

На правах рукописи



Майбородин Александр Борисович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ПОДГОТОВКЕ
ПРОИЗВОДСТВА К ВЫПУСКУ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ
ТЕХНИКИ**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация
производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва
2022

Работа выполнена на кафедре «Управление качеством и сертификация» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель:

Васильев Виктор Андреевич

доктор технических наук, профессор, кафедра «Управление качеством и сертификация», профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Официальные оппоненты:

Цыркв Александр Владимирович

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, акционерное общество «Научно-производственное объединение «Техномаш» имени С.А. Афанасьева», г. Москва

Постникова Елена Сергеевна

кандидат технических наук, доцент, кафедра экономики и организации производства, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

Ведущая организация:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), г. Самара

Защита состоится «29» декабря 2022 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета У.2.5.22.01 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, корпус 4, 3-й этаж, аудитория 311).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (<https://library.spbstu.ru/ru/>).

Отзывы на автореферат с подписью, заверенные печатью, просим направлять в адрес ученого секретаря совета.

Автореферат разослан « » ноября 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета У.2.5.22.01, к.т.н.



А.Ю. Газизулина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. Научно-технический прогресс является важным условием развития экономики, общества и обеспечения обороноспособности страны. В настоящее время усилия предприятий наукоемкой, высокотехнологичной отрасли направлены на повышение конкурентоспособности на международном уровне. Создание новых образцов авиационной техники является одним из направлений этого развития и оказывает значительное влияние на развитие многих смежных областей.

Процесс подготовки производства к выпуску новой авиационной техники состоит из множества этапов, каждый из которых обладает собственной спецификой, и образует сложные производственные цепочки. Как правило, помимо подразделений основного предприятия, каждое из которых имеет узкую специализацию, в подобных производственных отношениях участвуют смежные организации. Это приводит к необходимости решения задачи рационального сочетания этих производственных процессов во времени и синхронизации совместной деятельности исполнителей.

В настоящее время одним из способов достижения конкурентных преимуществ промышленных предприятий является внедрение и развитие специализированных информационных систем. Они применяются в проектировании, производстве, управлении и многих других областях. В частности, для решения указанной задачи применяется программное обеспечение (ПО), предназначенное для производственного планирования, управления проектами и организации цикла материально-технического обеспечения (МТО). При вводе подобных информационных систем в эксплуатацию, а также при их последующем развитии, важно учитывать специфику предприятия, выпускаемой продукции и производственных процессов.

Практика показывает, что классическое программное обеспечение, используемое в производственном планировании и управлении проектами, успешно применяется в условиях, когда множество работ и их взаимосвязей определено заранее и эти работы повторяются многократно. В основном, такой характер имеют процессы серийного и массового производства.

Однако, указанное программное обеспечение не учитывает особенности производственного планирования, имеющие место в области создания новых образцов авиационной техники. Это приводит к возникновению ряда негативных эффектов. Например, замедленной реакции системы планирования на изменение производственной ситуации, возникновению потерь, связанных с простоем производства и др.

Таким образом, разработка методов и средств календарного планирования, учитывающих специфику подготовки производства к выпуску новых образцов авиационной техники и позволяющих сократить указанные негативные эффекты, является актуальной задачей, значимость которой повышается на фоне обострения международной конкуренции в области вооружений и, в частности, разработки и производства военной авиационной техники.

Исследования в области организации производства, календарного планирования наукоемкого производства, управления проектами по созданию

сложных технических систем и оптимизации построения расписаний проводились О.Г. Туровцом, Ю.С. Ключковым, В.Н. Козловским, А.В. Цырковым, А.В. Лопотой, И.Н. Омельченко, Е.С. Постниковой, В.И. Галкиным, М.А. Всяким, Р.Р. Загидуллиным, Д.В. Щербаковым, А.В. Черненко, О.И. Митяковой, Е.М. Клеймёновой, Р.А. Чурсиным, В.В. Великановым и другими.

