

На правах рукописи

(личная подпись)

Четвергов Владимир Андреевич

**Совершенствование инструментов управления постановкой на производство
новой продукции на машиностроительных предприятиях**

Специальность 2.5.22. – Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Автономной некоммерческой организации дополнительного профессионального образования «Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» им. академика В. П. Ефремова»

Научный руководитель: **Волков Михаил Владимирович**, к.т.н., Закрытое научно-производственное акционерное общество "Отделение проблем военной экономики и финансов", генеральный директор

Официальные оппоненты: **Рымкевич Павел Павлович**, д.т.н., доцент, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ, профессор кафедры физики

Шиков Алексей Николаевич, к.т.н., доцент, Северо-Западный институт управления (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», доцент кафедры бизнес-информатики

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Поволжский государственный технологический университет", г. Йошкар-Ола

Защита диссертации состоится "19" декабря 2023 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета 24.2.385.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна" по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд. 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна", <http://sutd.ru/>.

Автореферат разослан "___" _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.385.03
кандидат технических наук, доцент

Вагнер Виктория Игоревна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Программа масштабной модернизации экономики Российской Федерации требует новых и современных изделий машиностроительной отрасли, поэтому, учитывая высокую значимость обновления производимой продукции для предприятий машиностроительной отрасли, возникает необходимость совершенствования инструментов управления постановкой на производство новых изделий.

Целью постановки новых изделий на производство является подготовка к серийному выпуску новой продукции, поэтому при постановке на производство машиностроительному предприятию необходимо изготовить первую установочную серию (партию) продукции, которая подвергается квалификационным испытаниям. И только после положительных результатов квалификационных испытаний предприятие может приступить к поставкам продукции по заключенным договорам. Невыполнение установленных сроков выпуска первой партии может повлечь за собой переносы сроков проведения квалификационных испытаний, что в свою очередь может повлиять на выполнение договорных обязательств. Помимо незапланированных затрат, таких как простой испытательных средств и полигонов, предприятием также могут быть нарушены сроки поставок продукции по государственным оборонным заказам.

Сократить длительность периода подготовки к серийному изготовлению и улучшить технологичность новой продукции позволят новые инструменты управления производственным процессом постановки на производство новой продукции.

Поэтому совершенствование научно-методического аппарата, используемого в управлении производственным процессом при постановке на производство новой продукции гражданского или двойного назначения является актуальным вопросом.

Объектом исследования является производственный процесс постановки на производство новой продукции.

Предметом исследования является система управления постановкой на производство новой продукции.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы организации производства и планирования производственных процессов получили развитие в работах таких авторов, как Туровец О.Г., Новицкий Н.И, Турчак А.А., Францев Р.Е., Баев Л.А., Балакшин Б.С., Загидуллин Р.Р., Гришанов Г.М., Форрестер Дж., Максвелл В.Л. и др. Несмотря на многочисленные исследования в сфере организации производства, ряд вопросов, особенно связанных с управлением (планированием и контролем) постановкой на производство новых изделий, оценкой длительности данного этапа, остаются не решенными. Поиск средств сокращения длительности процесса освоения новых изделий, повышение эффективности планирования данного этапа, а также разработка новых инструментов управления, включающего создание планов и контроля их выполнения составили основу исследования и определили постановку цели и задач диссертации.

Цель исследования – сокращение длительности производственного процесса подготовки и освоения производства новой продукции на предприятиях машиностроительной отрасли на основе совершенствования инструментов управления постановкой на производство.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих инструментов и средств управления производственным процессом и их применимости для постановки на производство новой продукции.

2. Разработка системы моделей управления постановкой на производство новой продукции на предприятиях машиностроительной отрасли.

3. Разработка алгоритма синхронизации календарных планов процессов, выполняемых при постановке на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях.

4. Разработка методов управления постановкой на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях, обеспечивающих устранение организационно-управленческих проблем.

5. Разработка инструментов управления производственным процессом постановки на производство новой продукции на машиностроительном предприятии.

6. Апробация разработанных инструментов управления производственным процессом постановки на производство новой продукции на машиностроительном предприятии.

Методы исследования. Решение поставленных научных задач в диссертационной работе было выполнено с использованием методов модельно-ориентированного системного инжиниринга, декомпозиции, математического моделирования, сетевого планирования, системного и структурного анализа, визуализации информации.

Соответствие паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует пунктам паспорта научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства:

13. Научные основы цифровых, автоматизированных комплексных систем управления производством и качеством работ на базе технических регламентов и стандартов.

15. Научно-практическое развитие инженерных инструментов управления, организации производственных систем, а также баз знаний.

18. Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем.

19. Разработка и реализация принципов производственного менеджмента, включая подготовку и совершенствование форм управления и организации производства.

22. Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков.

23. Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

25. Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике.

Научная новизна:

1. Разработана система моделей управления постановкой на производство новой продукции на предприятиях машиностроительной отрасли, отличающаяся включением этапа подготовки производства и этапа освоения новой продукции в единый контур управления.

2. Разработан алгоритм синхронизации календарных планов процессов, выполняемых при постановке на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях, который основан на обосновании временных интервалов, синхронизируемых с учетом структуры и технологичности нового изделия.

3. Разработан метод управления постановкой на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях, включающий формирование единого контура управления на основании критического пути кросс-функциональных процессов.

