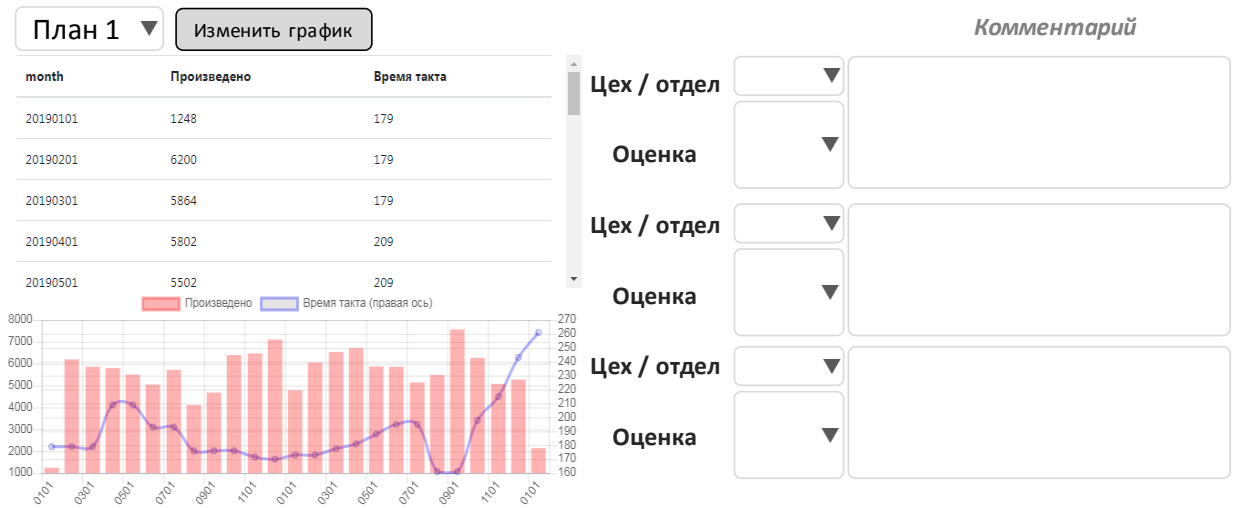


Рисунок 3.15 – Оценка плана

Подтверждение данных

Интерфейс страницы системы, где осуществляется подтверждение данных, приведен на рисунке 3.16. Все изменения, сделанные в системе, попадают в определенную категорию, специалист по производственному планированию может их отследить. Проверка данных осуществляется в следующем порядке:

- 1) проверка содержания изменения;
- 2) проверка подтверждения руководителя, если не подтверждено – отправка на подтверждение;
- 3) если правка некорректна, то необходимо отправить уведомление ответственному.

Категория	Изменение	Дата изменений	Цех/отдел	Подтверждено руководителем	Подтверждено ОПП	Подтвердить все			
Календарь	25.01 - Данные Кол	19.01.2019	Цех сборки	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Отправить на подтверждение"/>	<input type="button" value="Подтвердить"/>	<input type="button" value="Отклонить"/>	<input type="button" value="Причина"/>
Оценка плана	План 1	19.01.2019	ОПП	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Отправить на подтверждение"/>	<input type="button" value="Подтвердить"/>	<input type="button" value="Отклонить"/>	<input type="button" value="Причина"/>

Рисунок 3.16 – Подтверждение данных

3.5 Выводы к разделу 3

1. Обоснована методология разработки программного средства. Программное средство создано в соответствии со смешанным вариантом,

включающим первоначальное ТЗ и итеративную разработку. Автоматизированная система создана в виде веб-сайта с целью обеспечения механизма кроссплатформенности.

2. Описаны этапы формирования структуры базы данных и ее основные особенности для разрабатываемой системы производственного планирования, заключающиеся в специальном формате ключа и алгоритмическом заполнении данных.

3. Разработка пользовательского интерфейса проводилась с учетом проведенного HRA- анализа с целью минимизации рисков процесса планирования - максимального предупреждения человеческого фактора при внесении данных. Выбраны и описаны средства валидации HTML, а также другие средства, использованные в разработанной автоматизированной системе.

4. Программное средство реализовано с учетом разработанных моделей и методик процесса организации производства приборостроительного предприятия. Листинг разработанного программного средства представлен в приложении А. Программа для ЭВМ «Production Planner» зарегистрирована и внесена в Реестр Федеральной службы по интеллектуальной собственности, регистрационный № 2019612553 от 22.02.2019.

4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

4.1 Общие положения

Для подтверждения корректности предложенных математических моделей и разработанных методик, а также реализующего их программного средства, необходимо было решить ряд практических примеров.

В рамках проводимых исследований в центре внимания оказались процессы, которые особенно важны для поточных приборостроительных предприятий, занимающихся производством высокотехнологичной продукции - инновационная продукция, при производстве которой используются результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, соответствующих приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации [101]. Создание продукции такого типа обязывает предприятия применять новое или модернизированное оборудование, технологические процессы и технологии, ранее не применяемые для производства такой продукции, а соответственно тесно сопряжено со значительным уровнем затрат. Успешное развитие предприятия напрямую зависит от его инновационной деятельности, которая является одной из главных задач развития экономики нашей страны [102].

Управление затратами в высокотехнологичном производстве должно быть системным и включать принципы, инструменты и методы снижения расходов.

Основными принципами системы управления затратами должны стать [102]:

- полная ликвидация затрат и потерь на всех этапах движения материалов, комплектующих и данных, необходимых для изготовления продукции за счет создания потока ценности;

- применение единых требований к программному обеспечению, планирования, учету и анализу затрат за счет внедрения передовых и наиболее эффективных методов управления затратами наравне с единством их применения. Единое соподчиненное применение критериев эффективности [103];

- управление затратами на основе комплексного системного подхода, который способствует оперативному достижению поставленных целей;

- привлечение всех сотрудников предприятия к деятельности по управлению затратами за счет определения ответственных за каждый из видов затрат, разработка системы премирования за достижение положительных результатов;

- предупреждение затрат из-за нерациональных расходов за счет прогнозирования и планирования;

- сопоставление стратегических целей предприятия с прогнозируемыми и планируемыми затратами на производство продукции и внедрение новых технологий;

- рациональное использование ресурсов на основе сформированной «бережливой» культуры предприятия.

Разработанное программное средство является новой автоматизированной системой производственного планирования, нацеленное на повышение результативности процесса планирования. Использование разработанных моделей и методик, построенных на основе принципов «бережливого производства», предполагает вовлечение сотрудников практически всех подразделений предприятия, прогнозирование производственного плана любой длительности с целью планирования возможных затрат на повышение производственных мощностей, а также управление человеческими ресурсами.

Следующие практические задачи необходимо было решить при помощи автоматизированной системы:

- 1) выбрать оптимальный алгоритм расчета ВТ;

- 2) проверить функционал разработанной системы при решении задач построения плана для разного количества продуктов и разных горизонтов с учетом различных критериях планирования;
- 3) оценить результативность процесса планирования.

4.2 Выбор оптимального алгоритма расчета времени такта

С целью выявления оптимального алгоритма была проведена апробация результатов исследования в процессе производственного планирования. Для проверки алгоритмов и выявления наилучшего, построение планов было осуществлено для реального заказа (31), учитывающего прогноз спроса на продукцию на 24 производственных периода, и заказа (32), характеризующегося значительно возросшим спросом в середине заказа, сделанным искусственно с целью дополнительной проверки функционирования алгоритмов (рис. 4.1) [89].

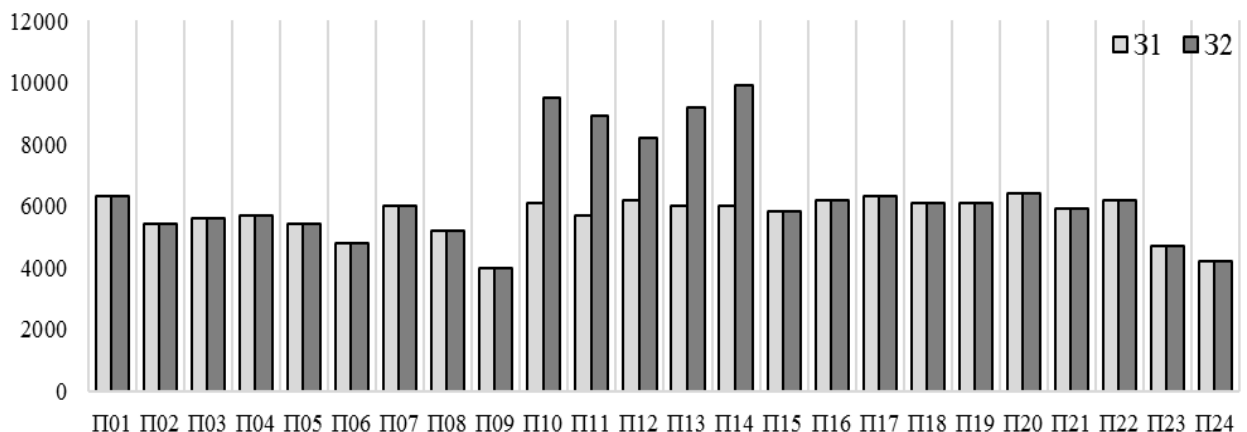


Рисунок 4.1 - Заказы на производство продукции

Исходные данные процесса планирования приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Исходные данные

Данные	Значение
Стандартное количество рабочих смен	2
$T_{\text{смены}}$ (календарные дни)	60
День с которого возможен переход на новое ВТ	Понедельник
$ВЦ_{\text{max}}$ (секунды)	160
Продолжительность стандартной рабочей смены (минуты)	480

Данные по рабочему времени, плановым остановкам производства и коэффициенту $K_{оп}$ для каждого рабочего дня представляют большой массив данных, поэтому не представлены в тексте диссертационной работы.

Для создания планов с целью определения оптимального алгоритма было проведено сравнение трех вариантов построения планов производства: ручное построение плана:

- ручное построение плана (РП);
- алгоритм 1 (А1) - построение плана в автоматизированной системе с использованием алгоритма расчета ВТ на равные промежутки времени, заданные производственными подразделениями ($T_{\text{смены}}$);
- алгоритм 2 (А2) - построение плана в автоматизированной системе с использованием алгоритма расчета ВТ на разные промежутки времени.