Задачи планирования с точки зрения классических методов математического программирования, теории графов и теории расписаний рассматриваются в работах Л.В. Канторовича, С.А. Ашманова, Е.С. Вентцеля, Дж. Б. Данцига, Д.А. Новикова, М.В. Белова, В.Н. Буркова, В.И. Воропаева и других. Исследования, связанные с выбором метода автоматизации проектирования календарного плана проекта, проводились А.Б. Клименко, О.А. Сергеенковой, М. Kataoka, Н. Kim, М. Konig, А. Mrkela, Е. Tauscher и другими.

Вопросы, связанные с теорией программных агентов и многоагентных систем (МАС), рассмотрены в работах В.А. Виттиха, В.Б. Тарасова, В.И. Городецкого, Н.В. Гладкова, М.К. Валиева, М.И. Дехтяря, А.Я. Диковского, Р. R. Cohen, Н. J. Levesque и других учёных. Практические исследования в области промышленного применения МАС отражены в работах Е.М. Клеймёновой, Е.В. Симоновой, О.И. Лахина, И.В. Майорова, Г.А. Ржевского и П.О. Скобелева.

Отдельный интерес представляют работы Д.А. Ризванова, Е.С. Чернышева, Н.И. Юсуповой и С.А. Громова, описывающие применение систем программных агентов в задачах календарного планирования и управления ресурсами. Вопросы безопасности и горизонтального масштабирования МАС рассмотрены в исследованиях С.А. Хованскова и В.А. Литвиненко.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка метода календарного планирования, обеспечивающего согласованную деятельность исполнителей и позволяющего сократить время простоя при выполнении работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать особенности производственного планирования и управления проектами, имеющие место в процессе создания новых видов авиационной техники.
2. Провести анализ существующих методов и средств, применяемых в области календарного планирования и управления проектами.
3. Разработать метод оценки времени реакции системы производственного планирования авиастроительного предприятия на изменение производственной ситуации.
4. Разработать средства календарного планирования, удовлетворяющие требованиям и условиям цели настоящего исследования, и выполненные в виде комплекта ПО.
5. Разработать алгоритм поэтапного внедрения предлагаемого метода планирования на предприятиях, выполняющих работы по созданию новых образцов авиационной техники.
6. Провести внедрение и апробацию предложенного метода в реальных производственных условиях авиастроительного предприятия.

Объект исследования: система производственного планирования авиастроительного предприятия.

Предмет исследования: методы и средства календарного планирования работ по созданию новых образцов авиационной техники и материально-технического обеспечения этих работ.

Область исследования. Основные положения диссертации соответствуют паспорту специальности научных работников 2.5.22 – «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» и охватывает следующие области исследования, предусмотренные паспортом:

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

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

П.17 Разработка и научно-практическое развитие инструментов бережливого производства, синхронизации в производственных системах, оптимизации процессов и рабочих мест.

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

Методы исследования. В процессе исследования применялись общенаучные методы, методы математической статистики, корреляционного анализа, системного анализа и абстрактно-логический метод. В основе решения задачи планирования лежат методы адаптивного планирования и сопряжённых взаимодействий в сетях потребностей и возможностей (ПВ-сетях). Эффективность предложенных методов и средств планирования подтверждается экспериментальным методом в реальных производственных условиях. Средства производственного планирования, предложенные автором, являются реализацией метода имитационного моделирования производственной деятельности предприятия.

Научная новизна и положения, выносимые на защиту. Наиболее значимые результаты, составляющие научную новизну диссертационного исследования и выносимые на защиту, сформулированы в следующих положениях.

1. Разработан метод календарного производственного планирования, основанный на использовании усовершенствованной системы программных агентов, предложенной и разработанной автором. Данный метод разработан с учётом особенностей процесса создания новых видов авиационной техники и предусматривает отдельные режимы планирования для тактического и оперативного уровней планирования.

2. Разработан метод оценки времени реакции систем календарного производственного планирования, управления проектами и МТО на изменение производственной ситуации. Данный метод отличается тем, что учитывает хронологию событий в указанных системах и позволяет на практике оценить влияние выбранного метода и средств календарного планирования на потери, связанные с простым производством.