Теоретическая значимость исследования заключается в обосновании теоретико-методологических аспектов планирования процессов постановки на производство, позволяющих разработать практические рекомендации и перечень мероприятий по организации эффективного функционирования системы управления постановкой на производство новых изделий.

Практическая значимость работы состоит в том, что

- разработанная система моделей управления постановкой на производство новой продукции позволит упорядочить обмен информацией между подразделениями предприятия, участвующими в постановке на производство;

- использование метода управления и алгоритма синхронизации календарных планов в автоматизированных системах позволяет каждому участнику постановки на производство организовать планирование кросс-функциональных процессов и контролировать ход их выполнения;

- формирование системы автоматизированного мониторинга на основе оперативных данных и их оценка в режиме реального времени позволяет значительно уменьшить количество потерь в процессе постановки на производство за счет оперативного анализа влияния отклонений от плановых сроков в различных подразделениях предприятия.

Разработанный метод управления производственным процессом постановки на производство новой продукции и алгоритм синхронизации планов, внедренные в автоматизированные системы управления предприятием, могут быть использованы на различных машиностроительных предприятиях с большой номенклатурой сложных изделий для ускорения обновления выпускаемой продукции.

Положения, выносимые на защиту:

1. Информационная модель системы управления постановкой на производство новой продукции на предприятиях машиностроительной отрасли, которая позволяет учитывать взаимосвязь системных процессов постановки на производство и оценить степень их взаимного влияния.

2. Алгоритм синхронизации планов производственных процессов, выполняемых при постановке на производство новой продукции, который позволяет обеспечить параллельно – последовательное выполнение системных процессов, а также поддерживать синхронизацию между ними в течение хода постановки на производство.

3. Метод управления постановкой на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях, который позволяет эффективно планировать и контролировать общую длительность постановки на производство новой продукции за счет выявления наиболее критических отклонений, способных повлиять на длительность всей постановки на производство.

Степень достоверности и апробации результатов.

Основные результаты проведенных исследований представлены на научно-практических и научно-технических конференциях: «Математическое моделирование, инженерные расчеты и программное обеспечение для решения задач ВКО» (Москва, 2019г., 2021г.), «Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций» (Пенза, 2019 г.), «Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций» (Пенза, 2019 г.), «Технические науки: проблемы и решения» (Москва, 2019г.).

Разработанные предложения внедрены в практику хозяйственной деятельности АО «ВМП «АВИТЕК», используются в учебном процессе повышения квалификации инженерных кадров на предприятии.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 8 публикациях. Из них 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы (97 наименований). Работа изложена на 105 страницах машинного текста, содержит 35 рисунков, 6 таблиц и приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, проведена постановка цели исследования и задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, дана оценка новизны достоверности и практической ценности полученных результатов и сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор проблемы и произведено рассмотрение процесса освоения, как объекта управления и выделены отличия этапа освоения от серийного производственного процесса на машиностроительных предприятиях. Выполнен обзор имеющихся концепций и инструментов управления производственным процессом и представлена оценка их применимости для постановки на производство, а также произведено рассмотрение понятия «постановка на производство» её значение в жизненном цикле изделия.

В современных диссертационных работах, посвященных исследованию систем управления производственными процессами, вопросы организации и управления подготовкой производства рассматриваются в работах Жилиной С.Б., Телишева А.М., Иванова А.А., Хрусталева И.Н., Кузиной С.М., Чурилина С.В., Колычева В.Д., Мардамшина И.Г., вопросы планирования и управления серийным производством представлены в работах Скорняковой Е.А., Чернышева Е.С., Солдатова С.А., Антипова Д.В., Матвеева Е.А., Федорова В.А., вопросы мониторинга и контроля производственных процессов в работах Ложникова А.Л., Крицкого А.В., вопросы планирования опытного производства – в работе Масленниковой Ю.Л., вопросы автоматизированной и информационной поддержки планирования и управления производством раскрыты в работах Колычева В. Д., Колесниковой О.В., Никифоровой Т.В., Казанцева М.А., Паутовой О. А., Самойлова П.А.

Критический анализ научных работ позволяет отметить, что часть из них посвящена вопросам только подготовки производства, другая часть – вопросам серийного производства и большинство работ не рассматривают особенности постановки на производство (в том числе на предприятиях машиностроительной отрасли), такие как вопросы управления освоением производства новой продукции, вопросы перехода изготовления от первой партии к серийному производству, вопросы взаимного влияния этапа подготовки производства и этапа освоения, а также вопросы сокращения длительности этапа постановки на производство новых изделий. Поэтому можно сделать вывод о недостаточной разработанности вопросов управления постановкой на производство новой продукции. Сложность новых изделий машиностроительной отрасли существенно возрастает, объемы необходимого серийного производства значительно увеличиваются, поэтому в настоящее время выявлена острая необходимость в совершенствовании инструментов управления производственным процессом постановки на производство на машиностроительных предприятиях.

Перед началом серийного изготовления новой продукции на предприятии необходимо произвести постановку на производство, которая состоит из подготовки производства и освоения производства.

В серийном производстве системы планирования и управления оперируют фактическими показателями производственных процессов, оптимизированными в течение длительного времени изготовления серийной продукции. Но для этапа освоения планирование и управление затрудняется. Наиболее частыми причинами, характерными для оперативного регулирования производства освоения нового изделия, являются:

- отработка технологических процессов и уточнение конструкторской и технологической документации нового изделия;
- применение универсально-сборочных приспособлений, а не специализированной технологической оснастки;
- налаживание цепочек поставок и ограничение номенклатуры применяемых материалов.