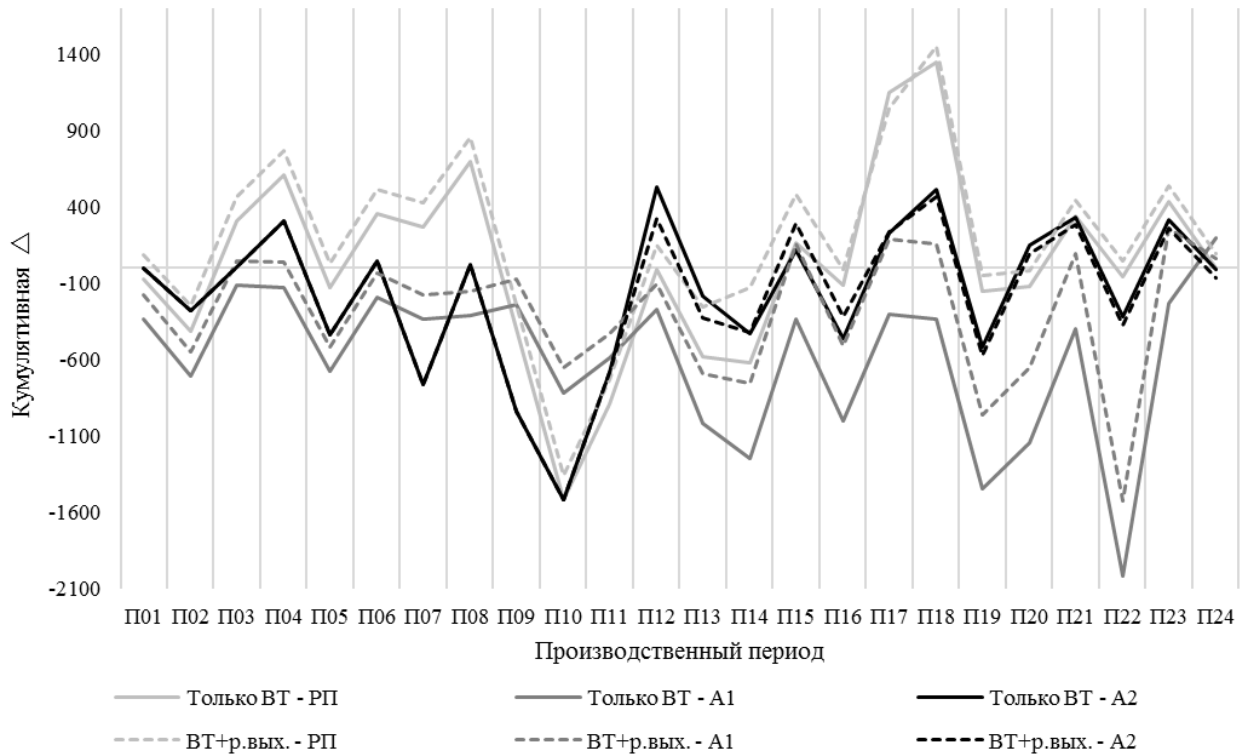
Выполнение заказов осуществлялось тремя путями:

- только ВТ;
- ВТ и возможные рабочие выходные (ВТ+раб.вых.);
- ВТ, возможные рабочие выходные и введение дополнительной смены (ВТ+раб.вых.+доп.см.).

Результаты экспериментов приведены на рисунке 4.2. Рисунок 4.2а отражает кумулятивную Δ планов, построенных для выполнения первого заказа двумя путями – только ВТ и ВТ+р.вых. Для второго заказа приведен только график (4.2б), отражающий кумулятивную Δ для плана,

построенного с использованием ВТ+р.вых.+доп.см., так как заказ 2 значительно превышает производственные мощности и кумулятивная Δ планов, построенных с использованием только ВТ и ВТ+раб.вых., имеет слишком большой разброс значений и не позволяет выполнить заказ в отведенные на это 24 производственных периода, полученные графики не являются показательными и не представлены в настоящей работе.

а)



б)



Рисунок 4.2 - Результаты экспериментов

Учитывая объемы заказа и ограничения $T_{\text{смены}}$ и $ВЦ_{\text{max}}$ можно сказать о том, что достижение нулевой Δ для каждого производственного периода невозможно. Поэтому выбор наилучшего алгоритма осуществлялся исходя из следующих показателей:

- количество периодов, в которых кум. Δ приближена к нулю (кум. $\Delta = \pm 50$);
- наименьшего значения кум. Δ ;
- наибольшего значения кум. Δ .

Значения каждого из критериев для планов, приведенных на рисунках 4.2 а и б приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Анализ построенных планов

Критерий	Заказ 1						Заказ 2		
	Только ВТ			ВТ + р.вых.			ВТ + р.вых.+ доп.см.		
	РП	A1	A2	РП	A1	A2	РП	A1	A2
Количество периодов, для которых кум.Δ = ±50	2	0	5	4	3	4	1	4	5
Наименьшее значение кум.Δ	-1518	-2017	-1521	-1358	-1525	-1521	-6778	-7335	-6607
Наибольшее значение кум.Δ	1347	195	528	1449	259	463	1107	566	334

Согласно таблице 2 видно, что практически во всех случаях построения плана благодаря алгоритму 2 наименьшая кум.Δ достигается чаще, чем в случае с ручным построением плана и алгоритмом 1. Критерии наименьшего и наибольшего значения кум.Δ оценивались в совокупности и для двух случаев из трех алгоритм 2 обладает наилучшим их сочетанием. В случае плана для заказа 1, построенного с использованием ВТ и рабочих выходных по алгоритму 1 следует отметить, что был получен достаточно длительный период, характеризующийся отрицательной кум.Δ (рисунок 4.2а), что говорит о длительном невыполнении заказа и такой план не может быть выбран в качестве наилучшего. Учитывая проведенный анализ созданных планов, в качестве оптимального был выбран алгоритм 1.

4.3 Проведение экспериментов построения планов

С целью проверки функционала разработанной системы при решении задач построения плана для разного количества продуктов и разных горизонтов с учетом различных критериях планирования, был также проведен ряд экспериментов построения планов для нескольких производств.

Первый эксперимент заключался в построение плана для двух видов продукции, спрос на которые возрастает к концу года. Заказ приведен на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Заказ 1

Исходные данные для создания плана приведены в таблице 14.

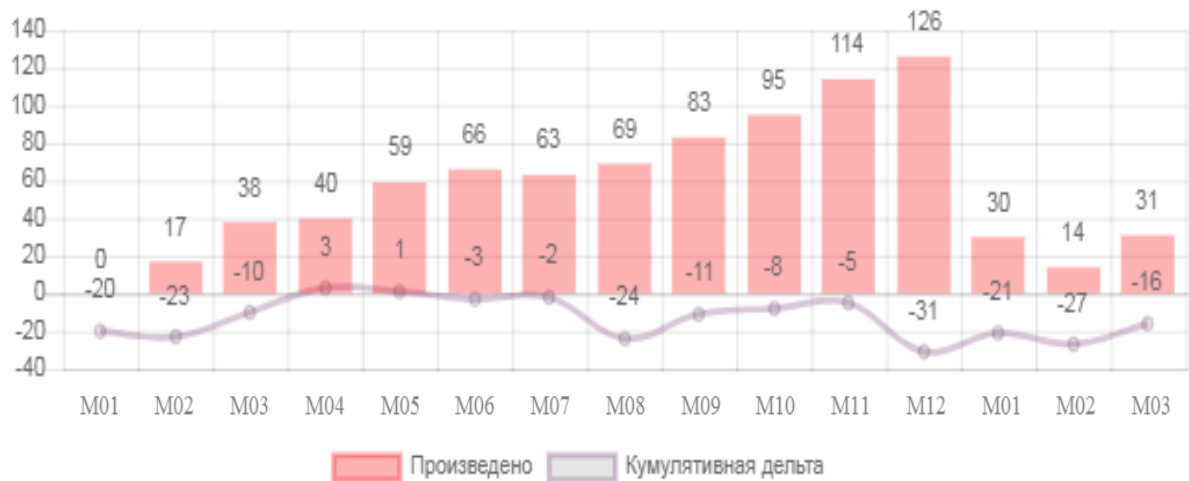
Таблица 14- Исходные данные

Данные	Значение
Стандартное количество рабочих смен	1
$T_{\text{смены}}$ (календарные дни)	30
День с которого возможен переход на новое ВТ	Понедельник
$ВЦ_{\text{max}}$ (секунды)	300
$K_{\text{оп}}$	99%
Продолжительность стандартной рабочей смены (минуты)	480
Максимальная производительность по изготовлению прибора А, штук в день	3
Максимальная производительность по изготовлению прибора Б, штук в день	1

Система позволяет создавать два варианта плана с использованием только ВТ: с положительной и отрицательной кумулятивными Δ , а также с Δ равной нулю. Но так как достижение нулевой кумулятивной Δ достигается присвоением последним рабочим дням статуса «нерабочий», то для представления результатов такое выведение плана в ноль с заказом не использовано. С целью проверки функционала системы построение плана проводилось с использованием вариантов достижения положительной и отрицательной кумулятивными Δ к концу всего периода планирования.

Результаты построения плана с использованием только ВТ и достижением минимальной отрицательной конечной кумулятивной Δ приведены на рисунке 4.4.

а)



б)



Рисунок 4.4 – Результаты построения плана 1 (эксперимент 1)

Результаты построения плана с использованием только ВТ и достижением минимальной положительной конечной кумулятивной Δ приведены на рисунке 4.5.

а)



б)



Рисунок 4.5 – Результаты построения плана 2 (эксперимент 1)

По результатам проведенного анализа обоих планов было установлено, что предложенные модели и методики применимы для поточных производств с небольшими объемами выпуска. Установленные ограничения и заданные исходные данные учитываются при построении плана, план строится корректно.

Второй эксперимент заключался в построении плана для четырех видов продуктов на шесть периодов, с учетом исходных данных представленных в таблице 15. Периоды были выбраны различной длительности.

Таблица 15- Исходные данные

Данные	Значение
Стандартное количество рабочих смен	2
$T_{\text{смены}}$ (календарные дни)	30
День с которого возможен переход на новое ВТ	Любой день
$ВЦ_{\text{max}}$ (секунды)	100
$K_{\text{оп}}$	95%
Продолжительность стандартной рабочей смены (минуты)	480
Максимальная производительность по изготовлению продукта А, штук в день	200
Максимальная производительность по изготовлению продукта Б, штук в день	195
Максимальная производительность по изготовлению продукта В, штук в день	215
Максимальная производительность по изготовлению продукта Г, штук в день	125

Заказ для второго эксперимента приведен на рисунке 4.6. Он сформирован таким образом, чтобы в определенных периодах проверить учет заданных производственных мощностей - заказ по некоторым продуктам значительно превышает максимальную производственную мощность в определенных периодах.

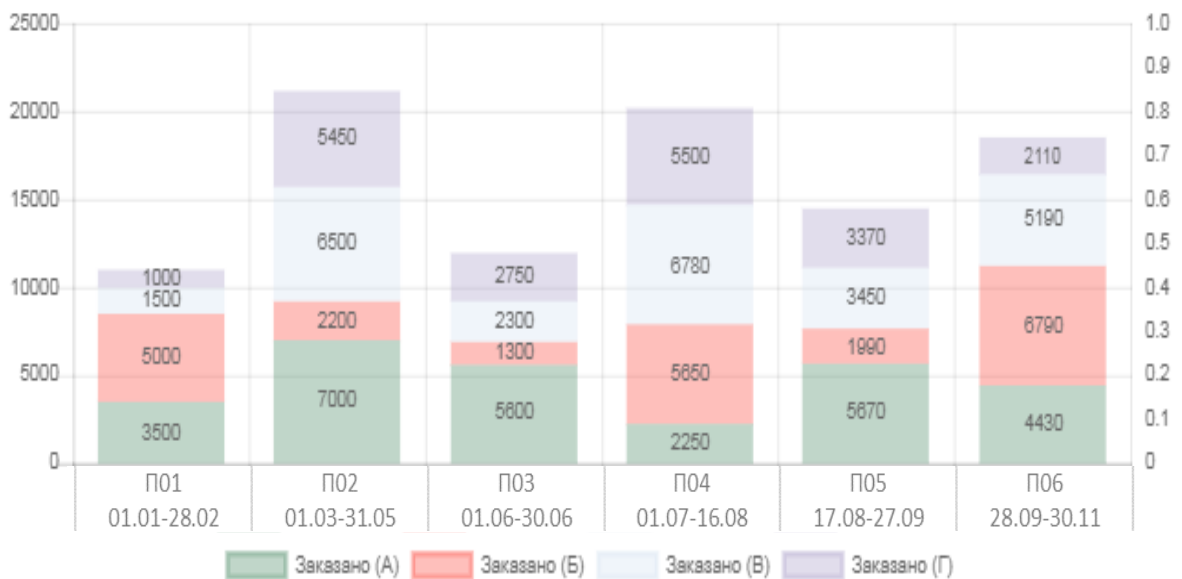
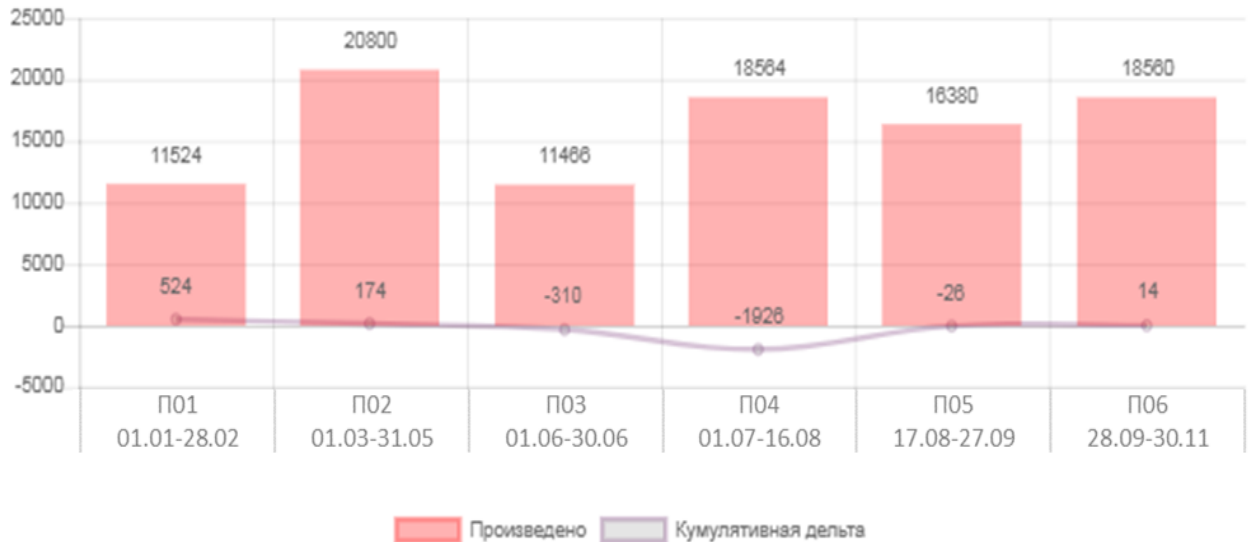