3. Разработаны методы: определения потенциальных последовательностей работ и определения требований к квалификации и специализации потенциальных исполнителей работ. Эти методы основаны на применении инструментов

машинного обучения и предназначены для выявления потенциальных связей типа работа-исполнитель и работа-работа (предшественник-последователь) через контекстный анализ наименований работ, и статистический анализ нормативов и номенклатурных позиций, применяемых на работах. Предложено использование указанных методов в качестве замены онтологическому подходу, который является классическим для многоагентных систем.

4. Разработан алгоритм поэтапного ввода предлагаемой многоагентной системы в эксплуатацию в производственную систему авиастроительного предприятия. Данный алгоритм учитывает специфику систем производственного планирования, применяемых на современных предприятиях, участвующих в выполнении НИОКР по созданию новых видов авиационной техники.

Практическая значимость работы. Предложенные в диссертационной работе метод и средства производственного планирования основаны на применении многоагентной системы и ориентированы на применение на авиастроительных предприятиях, выполняющих работы по созданию новых образцов авиационной техники. Модифицированный метод адаптивного планирования позволяет:

- сократить время реакции системы производственного планирования на изменения производственной ситуации;
- снизить потери, связанные с простоем производства;
- повысить согласованность совместной деятельности исполнителей;
- решить проблему позднего формирования материальных заявок;
- сократить время формирования и корректировки производственного плана (ПП).

Многоагентная система, предлагаемая в качестве основного средства производственного планирования, соответствует требованиям, предъявляемым в рамках программы импортозамещения, а также требованиям к безопасности программного обеспечения, соответствует требованиям основных стандартов FIPA и IEEE, и предусматривает горизонтальное масштабирование многоагентной системы, что позволяет расширять область её применения.

Результаты исследования показали, что на начальных этапах внедрения применение модифицированного метода адаптивного планирования позволяет сократить время реакции системы планирования при корректировке ПП на 71%, при планировании работ по подготовке производства к выпуску новых видов авиационной техники. Применение многоагентной системы позволило сократить время, затрачиваемое на проверку заявок на выдачу материалов в производство, в среднем на 8% в случае закупки материалов, и на 40% в случае выдачи материалов со склада, а также снизить количество отмен с 57% до 11%.

Предложенные в диссертационном исследовании методы и ПО могут быть адаптированы для решения аналогичных задач и в других областях, связанных с производством новых видов наукоёмкой продукции.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты диссертационного исследования внедрены в ОКБ Сухого и используются в учебном процессе Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (МАИ), что подтверждается соответствующими актами. Эффективность предложенных методов и средств планирования подтверждается

экспериментальным методом в реальных производственных условиях. Основные результаты работы были доложены и положительно отмечены на заседаниях кафедры «Управление качеством и сертификация» МАИ.

Основные положения работы представлены на следующих научных конференциях: Всероссийская конференция с международным участием «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки», Москва, 2017; Девятый международный аэрокосмический конгресс, Москва, 2018; Международная научно-практическая конференция «Управление качеством»: XVI, Москва, 2018; XVIII, Москва, 2019; XIX, Москва, 2020; Международная конференция «Авиация и космонавтика»: XVIII, Москва, 2019; XIX, Москва, 2020; Международная конференция «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IEEE): Сочи, 2019; Ярославль, 2020; Международная научно-практическая конференция «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», Санкт-Петербург, 2019.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации автором опубликовано 17 работ. Из них 3 публикации в журналах, рекомендованных ВАК, 3 публикации в журналах, индексируемых Scopus и 1 публикация в журнале, индексируемом в Web of Science. По результатам исследования автором получено 3 свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения для ЭВМ и опубликовано учебное пособие.

Список публикаций приведён в конце автореферата.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Постановка задач и интерпретация полученных результатов выполнялись совместно с научным руководителем. Из работ, выполненных в соавторстве, в диссертацию включены только те результаты, которые были получены лично автором в процессе исследования.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, и списка литературы, содержащего 94 наименования. Диссертация содержит 36 рисунков и 5 таблиц. Общий объем диссертации составляет 152 страницы печатного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приводятся: общая характеристика работы, актуальность и степень разработанности темы, цель, задачи и методы исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту, практическая значимость работы, а также степень достоверности, апробация результатов и личный вклад автора.