Одной из основных проблем планирования процесса освоения являются недостоверные (неуточненные) нормы трудоемкости и приблизительные (расчетные) циклы изготовления первых партий деталей и сборочных единиц (ДСЕ). Реальные циклы изготовления первых партий ДСЕ в большинстве случаев значительно больше расчетных циклов, которые определялись на этапе организационной подготовки производства. Увеличение циклов изготовления может происходить из-за недостаточной отработки технологических процессов, задержками в снабжении необходимыми материалами и инструментом.

С использованием инструментов системного инжиниринга разработаны и описаны модели самого машиностроительного предприятия, такие как корневая модель и модель участников постановки на производство новой продукции. Построение корневой модели позволило описать основные бизнес-процессы, системы управления ими и поддерживающие процессы серийного производства, а модель участников постановки на производство новой продукции на предприятии показывает наиболее полный перечень подразделений-участников постановки на производство новой продукции внутри предприятия. Модель содержит в себе наиболее типовые подразделения на машиностроительных предприятиях, участвующие в производственном процессе изготовления серийной продукции. И среди них выделены подразделения, непосредственно участвующие в процессе освоения изготовления нового изделия.

Для построения корневой модели бизнес-процессов машиностроительного предприятия с учетом постановки на производство новой продукции были выделены основные процессы, произведена их детализация и с учетом этого построена процессная модель постановки на производство новой продукции.

Из анализа корневой модели и модели участников постановки на производство новой продукции на машиностроительном предприятии выявлено, что зачастую на предприятии присутствуют несколько систем управления, каждая из которых отвечает за отдельную сферу работы предприятия. Но в связи с тем, что в постановке на производство задействованы подразделения из разных систем управления, появляется необходимость в разработке новых и совершенствовании существующих инструментов управления постановкой на производство, которые позволят синхронизировать работу различных подразделений и процессов на предприятии при прохождении постановки на производство новой продукции.

Большинство современных работ посвящены отдельным этапам (процессам) постановки на производство, а исследования, учитывающие взаимную зависимость

нескольких процессов постановки на производство, в имеющихся работах не раскрыты. Поэтому по результатам анализа современных исследований, систем планирования и концепций управления постановкой на производство новых изделий можно сделать вывод, что для эффективного построения процесса планирования и управления производственным процессом постановки на производство нового изделия необходимы современные инструменты, с помощью которых можно было бы взаимосвязать между собой два основных этапа постановки на производство нового изделия на машиностроительном предприятии, таких как этап подготовки производства и этап освоения.

Вторая глава посвящена формированию информационной модели системы управления постановкой на производство новой продукции, которая позволит объединить основные системные процессы.

Одним из основных входных данных для всего этапа освоения является технологическая документация. Она является основным исходным источником данных для всех основных системных процессов на этапе освоения, а технологическая документация является одним из результатов подготовки производства.

Важную роль для предприятий машиностроительной отрасли играет подготовка производства – обеспечение информационными, организационными и материальными ресурсами производственного процесса. В процессе подготовки производства должны быть решены основные задачи: разработка технологической документации, проектирование специальных средств оснащения, изготовление (приобретение) технологической оснастки и нового оборудования, отработка технологических процессов с применением специальных средств оснащения, производиться организационная подготовка производства. Для описания взаимосвязей между основными процессами была сформирована схема взаимодействия основных процессов постановки на производство (см. рисунок 1).

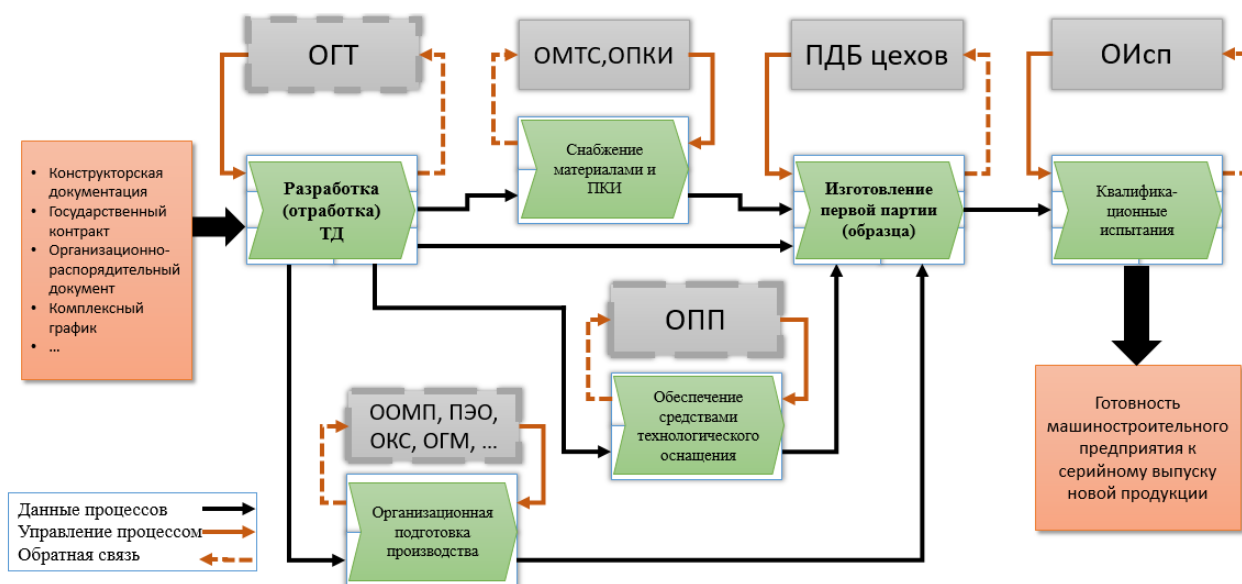


Рисунок 1. Схема взаимодействия основных процессов в системе управления постановкой на производство на предприятии машиностроительной отрасли