Рисунок 4.6 – Заказ 2

Результаты построения плана для заказа (рис. 4.6) с использованием только ВТ и достижением минимальной конечной кумулятивной Δ приведен на рисунке 4.7.

а)



б)

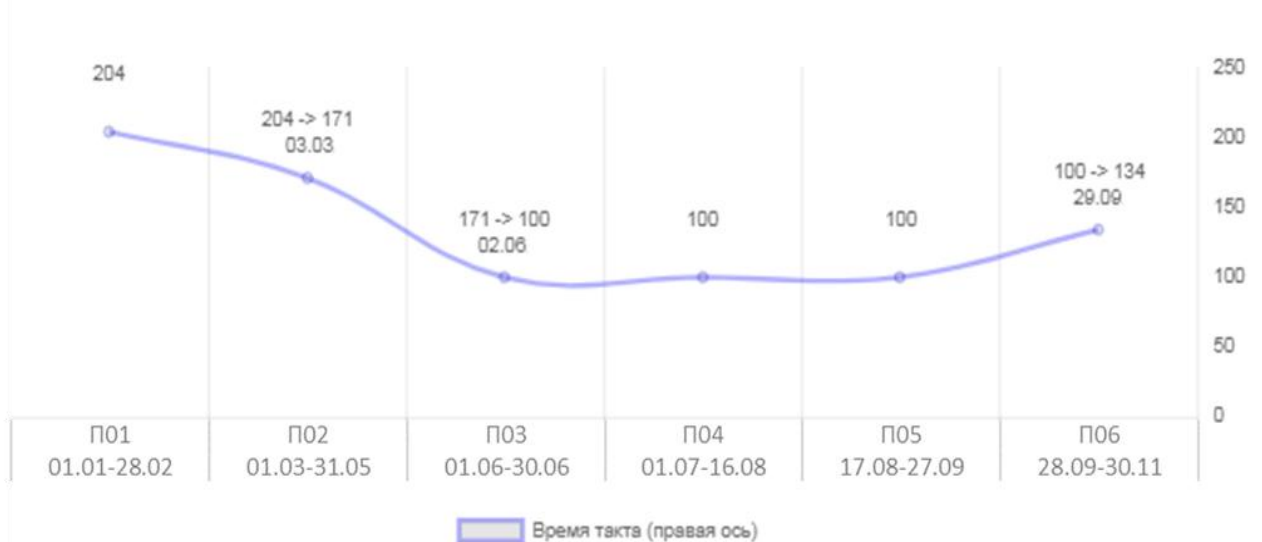


Рисунок 4.7 – План (эксперимент 2)

Третий эксперимент проводился для оценки функционала, позволяющего приоритизировать выполнение заказа какого-либо из конкретных видов продуктов.

В качестве исходных условий были приняты такие условия, как и для второго эксперимента (табл. 15, рис. 4.6). План, построенный для продуктов в зависимости от их процентного значения в заказе приведен на рисунке 4.8.

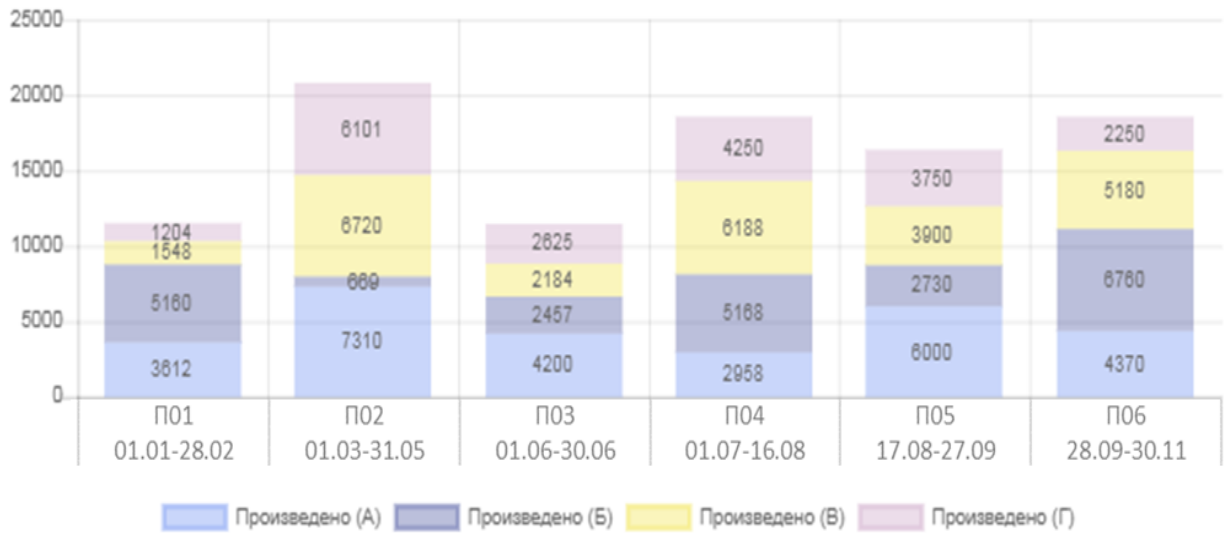


Рисунок 4.8 – План 1 (эксперимент 3)

Поочередно для каждого продукта была выбрана приоритизация выполнения его заказа. Результаты эксперимента приведены на рисунках 4.9-4.12.



Рисунок 4.9 – План 2 – приоритизация продукта А (эксперимент 3)

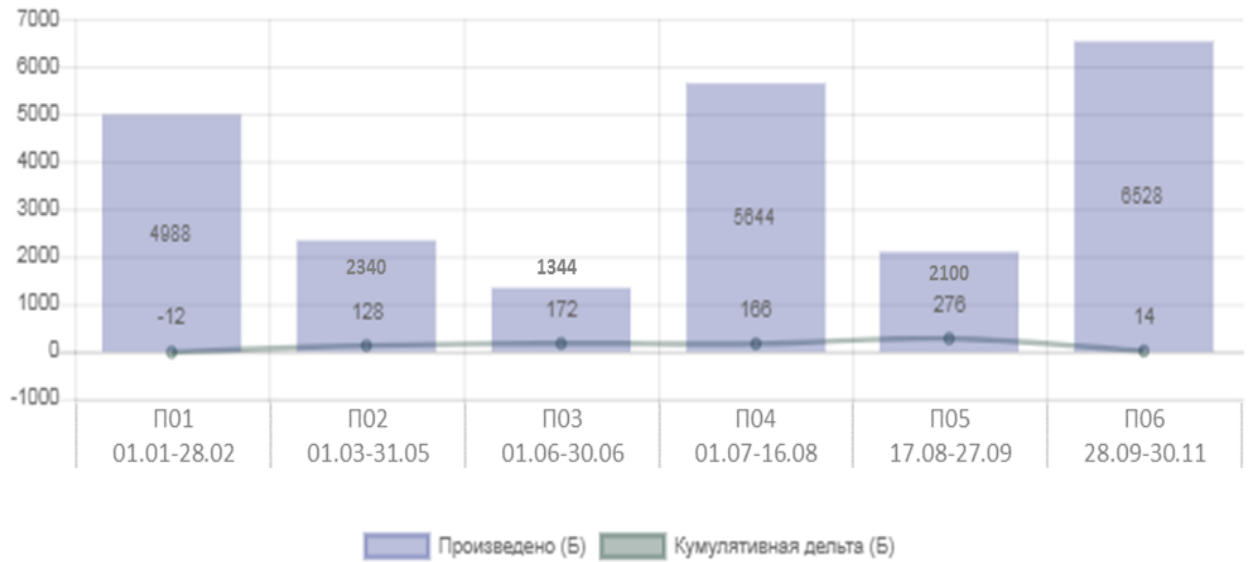


Рисунок 4.10 – План 3 – приоритизация продукта Б (эксперимент 3)

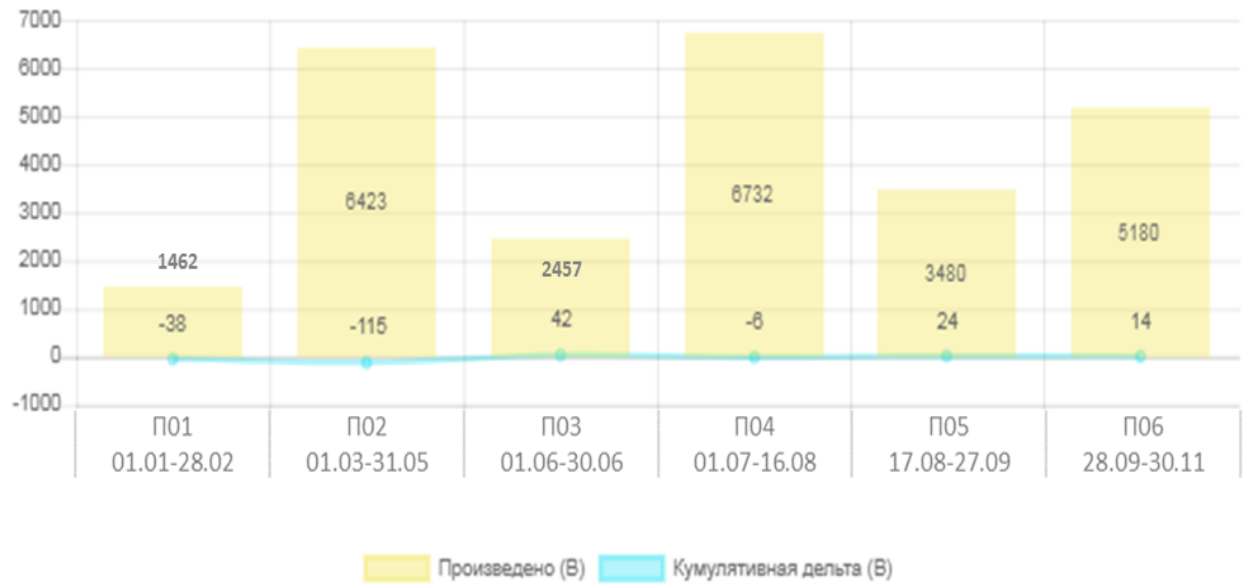


Рисунок 4.11 – План 4 – приоритизация продукта В (эксперимент 3)



Рисунок 4.12 – План 5 – приоритизация продукта Г (эксперимент 3)

В результате эксперимента проверен функционал системы, позволяющий приоритизировать выполнение заказа для одного из производимых продуктов, также подтверждено, что система корректно учитывает производственные ограничения для любого количества продуктов.