В **первой главе** проведен анализ особенностей планирования работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники.

Показано, что создание новых образцов авиационной техники является сложным процессом, требующим вовлечения большого числа исполнителей и координации их совместной деятельности, и сопровождается проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Особенности этого процесса существенно влияют на сложность задачи планирования и должны учитываться при развитии системы планирования предприятия.

Одной из таких особенностей является длительность проектов НИОКР, которая может достигать десятков лет в отдельных случаях, а также высокая степень неопределённости, свойственная проектам НИОКР. Детальный состав и параметры работ (сроки, длительность, трудоёмкость) значительной части проектов определяется и непрерывно корректируется по результатам выполнения предшествующих работ. Многие технические задачи проектов НИОКР являются уникальными, решаются впервые и, с точки зрения планирования, представляют риски. От части запланированных работ происходит отказ или замена другими работами.

Помимо этого, авиационная техника относится к сложным техническим системам, состоящим из большого числа элементов. Суммарное количество составных частей конечного изделия может достигать нескольких тысяч единиц. Часть этих элементов может одновременно использоваться в различных видах изделий. Их создание проходит через этапы научных исследований, конструирования, технологической подготовки производства, выпуска опытных образцов, разработки информационно-управляющих систем и последующих испытаний. Календарные планы проектов должны учитывать сложную структуру изделия и отражать последовательность его изготовления. Все это требует создания большого числа работ, высокой степени их детализации и отражения их взаимных зависимостей по срокам в системе производственного планирования и управления проектами. Помимо этого, процесс создания каждой СЧ изделия сопровождается выполнением вспомогательных работ, которые также отражаются в системе производственного планирования и управления проектами.

Подобная деятельность требует слаженного взаимодействия большого числа узкоспециализированных кадров высокой квалификации вне рамок основного производственного процесса. Эта особенность, связанная с требованиями к квалификации исполнителей, приводит к ограничению возможности компенсации колебаний загрузки путем изменения кадрового состава.

Как правило, в процессе выполнения работ, помимо подразделений основного предприятия, принимают участие смежные организации. В ряде случаев это может являться решением проблемы колебания загрузки исполнителей, однако приводит к усложнению системы производственного планирования. Для обеспечения принципа целостности производственного плана система планирования основного предприятия должна быть связана с системами планирования смежных организаций. Это представляет собой риски второго порядка и приводит к необходимости решения задачи обеспечения своевременной синхронизации данных между указанными системами.

Опытное производство авиационной отрасли имеет непоточную форму организации производства и отличается преобладанием универсальных средств технологического оснащения, разнообразием номенклатуры изготавливаемых изделий и, в то же время, незначительным объемом выпускаемой продукции, что приводит к необходимости систематической переналадки оборудования. По этой причине могут возникать издержки, вызванные простоем из-за вынужденных перерывов в обработке изделий. Группировка рабочих мест осуществляется по типам операций, а не по последовательности их выполнения, что существенно

усложняет маршрут движения изделий по технологическому циклу и приводит к возникновению издержек, связанных с дополнительными перемещениями.

Перечень материалов, покупных комплектующих изделий (ПКИ) и других товарно-материальных ценностей (ТМЦ) может пересматриваться по результатам промежуточных испытаний, что приводит к значительным потерям, связанных с временем реакции системы МТО и отсутствием возможности планирования материальных потребностей на всю длительность проекта.

Одновременно с этим, сроки поставки ПКИ и других ТМЦ зависят от сторонних организаций и не входят в контур прямого контроля основного предприятия. Это приводит к возникновению дополнительных рисков с точки зрения своевременного снабжения производства и обеспечения непрерывности производственного процесса. Отдельно стоит отметить, что при выполнении проектов, связанных с государственным заказом, в том числе государственным оборонным заказом (ГОЗ), длительность закупочного процесса может быть более продолжительной. При этом, производственное планирование часто носит директивный характер. Недостатки директивного планирования могут проявляться в виде ухудшения обратной связи со стороны исполнителей, что может приводить к проблеме несоответствия состояния объектов системы планирования реальной производственной ситуации. Особенно выражено это можно наблюдать на уровне оперативного планирования.