В связи с тем, что этап подготовки производства оказывает значительное влияние на этап освоения и является основным источником исходных данных и материальной подготовки к освоению, то любые задержки или упущения на этапе подготовки производства негативно сказываются на этапе освоения. Как минимум – это вынужденные задержки, а как максимум – срывы сроков поставки готовых изделий

заказчику. Поэтому в единый контур управления должны быть включены основные процессы обоих этапов постановки на производство: подготовки и освоения производства.

Единый субъект управления всем этапом освоения должен производить общий контроль за длительностью и ходом системных процессов. В случаях отклонений внутри какого-либо системного процесса, которые влекут за собой увеличение длительности системного процесса сверх установленных первоначальных сроков, субъект управления всем этапом освоения должен вносить корректировки. Учитывая описанное выше, построена информационная модель системы управления постановки на производство новой продукции (см. рисунок 2).

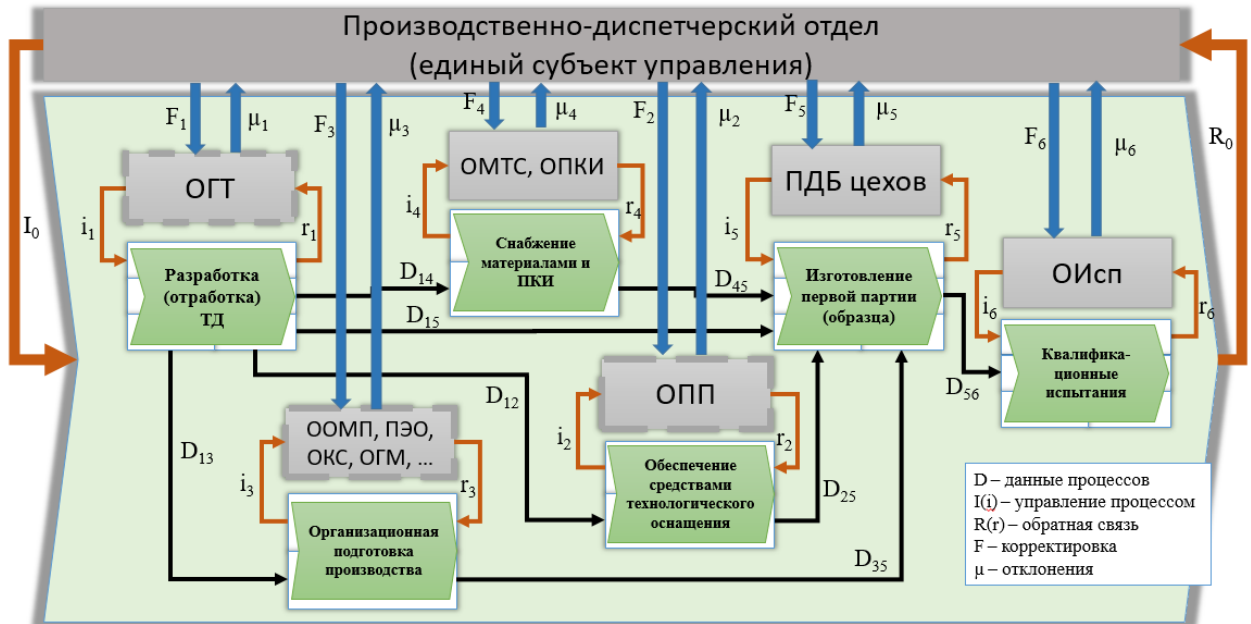


Рисунок 2. Информационная модель системы управления постановки на производство

В большинстве исследовательских работ этапы и процессы постановки на производство нового изделия располагаются последовательно во времени: сначала разработка (отработка) технологической документации, обеспечение средствами технологического оснащения, организационная подготовка производства, снабжение и обеспечение, изготовление установочной партии (образца) и в завершении – квалификационные испытания.

По мнению автора, последовательное отражение этапов и процессов – не совсем соответствует действительности хода процессов постановки на производство. На практике четкого последовательного выполнения этапов добиться сложно и процессы этапа освоения могут начаться еще до окончания процессов этапа подготовки производства. Освоение изготовления первичных деталей может быть начато, когда еще не готовы технологические процессы сборочных операций головного изделия. А способы планирования и методы изготовления, которые были определены в процессе организационной подготовки производства, также уточняются и изменяются уже в процессе изготовления установочной партии (образца). Процессы этапа подготовки производства значительно пересекаются с процессами этапа освоения нового изделия, и могут продолжаться вплоть до окончания этапа освоения, а процесс организационной подготовки производства может идти практически параллельно с несколькими процессами, в т.ч. с процессом изготовления первой партии(образца). Наличие единого

субъекта управления позволяет организовать параллельно - последовательное выполнение процессов (см. рисунок 3).