4.4 Оценка результативности процесса производственного планирования в автоматизированной системе

Оценка результативности процесса производственного планирования после использования разработанной АС на нескольких приборостроительных предприятиях проводилась по показателям, сформулированным в подразделе 1.4, и позволила выявить, что было получено улучшение всех показателей процесса планирования в комплексе.

За счет автоматизации ручных процессов удалось значительно сократить время процессов планирования, в частности время создания одного плана в системе не превышает 1 минуты [50, 89], которая была выбрана как показатель результативности создания плана (рис. 4.13). Так как процесс построения плана производства был полностью переведен в автоматизированную среду, ошибки процесса создания плана были исключены полностью.

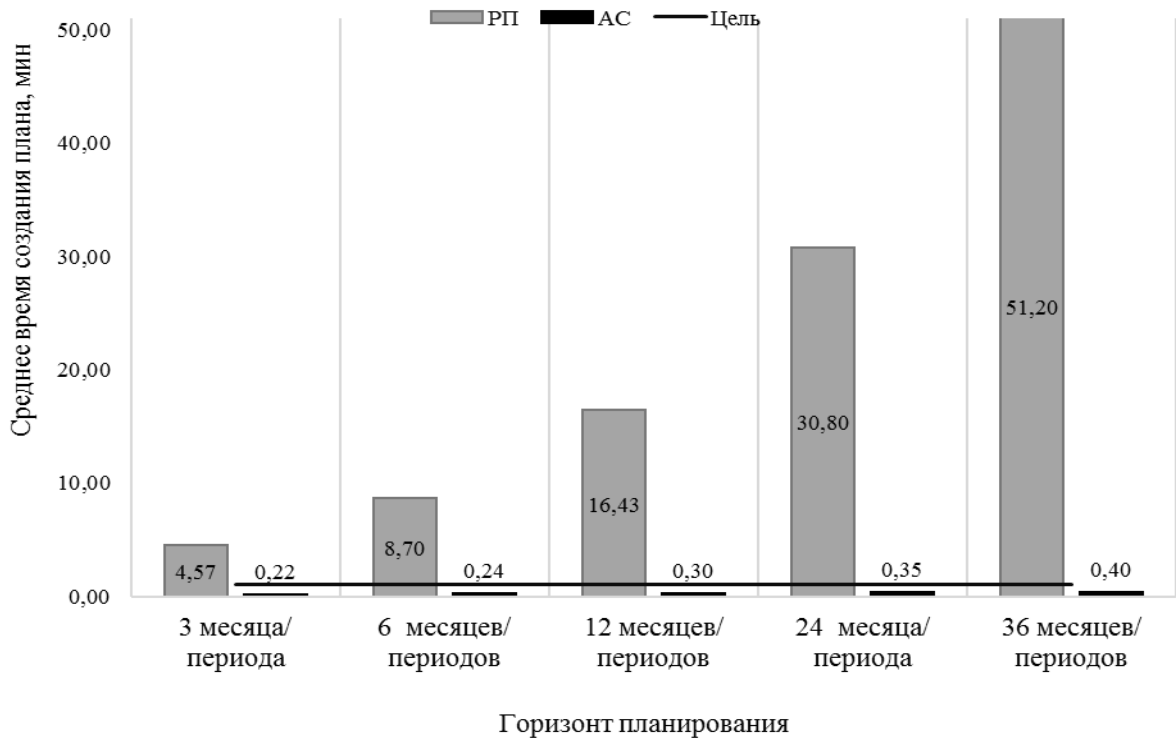


Рисунок 4.13 – Время создания плана

За счет стандартизации форматов ввода данных и оценок планов, рассылке уведомлений при помощи системы, а также создания системы в виде веб-сайта, удалось существенно сократить время сбора данных и оценки версий планов и их обобщения. Сроки данных подпроцессов соблюдаются полностью, а время оценки версий плана, включающее время оценки всеми подразделениями/ цехами и время обобщения оценок, в частности, было сокращено на 60% (рис. 4.14). Обобщение оценок стало полностью автоматизированным процессом.

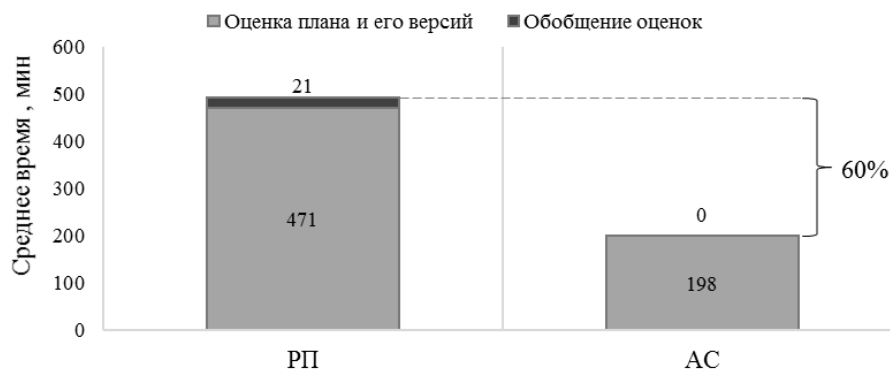


Рисунок 4.14 – Время оценки плана и обобщения оценок

Следует отметить, что количество ошибок подпроцесса сбора данных для создания плана было сокращено на 85% за счет предложенных в диссертационной работе средств (рис. 4.15) [5], что подтверждается актами внедрения (приложение Б), но так как внесение данных в систему остается преимущественно ручным процессом, то необходимо продолжать разработку и применение корректирующих и предупреждающих инструментов с целью минимизации количества ошибок.

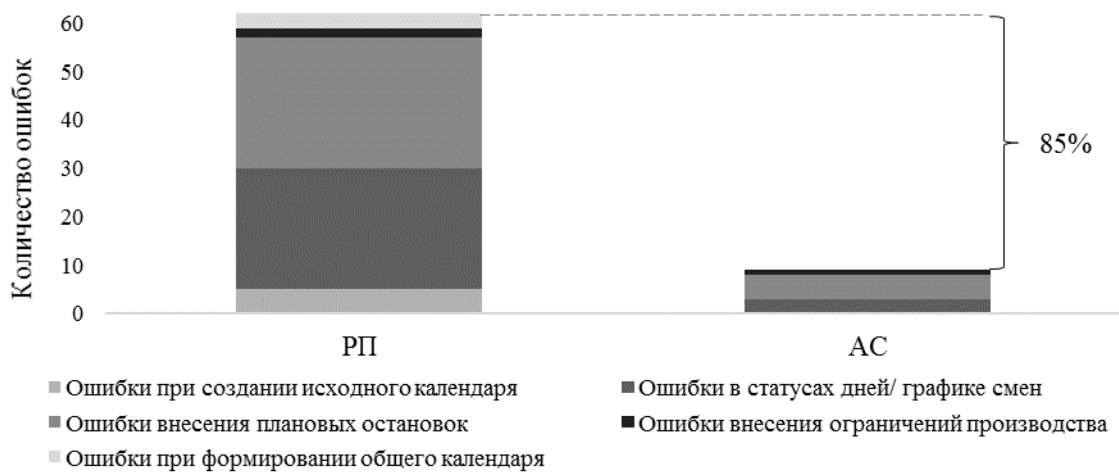


Рисунок 4.15 – Количество ошибок подпроцесса сбора данных

В таблице 16 форматированием ячеек обозначено соответствие каждого показателя значению критерия, характеризующего результаты по каждому показателю, полученные после внедрения автоматизированной системы на нескольких предприятиях. Такой формат представления результатов выбран с целью единого представления совокупности полученных значений, так как исследования проводились для нескольких предприятий, планов различного горизонта, нескольких продуктов.

Таблица 16 - Показатели результативности процесса производственного планирования после внедрения автоматизированной системы

№	Подпроцесс	№ показателя	Показатель результативности	Критерий		
				Не требуются улучшения, корректирующие/предупреждающие действия	Требуются предупреждающие действия	Требуются корректирующие действия
1	Сбор и обработка исходной информации	1.1	Время создания исходного календаря	<1 минуты	1-30 минут	>30 минут
		1.2	Количество ошибок при создании исходного календаря	0	>0	
		1.3	Время внесения статусов дней и графика смен	<10 минут	10-30 минут	>30 минут
		1.4	Количество ошибок в статусах дней/ графике смен	0	>0	
		1.5	Время внесения плановых остановок производства	<10 минут	10-30 минут	>30 минут
		1.6	Количество ошибок внесения плановых остановок	0	>0	
		1.7	Время внесения ограничений производства	<4 часов	4-8 часов	>8 часов
		1.8	Количество ошибок внесения ограничений производства	0	>0	
		1.9	Время формирования общего календаря	<1 минуты	1-30 минут	>30 минут
		1.10	Количество ошибок при формировании общего календаря	0	>0	
2	Создание плана	2.1	Для построения плана использован общий календарь	Да	Нет	
		2.2	ВТ не превышает максимального значения	Да	Нет	
		2.3	Ограничения по смене ВТ применены корректно	Да	Нет	
		2.4	Ежедневный объем рассчитывает корректно	Да	Нет	
		2.5	Ежедневный объем каждой продукции не превышает максимальные значения	Да	Нет	
		2.6	К _{оп} соответствует заданным ограничениям	Да	Нет	
		2.7	Ежемесячная разница/разница по периодам между планом производства и заказом минимальна	Да	Нет	
		2.8	Кумулятивная разница между планом производства и заказом минимальна	Да	Нет	
		2.9	Построенный план соответствует условиям, заданным специалистом по планированию	Да	Нет	
		2.10	Количество ошибок в созданном плане	0	>0	
		2.11	Время создания плана	1 минута	1-30 минут	>30 минут
3	Оценка плана	3.1	Время оценки плана	<4 часов	4-8 часов	>8 часов

4.5 Выводы к разделу 4

1. Обоснована важность разработанной автоматизированной системы для поточных приборостроительных предприятий, производящих высокотехнологичную продукцию. Сформулированы практические задачи, которые должны быть решены при помощи созданной новой автоматизированной системы.

2. Проведен эксперимент создания плана производства тремя путями, который позволил определить, что второй разработанный алгоритм должен быть заложен в основу автоматизированной системы планирования, как алгоритм, который позволяет достичь оптимальную кумулятивную Δ .

3. Ряд экспериментов построения плана на основе заказов различных производств позволил оценить функциональность разработанной системы и подтвердить ее универсальность.