Помимо этого, в настоящее время, при выборе, внедрении и модернизации средств планирования предъявляются дополнительные требования, связанные с импортозамещением ПО.

В процессе исследования был проведён анализ современных методов и средств, применяемых в области календарного планирования и управления проектами, а также их основные преимущества и недостатки. В качестве средств планирования были рассмотрены: неспециализированное ПО для работы с табличными данными (Microsoft Excel, OpenOffice Calc, LibreOffice Calc, Р7-Офис Таблица, МойОфис Таблица); специализированное ПО для рабочих мест пользователей (Microsoft Project, Oracle Primavera, Spider Project, Welcom Open Plan, TurboPlanner, GraphMaker, Net Graph, Project Libre, GanttProject, Task-Juggler); специализированные клиент-серверные приложения (Atlassian JIRA, JetBrains YouTrack, ProjeQtOr, Redmine, LibrePlan, dotProject); и специализированные программные модули, входящие в состав корпоративных информационных систем (Т-Flex, 1С, Парус, Галактика, SAP, BaaN, Oracle e-business suite, project-open). Обзор литературных источников не выявил наличия специальных методов, ориентированных на оценку средств планирования, с точки зрения их применения при планировании НИОКР по созданию авиационной техники.

В качестве методов планирования были рассмотрены: календарно-сетевое планирование (включая операционные методы: декомпозиции, набегающей волны, диаграмм предшествования, критического пути и оптимизации ресурсов); продвинутое планирование и составление расписаний (APS – от англ. Advanced Planning and Scheduling); гибкий подход (от англ. agile – гибкий); и адаптивное планирование, при котором производственное расписание формируется методом сопряжённых взаимодействий в ПВ-сетях.

Анализ работ В.А. Виттиха, Е.М. Клеймёновой, А.А.Жиляева, О.И.Лахина, И.В. Майорова, Д.А. Ризванова, Н.И. Юсуповой и других авторов, показал, что метод адаптивного планирования в наибольшей степени соответствует особенностям производственного планирования НИОКР в области авиастроения.

Однако, онтологический подход, лежащий в основе данного метода, и применяемый для установления связей типа работа-исполнитель, не рассчитан на применение в условиях широкой номенклатуры работ, изделий, а также высокой степени неопределённости, имеющих место в авиационных НИОКР.

Во второй главе, в целях разработки метода производственного планирования работ по подготовке производства к выпуску новых видов авиационной техники, был проведён системный анализ системы производственного планирования филиала одного из ведущих авиастроительных предприятий Российской Федерации – «ОКБ Сухого».

Показаны основные типы подразделений, взаимодействие участников планирования, уровни планирования (Рисунок 1) и виды планов, а также основные подсистемы исследуемой системы планирования: информационную систему управления проектами (ИСУП); информационную систему контроля хода выполнения работ (ИСКХВР); информационную систему оперативного производственного планирования (ИСОПП); информационную систему МТО (ИСМТО); и информационные потоки, установленные между ними (Рисунок 2).