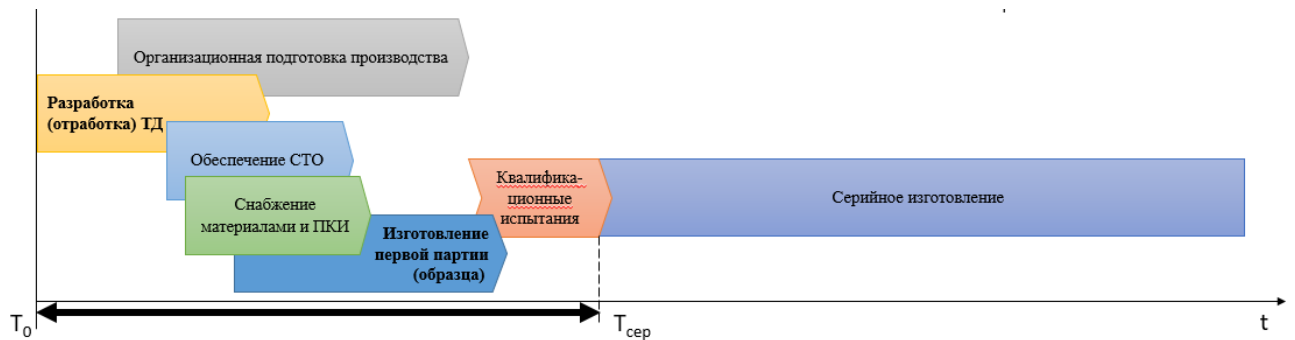


Рисунок 3. Параллельно - последовательный выполнение процессов постановки на производство новой продукции

Таким образом, во второй главе описана возможность перехода от последовательного выполнения основных процессов постановки на производство к параллельно – последовательному выполнению, которое позволит сократить длительность всей постановки на производство. Одним из основополагающих условий для перехода к параллельно – последовательному выполнению основных процессов является наличие единого субъекта управления, который управляет ходом постановки на производство в целом, как единым объединенным процессом. Для описания взаимосвязей между основными процессами и единым субъектом управления сформирована информационная модель системы управления постановки на производство, которая отображает основные потоки информации, необходимой для осуществления контроля за общим ходом всей постановки на производство новой продукции и информационные потоки управляющих воздействий.

В третьей главе описаны разработанные инструменты управления производственным процессом постановки на производство новой продукции.

Первоначально на основании конструкторской документации на новое изделие создается план разработки и согласования технологической документации. В свою очередь он является исходным планом для разработки остальных зависимых планов: плана закупки материалов, покупных комплектующих изделий, а уже на основании этих планов составляется план изготовления первой установочной партии новых изделий. Как правило, эти планы создаются перед началом освоения и не корректируются, а ситуация на предприятии меняется постоянно и планы становятся неактуальными и в дальнейшем взаимно не синхронизируются с течением времени.

Поэтому автором был разработан и предложен алгоритм синхронизации планов (см. рисунок 4), который позволяет объединить и спланировать работу нескольких основных подразделений предприятия, принимающих непосредственное участие в этапе освоения новой продукции. Основными подразделениями являются отдел главного технолога, отдел подготовки производства, отделы снабжения и производственные цеха.

Основными планами, которые должны разрабатываться при постановке на производство являются:

- план разработки технологической документации;
- план закупки материалов, покупных комплектующих изделий;
- план обеспечения инструментом и средствами технологического оснащения;
- план отработки технологических операций (при необходимости);
- план изготовления первой установочной партии новых изделий.