4. Осуществление процесса производственного планирования при помощи автоматизированной системы и оценка результативности этого процесса показали, что использование разработанного программного продукта позволяет улучшить все показатели результативности, а именно: сократить количество ошибок подпроцесса сбора данных на 85%, сократить время построения плана до 1 минуты и полностью исключить ошибки процесса создания плана, сократить время подпроцесса оценки плана и его версий на 60%, а также позволили полностью соблюдать сроки исследуемых подпроцессов планирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполненной диссертационной работы проведен комплекс исследований, направленных на повышение результативности организации приборостроительного предприятия путем разработки моделей и методик планирования производственных процессов.

В диссертационной работе получены следующие результаты, имеющие научную новизну и практическое значение:

- проведен анализ организации поточного производства приборостроительного предприятия, выявлены особенности процесса планирования и впервые сформулированы критерии результативности процесса производственного планирования поточного приборостроительного предприятия;

- разработана модель организации процесса планирования с целью обеспечения оперативного взаимодействия и документооборота подразделений предприятия и повышения результативности процесса производственного планирования;

- разработаны модель и методика построения планов различного горизонта, учитывающие специфику организации поточного производства приборостроительного предприятия, а также позволяющие создавать планы любого горизонта с посменной детализацией, для любого количества продуктов, а также с учетом коэффициента операционной производительности;

- разработана методика расчета времени такта, позволяющая достигать наименьшей разницы между планом и заказом при учете различных исходных данных;

- предложенные модели и методики реализованы в виде новой автоматизированной системы производственного планирования, основные элементы которой зарегистрированы (база данных «Planner» (регистрационный № 2019620209 от 04.02.2019) и программа для ЭВМ

«Production Planner» (регистрационный № 2019612553 от 22.02.2019)), а также получены результаты практического использования системы в реальном процессе ежемесячного планирования, которые представлены в виде экспериментальных данных, подтверждающих универсальность разработанной системы и возможность ее использования для поточных производств с различным объемом выпуска.

Использование результатов диссертационного исследования обеспечивает повышение результативности процесса производственного планирования, выраженное в:

- полном соблюдении сроков подпроцессов планирования;
- минимизация рисков процесса планирования;
- сокращение ошибок процесса сбора, обработки и учета данных для создания плана на 85%;
- сокращении времени создания плана производства с 30 минут до 1 минуты;
- полном исключении ошибок процесса создания плана;
- сокращении времени оценки версий плана и обобщения оценок в среднем на 60%.

Повышение результативности производственного планирования позволило снизить производственные затраты на 5-10% за счет корректного учета производственных ограничений и затраты на хранение перепроизведенной продукции на 10-15% благодаря созданию плана, обеспечивающего производство заказа в установленный срок. Полученные результаты подтверждены актами внедрения (приложение Б).

Таким образом, в диссертационной работе достигнута поставленная цель повышения результативности организации производства путем разработки моделей и методик производственного планирования приборостроительного предприятия и решены поставленные научно-технические задачи.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АС – автоматизированная система
- БД - база данных
- ВТ – время такта
- ВЦ – время цикла
- ЖЦ – жизненный цикл
- ИТ - информационных технологий
- ИС - информационных систем
- ОПП – отдел производственного планирования
- РП - ручное построение плана
- СУБД – система управления базой данных
- ТЗ - техническое задание
- ЭВМ - электронная вычислительная машина
- APS – Advanced Planning & Scheduling
- CSRP – Customer Synchronized Resource Planning
- ERP - Enterprise Resource Planning
- FMEA – Failure Mode and Effects Analysis
- HRA - Human Reliability Assessment
- ИТ - Just-In-Time
- MES - Manufacturing Execution System
- MRP - Material Requirements Planning
- OPT - Optimized Production Technology
- PDCA – Plan-Do-Check-Act
- РУ - Рока-Йоке (Пока-Йоке)
- TPS - Toyota Production System

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030 / под ред. Л.М. Гохберга. – М.: НИУ Высшая школа экономики, 2014. – 244 с.
2. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности»: Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 № 328 // Собрание законодательства РФ. – 2014. – № 18. – Ч. IV. – Ст. 2173.
3. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». – 2018. – 19 с.
4. Приказ Минпромторга России от 20 июня 2017 года № 1907 «Об утверждении Рекомендаций по применению принципов бережливого производства в различных отраслях промышленности». – 2017. – 40 с.
5. Туровец, О.Г. Организация производства и управление предприятием / О.Г. Туровец, М.И. Бухалков и др. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 528 с.
6. Фатхутдинов Р.А. Организация производства. М.: ИНФРА – М. 2001. – 304 с.
7. Волков, О.И. Организация производства на предприятии (фирме) / Под ред. О.И.Волкова, О.В.Девяткина. М.: ИНФРА – М, 2004. – 448 с.
8. Семенова, Г.В. Организация производства в машиностроении: Учебное пособие/ Г.В. Семенова. – ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. -60 с.
9. Антонов, А.Н. Основы современной организации производства / Антонов, А.Н., Морозова Л.С. – М.: Дело и Сервис, 2004. – 432 с.
10. Новицкий, Н.И. Организация, планирование и управление производством: учеб.-метод. пособие. / Новицкий Н.И., Пашуто В.П. – М.: Финансы и статистика. 2006. – 576 с.

11. Адуков Р.Х. Управление агропредприятием (теория и практика). – М.: ВНИЭТУСХ, 1998. – 261 с.
12. Кострова, В.Н. Математическая модель комбинированного планирования для многостадийной производственной системы на основе гибкого цеха поточного производства / Кострова В.Н., Шендрик В.А. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5. – № 10. – С. 127-129.
13. Розенков, К.Г. Метод настройки генетического алгоритма для задачи планирования поточного производства / Розенков К.Г., Федосеев С.А., Вдовиченко А.А. // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – № 2. – С. 49-60.
14. Передерий Л.В. Матричная система планирования трудоемкости и ритмичности промышленного производства // Экономика промышленности. – 2006. – № 1 (32). – С. 87-93.
15. ГОСТ Р 56020-2014 "Бережливое производство. Основные положения и словарь", утвержденный приказом Росстандарта от 12 мая 2014 г. N 431-ст.
16. ГОСТ Р 56407-2015 "Бережливое производство. Основные методы и инструменты", утвержденный приказом Росстандарта от 27 мая 2015 г. N 448-ст.
17. ГОСТ Р 56907-2016 "Бережливое производство. Визуализация", утвержденный приказом Росстандарта от 31 марта 2016 г. N 232-ст.
18. ГОСТ Р 56908-2016 "Бережливое производство. Стандартизация работы", утвержденный приказом Росстандарта от 31 марта 2016 г. N 233-ст.
19. Ильин, А.И. Планирование на предприятии: учеб. пособие /А.И. Ильин.-9-е изд., стер. – Минск: Новое знание; – М.: ИНФРА-М, 2011. – 668 с.
20. Горемыкин В.А. Планирование на предприятии: учебник / В.А. Горемыкин.-6-е изд., перераб. и доп. – М.:Юрайт,2010. – 699 с.
21. Вайс, Е.С. Планирование на предприятии: учеб. пособие / Е.С. Вайс и др. -4-е изд., стер. – М.: КноРус, 2011(Можайск). – 336 с.

22. Кондрашова, В. К. Планирование на предприятии (теоретические и методологические основы). Учебное пособие / Кондрашова В. К., Степанова Г. Н., Павлова Г. В. – М: МГУП, 2005. – 89 с.
23. Гаврилова, Т.А. Интеллектуальные технологии в менеджменте / Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. – СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008. – 498 с.
24. Кузнецов, А.И. Технология бизнес-планирования / Кузнецов А.И., Колобов А.А., Омельченко И.Н. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 190 с.
25. Калянов, Г.Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 240 с.
26. Гладков, Л.А. Решение задач производственного планирования на основе гибридных эволюционных методов / Гладков Л.А., Гладкова Н.В., Лаврик М.Ю. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 7 (180). – С. 62-73.
27. Скворцов, Ю.В. Организация и планирование машиностроительного производства / под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. – М.: Высшая школа, 2003. – 470 с.
28. Гаврилов, Д.А. Управление производством на основе стандартов MRP II. – СПб.: Питер. 2005. – 416 с.
29. Евгеньев, Г.Б. Основы автоматизации технологических процессов и производств № 01. – МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – 441 с.
30. Дорн, Т. ЛОЦМАН:PLM развитие в соответствии с тенденциями промышленного рынка // САПР и графика. – 2005. – № 3. – С. 3.
31. Каптиев, Е. Система планирования и управления подготовкой производства в ЛОЦМАН:PLM 2013 // САПР и графика. – 2013. – № 5 (199). – С. 18-20.
32. Бонакер, С. Система автоматизированного управления Гольфстрим в фокусе – производство. САПР и графика. – 2012. – № 9 (191). – С. 11-16.

33. Эминов, Ф.И. Информационные технологии управления предприятиями. – Казань: Мастер Лайн, 2015. – 144 с.
34. Ошурков, В.А. Оперативное планирование производства в MES-системах с использованием методов и алгоритмов искусственного интеллекта / Ошурков В.А., Макашова В.Н. // Современные информационные технологии и ИТ- образование. – 2015. – № 2. – С. 133-139.
35. Ковалев, А.С. Разработка информационной системы для автоматизации процессов технической подготовки производства на машиностроительном предприятии / Ковалев А.С., Кушников В.А. // Перспективы развития информационных технологий Сборник материалов XXXIV Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией С.С. Чернова. – 2017. – С. 113-119.
36. Носов, А.Н. Современные средства и технологии обеспечения анализа и планирования производств / Носов А.Н., Бугров А.Н. // Системный анализ в науке и образовании. – 2013. – № 2. – С. 118-132.
37. Евгеньев, Г.Б. Интегрированная система автоматизации проектирования технологических процессов и оперативного управления производством / Евгеньев Г.Б., Крюков С.С., Кузьмин Б.В., Стисес А.Г. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 3 (660). – С. 49-60.
38. Ларин, С.Н. Исследование процессов оперативно-календарного планирования в условиях многономенклатурных производств / Ларин С.Н., Тимирзянов В.В. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 5-2 (36). – С. 320-325.
39. Овчар, Б.А. Реализация схемы планирования на промышленном предприятии в соответствии с теорией ограничений Голдратта / Овчар Б.А., Левенцов В.А. // Неделя науки СПбПУ материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2016. – С. 39-42.

40. Шорохова, Л.В. Современный подход к организации производства // Экономика и предпринимательство. – 2013. – № 5 (34). – С. 508-512.
41. Фролов, Е. Современные концепции управления в производственной логистике. Часть 1. "Выталкивающие" и "вытягивающие" системы планирования // САПР и графика. – 2010. – № 11 (169). – С. 57-61.
42. Карпаев, С.А. Совершенствование автоматизированной системы управления оперативно-производственным планированием / Карпаев С.А., Ларин С.Н. // Интегрированные системы управления сборник научных трудов научно-технической конференции. – 2016. – С. 13-21.
43. Белинский, И.А. Компьютерное планирование производства на основе принципа "Just-In-Time" // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Материалы докладов. – 2018. – С. 360-362.
44. Микаева, А.С. Российское приборостроение: состояние и проблемы его развития / Микаева А.С., Микаева С.А., Польшяева А.И. // Новая наука: финансово-экономические основы. – 2017. – № 3. – С. 154-156.
45. Воронина, В.Н. Современное приборостроение России - проблемы и перспективы // Вестник научных конференций. – 2017. – № 2-3 (18). – С. 30-38.
46. Микаева, А.С. Инструменты разработки стратегии технологического развития предприятий базовых отраслей современной экономики (на примере приборостроения): диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук: 08.00.05: защищена 22.10.2013: утв. 10.02.2014. – М., 2013. – 146 с.
47. Skorniakova, E.A. Mechanical properties of new functional composite materials based on polymeric binders / Sulaberidze V. Sh., Mushenko V.D., Mikheev V.A., Skorniakova E.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – №151017.