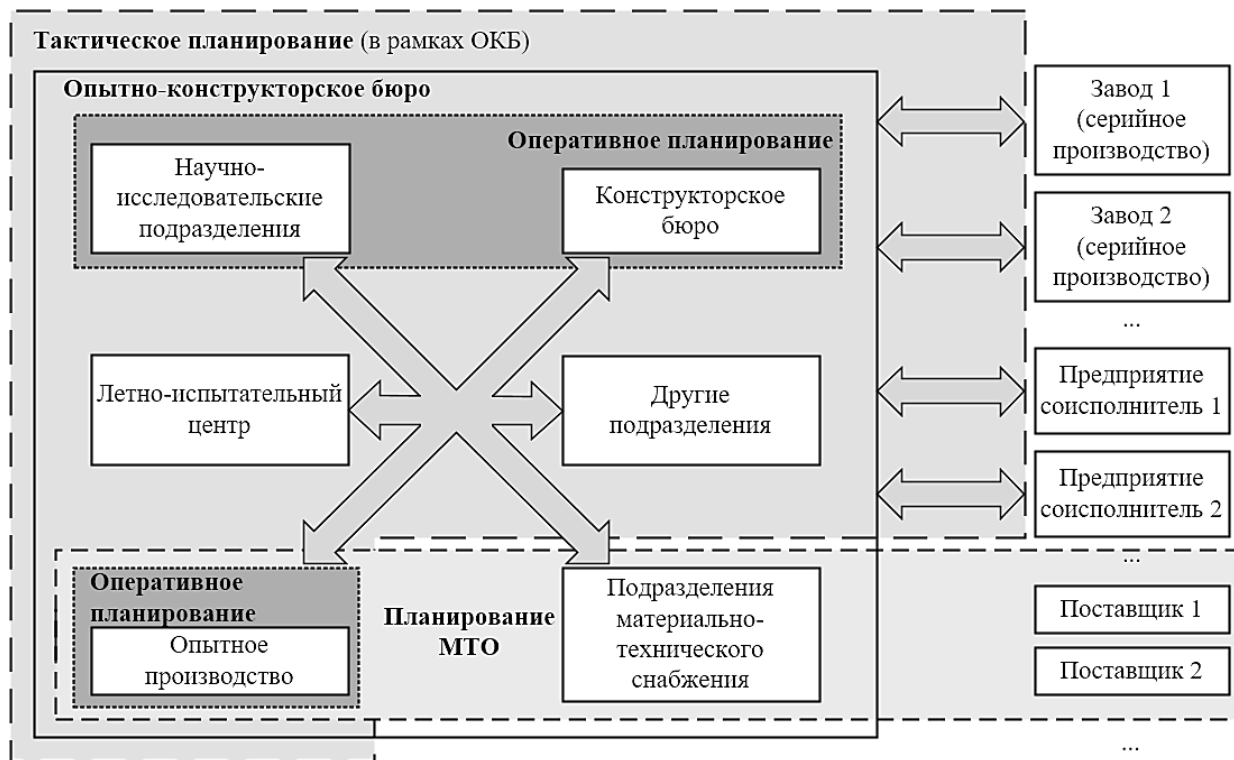


Рисунок 1 – Уровни планирования в разрезе организационной структуры предприятия

Описаны процессы формирования ПП предприятия, графиков работ основных подразделений-исполнителей, отчётов о ходе выполнения работ, плана МТО производства, а также процесс их корректировки. Проведён более глубокий причинно-следственный анализ особенностей планирования НИОКР в области авиастроения. Показано, что отсутствие оперативного обмена данными между

подсистемами системы планирования, несоответствие применяемых методов и средств планирования специфике решаемой задачи, а также повышенная сложность задачи планирования приводят к возникновению ряда негативных эффектов, связанных с увеличением времени реакции системы планирования на изменение производственной ситуации, снижению точности вычислений при определении плановых показателей работ, рассогласованием совместной деятельности исполнителей, несвоевременному обеспечению потребностей производства и значительному отклонению реальной загрузки исполнителей от плановой по мере изменения производственной ситуации.



Рисунок 2 – Схема информационного обмена между подсистемами системы планирования предприятия

Помимо этого, во второй главе предложена методика статистического исследования системы производственного планирования авиастроительного предприятия, описаны основные исследуемые объекты, перечень исследуемых параметров и ограничения выборки данных.

Для оценки точности определения плановых показателей работ предложен коэффициент точности планирования работы:

$$K_{\text{тп}i} = a_1 |F_{ai} - F_{pi}| + a_2 |S_{ai} - S_{pi}| + a_3 |D_{ai} - D_{pi}|, \quad (1)$$

где a_j – весовые коэффициенты, определяемые директивно с учетом требований к системе планирования со стороны конкретного предприятия; i – порядковый номер работы; F_{ai} – фактическое окончание; F_{pi} – плановое окончание; S_{ai} – фактическое начало; S_{pi} – плановое начало; D_{ai} – фактическая длительность; D_{pi} – плановая длительность.