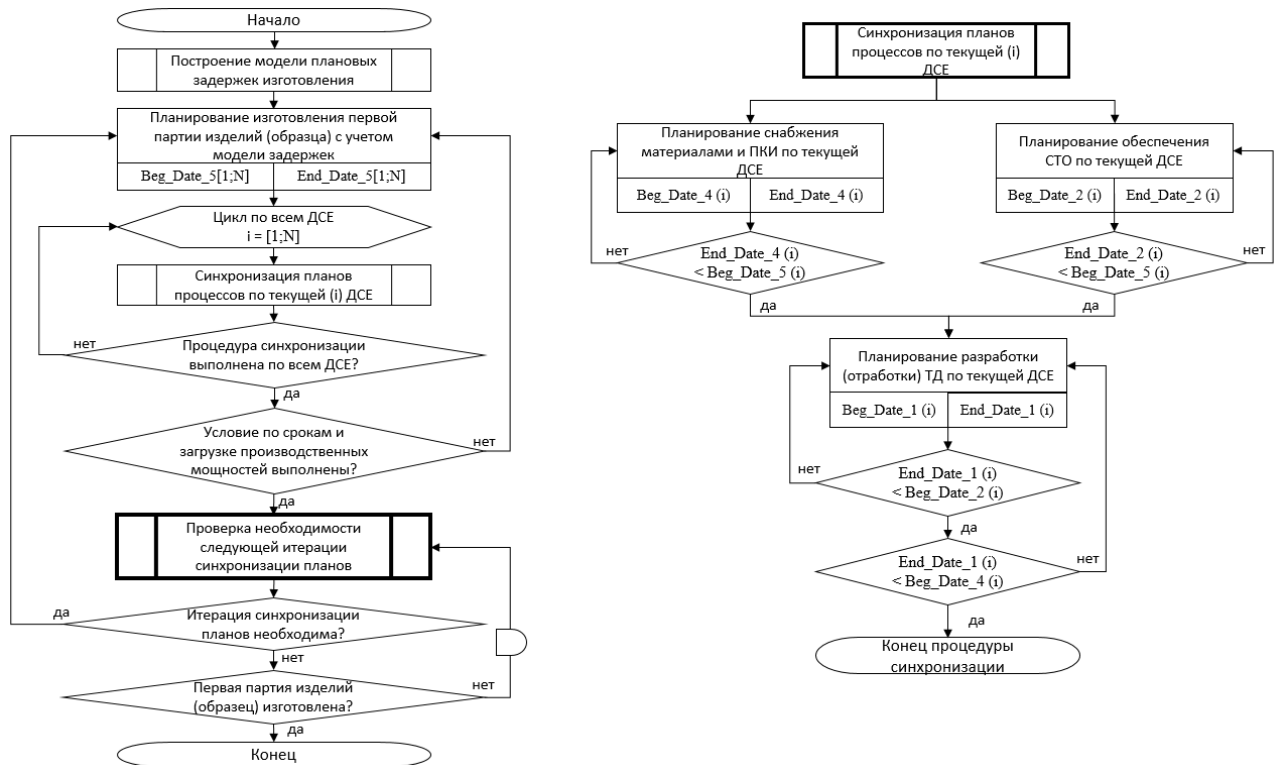


Рисунок 4. Алгоритм синхронизации календарных планов, разрабатываемых при постановке на производство новой продукции

Указанные планы являются взаимозависимыми и должны быть строго синхронизированы по времени, т.е. для отдельной детали или сборочной единицы (ДСЕ) без завершения предыдущего этапа не сможет начаться следующий. Так, если какая-то деталь входит в состав сборочной единицы, то процесс изготовления сборочной единицы начнется только после полного изготовления детали. Для взаимной увязки по срокам изготовления первых партий различных ДСЕ из состава нового изделия производится процедура оперативного планирования, результатом которой является план с конкретными сроками запуска и выпуска партий ДСЕ. И к сроку запуска партии ДСЕ необходимо закончить выполнение предыдущих процессов – «Снабжение материалами и ПКИ» и «Обеспечение средствами технологического оснащения» именно по этой ДСЕ.

Если производить сравнительную характеристику процесса освоения и серийного процесса, то выявляется основное отличие в том, что для производственного процесса освоения отсутствуют подтвержденные календарно-плановые нормативы, по которым можно сформировать достоверные планы выполнения процессов, поэтому на первоначальном этапе необходимо использование инструментов моделирования для построения первоначальной модели плана.

Для построения математической модели в процессе исследования использовался эксперимент – постановка на производство составной части нового изделия «А» на предприятии АО «ВМП «АВИТЕК».

Во время освоения составной части нового изделия «А» собирались различные замечания, которые задерживали проведение освоения. Перечень и количество замечаний, выявленных на этапе освоения, приведены в таблице 1. Большинство выявленных замечаний относится к этапу подготовки производства, что показывает большую степень влияния данного этапа на ход производственного процесса освоения нового изделия.

Факторы, влияющие на отклонения проведения процесса освоения составной части изделия «А»

| Краткое наименование фактора | Описание фактора | Переменная для математического моделирования | Количество выявленных замечаний |
|------------------------------|---|--|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Матер | отсутствие материала, заготовки, задержки на входном контроле | x_2 | 92 |
| КД | уточнение и изменения конструкторской документации | x_3 | 10 |
| Инстр | отсутствие инструмента, заложенного в технологической документации | x_4 | 99 |
| Обор | отсутствие оборудования (задержки в монтаже и сдаче оборудования) | x_5 | 48 |
| Оснаст | отсутствие (или несоответствие) средств специальной технологической оснастки, | x_6 | 1031 |
| СрИзм | отсутствие средств измерения и контроля (отсутствие их поверки) | x_7 | 286 |
| ТехПроц | отсутствие технологического процесса на отдельный производственный участок | x_8 | 631 |

Для построения зависимости задержек (μ) от выявленных факторов была использована модель множественной линейной регрессии:

$$\mu = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon = \vec{x}' \vec{\beta} + \varepsilon$$

Используя метод наименьших квадратов, решаем систему уравнений:

$$\mu_1 = \beta_1 x_{11} + \beta_2 x_{12} + \dots + \beta_m x_{1m} + \varepsilon_1 = x_1' \beta + \varepsilon_1$$

$$\mu_2 = \beta_1 x_{21} + \beta_2 x_{22} + \dots + \beta_m x_{2m} + \varepsilon_2 = x_2' \beta + \varepsilon_2$$

...

$$\mu_n = \beta_1 x_{n1} + \beta_2 x_{n2} + \dots + \beta_m x_{nm} + \varepsilon_n = x_n' \beta + \varepsilon_n$$

Получаем полную математическую модель:

$$\mu = 30,65 + 6,75 * x_2 - 1,72 * x_3 + 0,44 * x_4 - 5,05 * x_5 + 1,19 * x_6 - 0,55 * x_7 + 0,91 * x_8 + \varepsilon$$

Произведя отсев незначимых факторов по критериям Стьюдента и Фишера получаем сокращенную модель со значимыми коэффициентами:

$$\mu = 31,28 + 4,27 * x_2 + 2,15 * x_5 + 2,00 * x_8 + \varepsilon$$

Таким образом, для того чтобы на первоначальном этапе планирования учесть вероятностный характер хода основных процессов необходимо построить математическую модель факторов задержек, для этого определяем значения векторов $\vec{X}_2, \vec{X}_5, \vec{X}_8$:

$$\vec{X}_2 = \{x_{21}; x_{22}; \dots; x_{2N}\}$$

$$\vec{X}_5 = \{x_{51}; x_{52}; \dots; x_{5N}\}$$

$$\vec{X}_8 = \{x_{81}; x_{82}; \dots; x_{8N}\}$$

где N – количество ДСЕ в новом изделии.