48. РД 50.1.028-2001 Методология функционального моделирования IDEF0 Руководящий документ. Издание официальное. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 75 с.
49. 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.
50. Скорнякова, Е.А. Проблемы автоматизации процесса производственного планирования / Скорнякова Е.А., Сулаберидзе В.Ш. // Сборник Всероссийской научно- технической конференции «Наука и АСУ - 2018», 2018. – С. 67.
51. Мельников, О.Н. Основные этапы инновационного развития организации производства с позиций динамики использования принципов бережливого производства / Мельников О.Н., Ларионов В.Г., Ганькин Н.А. // Вопросы инновационной экономики. – М., 2016. – Т.6. – №3. – С. 239-258.
52. Королева, Н.А. Повышение экономической эффективности предприятия приборостроения на основе внедрения бережливого производства // КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ Тезисы конкурсных работ финалистов XIX Всероссийского экономического форума научно-исследовательских работ молодых ученых и студентов. VII Евразийский экономический форум молодежи. – 2016. – С. 18-21.
53. Varshapetian, A. Aspects of integration management methods / Varshapetian A., Semenova E. // International Journal for Quality Research. – 2015. – 9(3). – Pp. 481-494.
54. Grodzenskiy, S.Y. The concept of lean manufacturing and its application in the enterprise / Grodzenskiy S.Y., Emanakov I.V., Ovchinnikov S.A. // Information Innovative Technologies. – 2017. – № 1. – Pp. 227-229.
55. Наугольнова, И. А. Отечественный и зарубежный опыт применения системы бережливого производства на промышленных

предприятиях // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2016. – № 170. – С. 95-99.

56. Ефимычев, Ю. И. Реализация резервов развития промышленного предприятия на основе концепции бережливого производства / Ю. И. Ефимычев, Ю. О. Плехова // Экономика и финансы: Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2016. – № 1. – С. 223-227

57. Лайкер, Дж. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Джеффри Лайкер; Пер. с англ. – 7-е изд. – М.: Альпина Пабlishер, 2014. – 400 с.

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

59. 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.

60. Скорнякова, Е.А. Повышение качества производственного плана за счет использования принципов «бережливого производства» // Качество и жизнь. – 2019. – № 1. – С. 39-40.

61. Pötters, P. Effectivity of quality methods used on the shop floor of a serial production–how important is Poka Yoke? / Pötters P., Schmitt R., Leyendecker B. // Total Quality Management and Business Excellence. – 2018. – 29(9-10). – Pp. 1200-1212.

62. Скорнякова Е.А. Инструменты автоматизации контроля качества, встраиваемые в производственный процесс / Скорнякова Е.А., Бабаев С.А. // Сборник трудов XI Общероссийской научно- практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения», том I. – Спб., 2018. – С. 136-139.

63. Жемчугов, А.М. Цикл PDCA Деминга / Жемчугов А.М., Жемчугов М.К. // Современное развитие. Проблемы экономики и менеджмента. – 2016. – № 2 (54). – С. 3-28.
64. Скорнякова, Е.А. Балансировка процессов в масштабе реального времени за счет использования автоматизированной подсистемы / Скорнякова Е.А., Бабаев С.А. // Сборник трудов XI Общероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения», том I. – СПб., 2018. – С. 132-136.
65. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (с Поправкой)
66. Орлов, А.И. Организационно-экономическое моделирование: учебник в 3 ч. Часть 2: Экспертные оценки / А.И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
67. Скорнякова, Е.А. Идентификация и оценка рисков процесса планирования высокопроизводительного производства / Е.А. Скорнякова, В.Ш. Сулаберидзе, А.С. Борейшо, В.С. Лугиня // Вопросы радиоэлектроники. – 2019. – №4. – С. 108-114.
68. Варжапетян, А.Г. Квалиметрия: учебное пособие / А.Г. Варжапетян – СПб.: СПбГУАП, 2005. – 176 с.
69. Хамханова, Д.Н. Основы квалиметрии: учебное пособие / Д.Н. Хамханова –Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 142 с.
70. Азгальдов, Г.Г. О квалиметрии / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман – М.: Издательство стандартов, 1973. – 172 с.
71. Елисеева, И.И. Общая теория статистики: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп/ И.И. Елисеева, М.М Юзбашев. – М.: Финансы и статистика, 2002. – С. 472.
72. Постников, В.М. Подход к расчету весовых коэффициентов ранговых оценок экспертов при выборе варианта развития информационной системы / Постников В.М., Спиридонов С.Б. // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана: электрон. науч.-техн. журн. 2013. №8. С. 395-412.

73. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска.
74. ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60812:2006) Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов.
75. Круглов, М.Г. Менеджмент качества как он есть / Круглов М.Г., Шишков Г.М. – М.: Эксмо, 2007. – 544 с.
76. Бабич, Т.Н. Реструктуризация информационных потоков предприятия с применением компьютерных технологий / Бабич Т.Н., Кузьбожев Э.Н., Шевченко Н.С. // Известия Курского государственного технического университета. – 2004. – № 2. – С. 181-195.
77. Кузьбожев, Э.Н. Совершенствование информационной системы предприятия на основе теории графов / Кузьбожев Э.Н., Бабич Т.Н. // Телекоммуникации. – 2005. – № 1. – С. 41-48.
78. Кузьбожев, Э.Н. Применение теории графов в планировании / Кузьбожев Э.Н., Бабич Т.Н. // Экономический анализ: теория и практика. – 2007. – № 8 (89). – С. 8-16.
79. Кофман, А. Введение в прикладную комбинаторику. – М.: Наука. 1975. – 432.
80. Бурков, В.Н. Теория графов в управлении организационными системами / Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. – М.: Синтег, 2001. – 124 с.
81. Бабаев, С.А. Оптимизация информационных потоков промышленного предприятия за счет создания внутренне устойчивых подмножеств подразделений / Бабаев С.А., Ефремов А.Ю. // Молодежь. Техника. Космос: Труды II Общероссийской молодёжной научн.-техн. конф. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 195.
82. Ефремов А.Ю. Применение алгоритма Демукрона для обоснованного разбиения подразделений по уровням значимости // Молодежь. Техника. Космос: Труды III Общероссийской молодёжной научн.-техн. конф. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2011. – С. 171–173.

83. Сесина, Е.А. Модель движения рисков при оперативном обмене информацией в процессе производственного планирования // Сборник трудов IX Общероссийской научно- практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения», том II. Спб., 2017. – С. 154-155.
84. Skornyakova, E.A. Model of quick response production planning system // International Scientific Journal “Mathematical Modeling”, 2017. – Pp.73-74.
85. Скорнякова, Е.А. Модель системы оперативного реагирования при производственном планировании // Качество и жизнь. – 2018. – № 2. – С 39-41.
86. Сесина, Е.А. Алгоритмизация процессов обработки разно размерных данных в едином информационном потоке // Сборник трудов IX Общероссийской научно- практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения», том II. Спб., 2017. – С. 151-153.
87. Ахунова, Е. В. Долгосрочное планирование производства приборостроительного предприятия / Е. В. Ахунова, Н. Н. Коблов ; науч. рук. В. Н. Борилов // Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов V Международного молодежного форума, г. Томск, 18-20 апреля 2017 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2017. – С. 37-40.
88. Нахов, С.Ф. Совершенствование оперативного планирования деятельности приборостроительного предприятия на основе математической интерпретации ее динамики / Нахов С.Ф., Плотников П.К., Плотников А.П. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2015. – Т. 15. – № 3. – С. 285-290.
89. Скорнякова, Е.А. Методы алгоритмизации планирования высокопроизводительного сборочного производства / Е.А. Скорнякова, В.М. Васюков, В.Ш. Сулаберидзе // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2018. – №4. – С. 15-22.

90. Скорнякова, Е.А. Разработка оптимального алгоритма создания плана производства на основе «бережливых» принципов / Сулаберидзе В.Ш., Скорнякова Е.А. // Сборник Международного форума «Метрологическое обеспечение инновационных технологий». – СПб.: ГУАП, 2019. – С. 220-221.
91. Рочев, К.В. Информационные технологии. Анализ и проектирование информационных систем: учеб. пособие / К. В. Рочев. – Ухта: УГТУ, 2018. – 145 с.
92. Ильина, О.Н. Методология управления проектами: становление, современное состояние и развитие: Монография / О.Н. Ильина. - М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2011. – 208 с.
93. Пащенко, Д.С. Анализ зарубежного опыта в стандартизации процессов производства прикладного программного обеспечения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2012. – № 4. – С. 71-74.
94. Ковальчук, С.В. Организация человеко- компьютерного взаимодействия в средах компьютерного моделирования на базе облачной инфраструктуры / Ковальчук С.В., Князьков К.В., Чуров Т.Н., Смирнов П.А., Бухановский А.В.// Прикладная информатика. – 2012. – № 5 (41). – С. 89-102.
95. Гущин, А.Н. Личностно-ориентированные информационные системы / А.Н.Гущин; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.,. 2012. – 122 с.
96. Степин, О.А. Современные СУБД для реализации информационных систем / Степин О.А., Кукушкин А.А. // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS сборник статей XX Международной научно-практической конференции: в 2 ч.. – 2018. – С. 35-37.
97. Еремина, М.Н. Основные преимущества PHP, определяющие его популярность // Решетневские чтения. – 2010. – Т. 2. – № 14. – С. 487-488.
98. Skorniakova, E.A. Structural features of automated lean production planning system database / Skorniakova E.A., Vasyukov V.M., Sulaberidze V.S., Yastrebov A.P. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – 2019. – №152026.

99. Рогозин, Д.М. Ошибки ввода данных открытых вопросов. Социология: Методология, методы, математические модели. – 2004. – № 19. – С. 127-141.
100. Скорнякова, Е.А. Особенности создания пользовательского интерфейса автоматизированной системы производственного планирования / Е.А. Скорнякова, В.М. Васюков, В.Ш. Сулаберидзе // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. – 2019. – №1. – С. 52-56.
101. Искосков, М.О. Проблемы управления затратами и методы их снижения в условиях инновационной экономики / М.О. Искосков // Казанская наука. – Казань, 2011. – № 9. – С. 60-64.
102. Наугольнова, И.А. Теоретические и методологические основы управления затратами на производство высокотехнологичной и инновационной продукции // Теоретическая и прикладная экономика. – 2018. – № 1. – С. 25-34.
103. Якупов, И.Ф. Основные принципы и методы управления затратами на производство продукции // Проблемы современной экономики: материалы II междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2012 г.). Челябинск: Два комсомольца, 2012. – С. 131-134.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходный код программы «Production Planner»

```

<?php
class Turn
{
    public $OPR = 1;
    public $start = 0;
    public $end = 0;
    public $number = 0;
    public $workTime = 0;
    public $downTime = 0;
    public $produced = 0;
    public $products;
    function calculateTime()
    {
        $this->workTime = $this->end - $this->start - $this->downTime;
        //$this->workTime = $this->workTime * $this->OPR;
        return $this->workTime * $this->OPR;
    }
}

class Day
{
    public $id;
    public $isStandart;
    public $state = 1;
    public $turns;
    public $workTime = 0;
    public $produced = 0;
    public $VT = -1;
    public $minVT = -1;
    function calculateTime()
    {
        $this->workTime = 0;
        if ($this->state == 1 || $this->state == 8 || $this->state == 9 || $this->state == 4 || $this->state == 10) {
            foreach ($this->turns as $key => $value) {
                $this->workTime += $value->calculateTime();
            }
        }
        //return 0 if holiday (!=1)
        if ($this->state != 1 && $this->state != 8 && $this->state != 9 && $this->state != 10)
            return 0;
        else return $this->workTime;
    }
}

class SubPlan
{
    public $start;
    public $finish;
    public $days;
    public $products;
    public $workTime;
    public $produced;
    public $delta;
    public $totalProduction;
    public $additionalDays;
    public $addedAdditional;
}