В итоге получаем математическую модель факторов задержек:

$$\mu = F(\overline{X2}, \overline{X5}, \overline{X8})$$

Полученные значения факторов задержек должны быть учтены при расчете плановой длительности изготовления первых партий деталей в качестве страхового времени.

Анализ полученных при моделировании результатов показывает, что помимо отсутствия материалов и оборудования, значимое влияние на задержки оказало отсутствие технологических процессов к моменту запуска партии ДСЕ, что также подтверждает значимое влияние этапа подготовки производства на этап освоения. Поэтому качественно выполненные работы на этапе подготовки производства позволяют избежать задержек в процессе освоения производства и способствуют завершению изготовления первой партии изделий(образца) к моменту начала квалификационных испытаний.

Для взаимосвязанного единого управления процессами постановки на производство был разработан **метод управления**, включающий формирование единого контура управления с определением критического пути кросс-функциональных процессов и оперативный контроль выполнения на основании определенного критического пути.

Первым этапом метода является представление структуры нового изделия с использованием сети Петри и определении плановых длительностей по каждому процессу. Для этого по каждому из основных процессов постановки на производство для каждой ДСЕ нового изделия формируются множества плановых длительностей.

Вторым этапом рассчитываются календарно-плановые нормативы, в том числе совокупные плановые длительности процессов подготовки производства и изготовления первой партии изделий (образца). С учетом сети Петри, описывающей структуру нового изделия, строится матрица плановых длительности всех возможных путей на сети Петри и на основании её вычисляются длительности всех возможных путей:

$$ts_i^{пл} = pp_{i1}^{пл} + \sum_{j=1}^{m-1} (\max(t5_{ij}^{пл}; pp_{ij+1}^{пл}) + \mu_{ij}) + t5_{im}^{пл} + \mu_{im}$$

Тогда нахождение длительности (ts) выполнения процесса будет сводиться к нахождению критического пути, т.е. пути k с максимальной суммой элементов:

$$ts_k^{пл} = \max(ts_1^{пл}; \dots; ts_i^{пл}; \dots; ts_n^{пл})$$

Третьим этапом метода является организация оперативного контроля (диспетчирования) хода выполнения процессов при постановке на производство на основании отслеживания отклонений от плановых длительностей выполнения процессов:

$$\mu_{факт} = \{\Delta t_{ij}\} = \{t_{ij}^{пл} - t_{ij}^{факт}\}$$

где $t_{ij}^{пл}$ – плановая длительность;

$t_{ij}^{факт}$ – фактическая(текущая) длительность;

Δt_{ij} – отклонение от плановых длительностей по ДСЕ (i, j).

При организации оперативного контроля - в первую очередь необходимо отслеживать отклонения, возникающие при выполнении процессов по ДСЕ, находящихся на критическом пути (по пути k). Т.е. если суммарное отклонение по строке k положительное, то происходит отставание от плановых сроков выполнения процесса:

$$\sum_{j=1}^m \mu_{kj} > 0$$

Во время выполнения процессов критический путь может измениться, т.е. отслеживать отклонения необходимо с учетом текущего состояния процессов. Если с течением времени по какому-либо пути (i) сумма элементов начинает превышать значение критического пути (ts), значит произошло изменение критического пути и наблюдается отставание от плановых сроков.

Таким образом, применение описанного метода позволяет оперативно выявлять ситуации отставания от запланированных сроков выполнения процессов постановки на производство по конкретным ДСЕ и позволяет производить корректирующие действия и управляющие воздействия, которые обеспечивают устранение возникших отставаний.

В третьей главе разработаны инструменты управления постановкой на производство – это алгоритм синхронизации планов, разрабатываемых при постановке на производство новой продукции, и метод управления постановкой на производство новой продукции. Разработанные инструменты позволяют более эффективно планировать и контролировать системные процессы постановки на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях.

Для того чтобы была возможность определения успешности или не успешности выполнения постановки производства, необходимо иметь показатели, по значениям которых можно определить эффективность выполнения постановки на производство.

В четвертой главе описаны показатели эффективности производственного процесса постановки на производство и представлены результаты апробации разработанных инструментов на машиностроительном предприятии, а также освещены вопросы автоматизированного управления постановкой на производство новых изделий.

К основным показателям эффективности производственного процесса постановки на производство отнесены следующие показатели:

- соблюдение плановых сроков постановки на производство;
- минимальная загрузка оборудования при изготовлении ДСЕ нового изделия;
- организационная готовность оборудования, т.е. отсутствие простоев технологического оборудования при изготовлении первых партий ДСЕ нового изделия;
- производственная технологичность нового изделия.

Таким образом, анализ показателей эффективности позволяет сделать заключение об эффективности производственного процесса постановки на производство. А в случае оперативного отслеживания уровней приведенных показателей - позволяет получать информацию о текущей ситуации выполнения постановки на производство.

Планы, разрабатываемые при постановке на производство, являются взаимозависимыми и любое изменение в ходе выполнения одного плана может повлечь необходимость пересмотра других зависимых планов. Для сложных изделий, состоящих из значительного количества деталей и сборочных единиц, управлять ходом освоения становится сложно и проблематично из-за большого объема взаимосвязанной

информации. Поэтому для управления освоением сложных изделий на машиностроительном предприятии необходимо применение процедур автоматизированного управления процессом освоения.

Сформирован перечень необходимых изменений в автоматизированных системах, которые необходимо произвести для создания возможности оперативного пересчета планов, возможности оперативного автоматизированного обмена информационными потоками между разными системами и возможность быстрого внесения изменений в технологические данные.

Для устранения разнообразия способов расчетов длительности производственного цикла и определения необходимого количества технологических и производственных времен была разработана методика автоматизированного расчета плановой загрузки оборудования и производственного цикла изготовления партии ДСЕ в процессе освоения новых изделий. В методике учтены особенности, связанные с различными типами обработки: последовательная обработка или групповая обработка на оборудовании проходного и непроходного типа.

Разработанные инструменты: информационная модель системы управления постановкой на производство, алгоритм синхронизации календарных планов, метод управления и методика определения плановой длительности изготовления первой партии изделий апробированы на предприятии АО «ВМП «АВИТЕК». Апробация указанных инструментов позволила сократить отставание изготовления первых партий деталей по изделию «Б» (среднее отклонение – 74 дня) от плановых сроков более, чем в два раза по сравнению с изготовлением первых партий изделия «А» (среднее отклонение – 188 дней). Отклонения (отставания) сократились более, чем в два раза, что соответственно отразилось на длительности производственного процесса освоения новой продукции. Так до апробации метода длительность производственного процесса освоения по изделиям из основной номенклатуры предприятия составляла примерно 5-6 лет, а после апробации метода длительность производственного процесса освоения по изделию «А» составила 1330 календарных дней (3,6 года), а по следующему изделию «Б» составила уже 1017 календарных дней (2,8 года).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования цель диссертации достигнута благодаря решению следующих задач:

1. Проведен анализ существующих методов и средств управления производственным процессом и их применимости для процесса освоения новой продукции.

2. Разработана и обоснована система моделей управления постановкой на производство новой продукции на предприятиях машиностроительной отрасли, описывающая взаимосвязи между основными системными процессами и отображающая основные потоки информации, необходимой для осуществления контроля за общим ходом всей постановки на производство новой продукции и информационные потоки управляющих воздействий.

3. Разработан алгоритм итерационной синхронизации календарных планов процессов, выполняемых при постановке на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях.

4. Разработан метод управления постановкой на производство новой продукции на машиностроительных предприятиях, обеспечивающий устранение организационно-управленческих проблем.

5. Разработаны инструменты управления производственным процессом постановки на производство новой продукции на машиностроительном предприятии и произведена их автоматизация.

6. Проведена апробация разработанных инструментов управления производственным процессом постановки на производство новой продукции на примере двух предприятий.

Что позволило сократить длительность производственного процесса подготовки и освоения производства новой продукции на предприятиях машиностроительной отрасли на основе совершенствования инструментов управления постановкой на производство.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Четвергов В.А., Волков М.В., Зинец Н.С. Анализ современных концепций планирования для машиностроительных предприятий и их применимость для этапа освоения новых продуктов // Русский инженер. – 2020. – №03(68). – с. 39-41.
2. Четвергов В.А., Вычегжанин К.О. Применение математического моделирования в структуре комбинированной системы испытаний при освоении и серийном производстве сложных технических систем // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – №5(119). – с. 60-64.
3. Четвергов В.А., Вычегжанин К.О., Поляков А.А. Использование методов модельно-ориентированного системного инжиниринга при создании методики планирования производственного процесса освоения новых продуктов на предприятиях ОПК // Русский инженер. – 2021. – №03(72). – с. 28-31.
4. Четвергов В.А. Итерационное моделирование, как инструмент управления производственными процессами на предприятии ОПК, с учетом освоения изготовления новых изделий // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. промышленные технологии. – 2023. – №1. – с. 61-64.
5. Четвергов В.А. Методика управления постановкой на производство изделия военного назначения // Стандарты и качество. – 2023. – №5(1031). – с. 98-99.

Публикации в сборниках конференций

1. Четвергов В.А. Особенности планирования и управления производственным процессом освоения нового изделия на вновь созданном предприятии оборонно-промышленного комплекса // Сборник статей IV Международной научно-практической конференции «Формирование конкурентной среды, конкурентоспособность и стратегическое управление предприятиями, организациями и регионами». Пенза: РИО ПГАУ. 2019. – с.261-266.
2. Четвергов В.А., Зинец Н.С., Дьячков М.Е., Кобелев П.А. Создание модели плана производства на машиностроительном предприятии // Сборник статей VII Международной научно-практической конференции «Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций». Пенза: РИО ПГАУ. 2019. – с.281-285.
3. Дьячков М.Е., Кобелев П.А., Четвергов В.А., Шевченко Р.В. Распределение трудовых ресурсов при планировании деятельности производственного подразделения в системе сервисного обслуживания вооружения и военной техники // Сборник статей по материалам XXX международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения». №12(28). Часть 1 – М., Изд. «Интернаука» – 2019. – с. 139-143.