```

```

public $addedAdditionalSecondTurns;
public $VT;
public $period;
function calculateTotalProduction()
{
    $this->totalProduction = 0;
    foreach ($this->products as $key => $value)
    {
        $this->totalProduction += $value['value'];
    }
    return $this->totalProduction;
}
}

```

```
class Plan
```

```

{
    public $name;
    public $delta;
    public $subPlans;
    public $maxVT;
    public $products;
    public $sumProducts;
    public $addedAdditional = 0;
    public $addedAdditionalSecondTurns = 0;
    public $secondTurns;
    public $thirdTurn; //deprecated
    public $thirdTurns = array();
    public $thirdTurnDays = array();
    public $thirdTurnAvailableDays = array();
    public $lb = 0;
    public $rb = 0;
    public $avThTurns = 0;
    public $usedThTurns = 0;
    public $addedThirdTurn = false;
    public $VTInterval = 0;
    public $listVT = array();
    public $listDays = array();
    public $lastDay = 0;
    public $listWorkshops = array();

    function idToDate($day)
    {
        $year = intdiv($day, 10000);
        $month = intdiv($day, 100) % 100;
        $day = $day % 100;
        $dateString = $year . '-' . $month . '-' . $day;
        $date = new DateTime($dateString);
        return $date;
    }

    function checkBlockedDays()
    {
        $preParameters = array ('VT' => 0, "changeDay" => 0);
        $str = "SELECT start, end, planId FROM blockedDays ORDER BY start DESC";
        $query = DB::query($str);
        $i = 0;
        $n = DB::rows($query);
        $dateStartPlaning = $this -> idToDate($this->subPlans[0]->start);
        $interval = "P" . $this->VTInterval . "D";
        $dateStartPlaning->sub(new DateInterval($interval));
        $flag = false;
        while ($i < $n && $flag == false)
        {
            $i++;

```

```

$sarr = DB::fetch_object($query);
$dateEnd = $this->idToDate($sarr->end);
//$date->add(new DateInterval($interval));

if ($dateStartPlaning >= $dateEnd)
    break;
$dateStart = $this->idToDate($sarr->start);
if ($dateStart >= $dateStartPlaning)
{
    //загрузка всего интервала дней
    $str = "SELECT planDays.idDay, planDays.VT FROM planDays
            INNER JOIN subPlan ON subPlan.id = planDays.subPlan
            WHERE planDays.idDay > ".$this->dateToId($dateStart)." AND planDays.idDay < ".$this->dateToId($dateEnd)."
            AND subPlan.planId = ".$sarr->planId."
            ORDER BY planDays.idDay DESC";
    $query1 = DB::query($str);
    $j = 0;
    $nn = DB::rows($query1);
    while ($j < $nn)
    {
        $j++;
        $sarr1 = DB::fetch_object($query1);
        if ($j == 1)
        {
            $VT = $sarr1->VT;
            $changeDay = $sarr1->idDay;
        }
        else {
            if ($sarr1->VT != $VT)
            {
                //$changeDay = $sarr1->idDay;
                $preParameters['VT'] = $VT;
                $preParameters['changeDay'] = $changeDay;
                $flag = true;
                break;
            }
            $changeDay = $sarr1->idDay;
        }
    }
}
else
{
    //загрузка дней с $dateStartPlaning до $dateEnd
    $str = "SELECT planDays.idDay, planDays.VT FROM planDays
            INNER JOIN subPlan ON subPlan.id = planDays.subPlan
            WHERE planDays.idDay > ".$this->dateToId($dateStartPlaning)." AND planDays.idDay <
            ".$this->dateToId($dateEnd)."
            AND subPlan.planId = ".$sarr->planId."
            ORDER BY planDays.idDay DESC";
    $query1 = DB::query($str);
    $j = 0;
    $nn = DB::rows($query1);
    while ($j < $nn)
    {
        $j++;
        $sarr1 = DB::fetch_object($query1);
        if ($j == 1)
        {
            $VT = $sarr1->VT;
            $changeDay = $sarr1->idDay;
        }
        else {

```

```

        if ($arr1->VT != $VT)
        {
            //$changeDay = $arr1->idDay;
            $preParameters['VT'] = $VT;
            $preParameters['changeDay'] = $changeDay;
            $flag = true;
            break;
        }
        $changeDay = $arr1->idDay;
    }
    }
    //break;
}

return $preParameters;
//$dayOfWeek = date('N',strtotime($dateString));
}
function generateDayArray()
{
    foreach ($this->subPlans as $keySubPlan => &$valueSubPlan) {
        foreach ($valueSubPlan->days as $keyDay => &$valueDay) {
            $this->listDays[] = $valueDay;
        }
        unset($valueDay);
    }
    unset($valueSubPlan);

    usort($this->listDays, function ($a, $b) {
        if ($a->id == $b->id)
            return 0;
        else if ($a->id > $b->id)
            return 1;
        else return -1;
    });
    $this->lastDay = count($this->listDays) - 1;
}

function calculateWithBlockedDays($lastVT, $lastDay)
{
    if (isset($_POST['changeVtOnDay']) && $_POST['changeVtOnDay'] == 1)
        $changeVtDay = $_POST['changeVtDay'];
    else
        $changeVtDay = 0;

    $lastDate = $this->idToDate($lastDay);
    $interval = "P" . $this->VTInterval . "D";
    $lastDate->add(new DateInterval($interval));
    //var_dump($lastDate);
    $date = $this->idToDate($this->listDays[0]->id);
    //var_dump($date);
    $interval = $lastDate->diff($date);
    //var_dump($interval);
    $lastIndex = (int)$interval->format('%a');
    //var_dump($lastIndex);

    //var_dump($interval)
    if ($changeVtDay != 0) {
        $date = $this->idToDate($this->listDays[$lastIndex]->id);
        //$date = $this->idToDate($this->listDays[$this->VTInterval-1]->id);
        $dayOfWeek = $date->format('N');
    }
}

```



```

    if ($changeVtDay < $dayOfWeek)
        $addDays = 7 - $dayOfWeek + $changeVtDay;
    else if ($changeVtDay > $dayOfWeek)
        $addDays = $changeVtDay - $dayOfWeek;
    else
        $addDays = 0;
} else
    $addDays = 0;
$listDays = array();
if ($this->lastDay < $lastIndex + $addDays)
    $lastIndex = $this->lastDay + 1;
else
    $lastIndex = $lastIndex + $addDays;

// $minVT = -1;

for ($i = 0; $i < $lastIndex; $i++) {
    $listDays[] = $this->listDays[$i];
    //if ($this->listDays[$i]->minVT > $minVT)
    // $minVT = $this->listDays[$i]->minVT;
}
$list = array();
$workTime = 0;
foreach ($listDays as $key => $value) {
    $workTime += $value->calculateTime();
    $subPlan = $this->getSubplanRef($value->id);
    $flag = false;
    //var_dump($subPlan);
    foreach ($list as $key2 => $value2) {

        if ($value2['subPlan'] === $subPlan) {
            $list[$key2]['countDays'] += 1;
            $flag = true;
        }
    }
    if (!$flag) {
        $list [] = array('countDays' => 1, 'subPlan' => $subPlan);
        //$flag = false;
    }
}
$countProduction = 0;
foreach ($list as $key => $value) {
    $countDaysAll = count($value['subPlan']->days);
    $countProductionAll = $value['subPlan']->calculateTotalProduction();
    $countProduction += floor($value['countDays'] / $countDaysAll * $countProductionAll);
}
$countProducedAll = 0;
foreach ($listDays as $key => $value) {
    $value->VT = $lastVT;
    $countProducedAll += $value->calculateProduced();
}
$delta = $countProducedAll - $countProduction;

$str = "start: 0    end: " . ($lastIndex);
//var_dump($str);
return array('lastDay' => $lastIndex, 'VT' => $lastVT, 'delta' => $delta);
}

function calculateWithoutBlockedDays()

```

```

{
  if (isset($_POST['changeVtOnDay']) && $_POST['changeVtOnDay'] == 1)
    $changeVtDay = $_POST['changeVtDay'];
  else
    $changeVtDay = 0;
  if ($changeVtDay != 0) {
    $date = $this->idToDate($this->listDays[$this->VTInterval]->id);
    $dayOfWeek = $date->format('N');
    if ($changeVtDay < $dayOfWeek)
      $addDays = 7 - $dayOfWeek + $changeVtDay;
    else if ($changeVtDay > $dayOfWeek)
      $addDays = $changeVtDay - $dayOfWeek;
    else
      $addDays = 0;
  } else
    $addDays = 0;
  $listDays = array();

  if ($this->lastDay < $this->VTInterval + $addDays)
    $lastIndex = $this->lastDay + 1;
  else
    $lastIndex = $this->VTInterval + $addDays;

  $minVT = -1;
  if ($_POST['VtFromData'] == 0) {
    $minVT = $_POST['customVt'];
  }

  for ($i = 0; $i < $lastIndex; $i++) {
    $listDays[] = $this->listDays[$i];
    if ($_POST['VtFromData'] == 1) {
      if ($this->listDays[$i]->minVT > $minVT)
        $minVT = $this->listDays[$i]->minVT;
    }
  }
  $list = array();
  $workTime = 0;
  foreach ($listDays as $key => $value) {
    $workTime += $value->calculateTime();
    $subPlan = $this->getSubplanRef($value->id);
    $flag = false;
    //var_dump($subPlan);
    foreach ($list as $key2 => $value2) {
      if ($value2['subPlan'] === $subPlan) {
        $list[$key2]['countDays'] += 1;
        $flag = true;
      }
    }
    if (!$flag) {
      $list [] = array('countDays' => 1, 'subPlan' => $subPlan);
      //$flag = false;
    }
  }
  $countProduction = 0;
  foreach ($list as $key => $value) {
    $countDaysAll = count($value['subPlan']->days);
    $countProductionAll = $value['subPlan']->calculateTotalProduction();
    $countProduction += floor($value['countDays'] / $countDaysAll * $countProductionAll);
    //var_dump($countProductionAll);
    //var_dump($countDaysAll);
  }
}

```

```

    //var_dump($value['countDays']);
    //var_dump($countProduction);
}
//Добавить сравнение с минимальным возможным VT
$VT = floor($workTime / $countProduction);
if ($VT < $minVT)
    $VT = $minVT;
//var_dump($workTime);
//var_dump($countDaysAll);
//var_dump($countProduction);

$countProducedAll = 0;
foreach ($listDays as $key => $value) {
    $value->VT = $VT;
    $countProducedAll += $value->calculateProduced();
}
$delta = $countProducedAll - $countProduction;
//var_dump($delta);
//var_dump($countProducedAll);
//var_dump($countProduction);

$str = "start: 0    end: " . ($this->VTInterval + $addDays);
//var_dump($str);
return array('lastDay' => $this->VTInterval + $addDays, 'VT' => $VT, 'delta' => $delta);

//var_dump($this->subPlans[0]->days[0]);
//var_dump($this->listDays);
}

function calculateVTIteration($lastDay, $lastVT, $lastDelta)
{
    if (isset($_POST['changeVtOnDay']) && $_POST['changeVtOnDay'] == 1)
        $changeVtDay = $_POST['changeVtDay'];
    else
        $changeVtDay = 0;
    if ($changeVtDay != 0) {
        if ($lastDay + $this->VTInterval < $this->lastDay) {
            $date = $this->idToDate($this->listDays[$lastDay + $this->VTInterval]->id);
            $dayOfWeek = $date->format('N');
            if ($changeVtDay < $dayOfWeek) {
                $addDays = 7 - $dayOfWeek + $changeVtDay;
            } else if ($changeVtDay > $dayOfWeek)
                $addDays = $changeVtDay - $dayOfWeek;
            else
                $addDays = 0;
        }
    } else
        $addDays = 0;
    //var_dump($addDays);
    $listDays = array();
    if ($this->lastDay < $lastDay + $this->VTInterval + $addDays)
        $lastIndex = $this->lastDay + 1;
    else
        $lastIndex = $lastDay + $this->VTInterval + $addDays;

    $minVT = -1;
    if ($_POST['VtFromData'] == 0) {
        $minVT = $_POST['customVt'];
    }
    for ($i = $lastDay; $i < $lastIndex; $i++) {
        $listDays[] = $this->listDays[$i];
        if ($_POST['VtFromData'] == 1) {
            if ($this->listDays[$i]->minVT > $minVT)

```

```

        $minVT = $this->listDays[$i]->minVT;
    }
}
$list = array();
$workTime = 0;
foreach ($listDays as $key => $value) {
    $workTime += $value->calculateTime();
    $subPlan = $this->getSubplanRef($value->id);
    $flag = false;
    foreach ($list as $key2 => $value2) {
        if ($value2['subPlan'] === $subPlan) {
            $list[$key2]['countDays'] += 1;
            $flag = true;
        }
    }
    if (!$flag) {
        $list [] = array('countDays' => 1, 'subPlan' => $subPlan);
    }
}
$countProduction = 0;
foreach ($list as $key => $value) {
    $countDaysAll = count($value['subPlan']->days);
    $countProductionAll = $value['subPlan']->calculateTotalProduction();
    $countProduction += floor($value['countDays'] / $countDaysAll * $countProductionAll);
}

$VT = floor($workTime / ($countProduction - $lastDelta));
if ($VT < $minVT)
    $VT = $minVT;
$countProducedAll1 = 0;
foreach ($listDays as $key => $value) {
    $value->VT = $VT;
    $countProducedAll1 += $value->calculateProduced();
}
$delta = $countProducedAll1 - $countProduction + $lastDelta;

//расчет для недели со старым ВТ

$list2 = array();
//foreach ($listDays as $key => $value)
if (count($listDays) < 7)
    $intervalSize = count($listDays);
else
    $intervalSize = 7;
//$minVT = -1;
for ($i = 0; $i < $intervalSize; $i++) {
    $subPlan = $this->getSubplanRef($listDays[$i]->id);
    $flag = false;
    foreach ($list2 as $key2 => $value2) {
        if ($value2['subPlan'] === $subPlan) {
            $list2[$key2]['countDays'] += 1;
            $flag = true;
        }
    }
    if (!$flag) {
        $list2 [] = array('countDays' => 1, 'subPlan' => $subPlan);
    }
}

$countProduction2 = 0;
foreach ($list2 as $key => $value) {
    $countDaysAll2 = count($list2[$key]['subPlan']->days);
    $countProductionAll2 = $list2[$key]['subPlan']->totalProduction;
}

```

```

    $countProduction2 += floor($list2[$key]['countDays'] / $countDaysAll2 * $countProductionAll2);
    //var_dump($countDaysAll2);
    //var_dump($countProductionAll2);
    //var_dump($countProduction2);
}
$countProducedAll1 = 0;
for ($i = 0; $i < $intervalSize; $i++) {
    //$listDays[$i]->VT = $VT;
    $countProducedAll1 += $listDays[$i]->calculateProduced();
}
$delta1 = $countProducedAll1 - $countProduction2 + $lastDelta;
$countProducedAll2 = 0;
for ($i = 0; $i < $intervalSize; $i++) {
    $listDays[$i]->VT = $lastVT;
    $countProducedAll2 += $listDays[$i]->calculateProduced();
}
$delta2 = $countProducedAll2 - $countProduction2 + $lastDelta;
if (abs($delta1) < abs($delta2)) {
    for ($i = 0; $i < $intervalSize; $i++) {
        $listDays[$i]->VT = $VT;
        $countProducedAll1 += $listDays[$i]->calculateProduced();
    }
    $str = "start: " . ($lastDay) . "    end: " . $lastIndex;
    //var_dump($str);
    return array('lastDay' => $lastIndex, 'VT' => $VT, 'delta' => $delta);
} else {
    $str = "start: " . ($lastDay) . "    end: " . ($lastDay + $intervalSize);
    //var_dump($str);
    return array('lastDay' => $lastDay + $intervalSize, 'VT' => $lastVT, 'delta' => $delta2);
}

}
function getSubplanRef($id)
{
    $str = null;
    foreach ($this->subPlans as $key => &$value)
    {
        if ($id >= $value->start && $id <= $value->finish)
        {
            $str = $value;
            break;
        }
    }
    unset($value);
    return $str;
}
function calculateVT()
{
    if (isset($_POST['usePreData']) && $_POST['usePreData'] == 1)
    {
        $mas = $this->calculateWithBlockedDays($_POST['VtBefore'], $_POST['firstVtChange']);
    }
    else
    {
        $mas = $this->checkBlockedDays();
        if ($mas['VT'] == 0 && $mas['changeDay'] == 0)
        {
            $mas = $this->calculateWithoutBlockedDays();
        }
    }
    else
    {

```

```
        //var_dump($mas);
        $mas = $this->calculateWithBlockedDays($mas['VT'], $mas['changeDay']);
    }
    //var_dump($mas['delta']);
}

while($mas['lastDay'] < $this->lastDay)
{
    $mas = $this->calculateVTIteration($mas['lastDay'], $mas['VT'], $mas['delta']);
    //var_dump($mas['delta']);
}
$this->delta = $mas['delta'];
}
}
?>
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ




 УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор АО «Лазерные системы»
 А.В. Морозов
 11.10.2017

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Скорняковой Е.А. на тему «Модели и методики планирования производственных процессов приборостроительного предприятия»

Комиссия в составе: научного руководителя предприятия д.т.н. профессора А.С. Борейшо (председатель комиссии) и членов: директора по качеству В.С. Лугиня, директора по производству к.т.н. Евдокимова И.М., руководителя ПФО к.э.н. Теляшовой В.Ш. составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Скорняковой Е.А. «Модели и методики планирования производственных процессов приборостроительного предприятия», представленной к защите по специальности 05.02.22 - Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение):

- модель организации процесса планирования;
- методика и модель построения планов производства различного горизонта;
- методика расчета времени такта;
- автоматизированная система производственного планирования приборостроительного предприятия поточного типа, внедрены в АО «Лазерные системы» и используются в планировании производства серийных изделий предприятия.

Использование указанных научных результатов диссертационного исследования Скорняковой Е.А. позволило сократить ошибки процессов сбора, обработки и учета данных для разработки плана - на 85%,

полностью исключить ошибки процесса разработки плана и сократить время оценки версий плана - в среднем на 60%, а также снизить производственные затраты на 5-10% за счет корректного учета производственных ограничений.

Председатель комиссии

д.т.н., профессор

Члены комиссии

Директор по качеству

Директор по производству к.т.н.

Руководитель ПФО к.э.н.



А.С. Борейшо

В.С. Лугиня

И.М. Евдокимов

В.Ш. Теляшова

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель
генерального директора
АО «НПП «Сигнал»

В.Е. Кривелев
В.Е. Кривелев
« 23 » 05 2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Скорняковой Е.А. на тему «Модели и методики планирования производственных процессов приборостроительного предприятия»

Комиссия в составе:

Председателя комиссии:

Главного конструктора, к.т.н., доцента Г.А. Репина.

Членов комиссии:

Начальника КБ СП А.Н. Ляковского;

Начальника лаборатории С.С. Чеусова;

составили настоящий акт о том, что результат диссертационной работы Скорняковой Е.А. «Модели и методики планирования производственных процессов приборостроительного предприятия»:

– автоматизированная система производственного планирования приборостроительного предприятия поточного типа, была внедрена в АО «НПП «Сигнал».

Полученные результаты использования автоматизированной системы позволили минимизировать риски процесса производственного планирования, исключить систематические ошибки процесса создания плана и сократить время его создания с 30 минут до 1 минуты (в 30 раз), а также снизить затраты на хранение перепроизведенной продукции на 10-15% благодаря созданию плана, обеспечивающего производство заказа в установленный срок.

Председатель комиссии:

к.т.н., доцент Г.А. Репин

Члены комиссии:

А.Н. Ляковский

С.С. Чеусов





УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «Северный пресс»

/ В. Я. Кругликов

«15» 01 2019 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Скорняковой Е.А. на тему: «Модели и методики планирования производственных процессов приборостроительного предприятия»

Комиссия в составе:

Председателя комиссии:

Начальника сектора разработки продукции гражданского назначения, к. т. н.,
О. Н. Ильиной

Членов комиссии:

Заместителя главного технолога по диверсификации производства, Н. А. Москалева

Ведущего инженера-технолога Технологического сектора, А. Т. Безуглова

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Скорняковой Е.А. «Модели и методики планирования производственных процессов приборостроительного предприятия»:

– модель организации процесса планирования;

– методика и модель построения планов производства различного горизонта,

были внедрены в АО «Северный пресс».

Внедрение указанных результатов диссертационной работы позволило достичь полного соблюдения сроков процесса планирования, сократить время процесса планирования в 1,5 раза, снизить производственные затраты на 5% за счет корректного учета производственных ограничений и снизить затраты на хранение перепроизведенной продукции на 10% благодаря созданию плана, обеспечивающего производство заказа в установленный срок.

Председатель комиссии:

Начальник сектора
разработки продукции
гражданского назначения, к. т. н.

О. Н. Ильина

Члены комиссии:

Заместитель главного
технолога по диверсификации
производства

Н. А. Москалев

Ведущий инженер-технолог
Технологического сектора

А. Т. Безуглов



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
 (ГУАП)

№ _____

Санкт-Петербург



УТВЕРЖДАЮ

Директор ГУАП

Ю.А. Антохина

«21» 01 2019 г.

МП

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы
 Скорняковой Елизаветы Алексеевны
 «Модели и методики планирования производственных процессов
 приборостроительного предприятия»

Комиссия в составе:

Председатель:

заместитель заведующего кафедрой метрологического обеспечения
 инновационных технологий и промышленной безопасности, к.т.н., доцент,
 Т.П. Мишура

Члены комиссии:

профессор кафедры метрологического обеспечения инновационных
 технологий и промышленной безопасности, д.т.н., профессор,
 А.С. Коновалов

доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных
 технологий и промышленной безопасности, к.т.н., Р.Н. Целмс

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы
 Скорняковой Е.А. «Модели и методики планирования производственных
 процессов приборостроительного предприятия», представленной на
 соискание ученой степени кандидата технических наук:

- модель организации процесса планирования;
- методика и модель построения планов производства различного горизонта;
- методика расчета времени такта;
- автоматизированная система производственного планирования приборостроительного предприятия поточного типа,

использованы в деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения».

Материалы диссертационной работы Скорняковой Елизаветы Алексеевны были использованы в учебном процессе в дисциплинах «Метрология», «Информационная поддержка жизненного цикла продукции», «Проектирование технологических процессов» и «Метрологическое обеспечение жизненного цикла продукции» кафедры № 6 Метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности для подготовки студентов по направлениям (специальностям) 27.04.01 «Стандартизация и метрология» и 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

Председатель комиссии:
к.т.н., доцент

Т.П. Мишура

Члены комиссии:
д.т.н., профессор

А.С. Коновалов

к.т.н., доцент

Р.Н. Целмс