С учётом горизонта планирования коэффициент точности планирования работы будет иметь вид:

$$K'_{\text{ТП}i} = a_1 \frac{|F_{ai}-F_{pi}|}{F_{pi}-t_{oi}} + a_2 \frac{|S_{ai}-S_{pi}|}{S_{pi}-t_{oi}} + a_3 \frac{|D_{ai}-D_{pi}|}{0,5(S_{pi}+F_{pi})-t_{oi}}, \quad (2)$$

где t_{oi} – время создания работы.

В случаях, когда значения плановых параметров работы меньше t_{oi} , предлагается использовать коэффициент $K_{\text{ТП}i}$ вместо коэффициента $K'_{\text{ТП}i}$.

В качестве общего показателя точности планирования может быть использован критерий:

$$K'_{\text{ТП}} = \frac{\sum_{i=1}^n K'_{\text{ТП}i}}{n}, \quad (3)$$

где n – количество оцениваемых работ.

Меньшие значения предложенных коэффициентов соответствуют более высокой точности планирования.

Время реакции системы планирования на изменение производственной ситуации может быть определено следующим образом:

$$t'_p = t_{\text{отв}} + t_{\text{ввода}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{вывода}} + t_{\text{утв}}. \quad (4)$$

где $t_{\text{отв}}$ – время реакции исполнителя, ответственного за ввод первичных данных о текущей производственной ситуации, которое соответствует временному периоду между наступлением события и началом его ввода в информационную систему; $t_{\text{ввода}}$ – время, затрачиваемое на ввод данных в информационную систему; $t_{\text{обр}}$ – время, затрачиваемое на обработку данных в информационной системе; $t_{\text{вывода}}$ – время, затрачиваемое на формирование выходных данных и их последующий вывод; $t_{\text{утв}}$ – время, затрачиваемое на утверждение новых версий планов, графиков, и документов, корректирующих производственное расписание, а также время их доведения до исполнителей.

Помимо этого, для отдельных информационных потоков, установленных между подсистемами системы планирования необходимо учитывать время $t_{\text{тр}}$, затрачиваемое на конвертацию и передачу данных (как в ручном, так и в автоматическом режиме). Таким образом, для исследования времени реакции системы планирования с учётом взаимной актуализации состояния между подсистемами, можно использовать соответствующий показатель:

$$t_p^{\text{ис1-ис2}} = t_{\text{отв}} + t_{\text{ввода}}^{\text{ис1}} + t_{\text{обр}}^{\text{ис1}} + t_{\text{вывода}}^{\text{ис1}} + t_{\text{тр}}^{\text{ис1-ис2}} + t_{\text{ввода}}^{\text{ис2}} + t_{\text{обр}}^{\text{ис2}} + t_{\text{вывода}}^{\text{ис2}} + t_{\text{утв}}, \quad (5)$$

где индексы соответствуют подсистемам и направлению передачи данных.

Предложен модифицированный метод адаптивного планирования, предполагающий формирование производственного расписания методом сопряжённых взаимодействий в ПВ-сетях, который заключается в установлении связей между парами p_{ij} объектов, отражающих возможности a_i (подразделение, исполнитель, оборудование) и потребности w_j (проекты, договоры, этапы, заказы, работы ПП, графики работ, работы графиков работ) производства:

$$p_{ij} = \{a_i, w_j\}, \quad (6)$$

$$A = \{a_1, \dots, a_n\}, \quad (7)$$

$$W = \{w_1, \dots, w_m\}, \quad (8)$$

где, A – множество объектов системы планирования, отражающих возможности производства; n – количество объектов множества A ; W – множество объектов системы планирования, отражающих потребности производства; m – количество объектов множества W .

В таком случае, критерий качества распределения ресурсов может быть выражен в виде функции:

$$K_{кр} = f(p). \quad (9)$$

Формальная постановка задачи распределения ресурсов может быть записана в следующем виде:

$$\begin{cases} f(p) \rightarrow \max \\ \text{при ограничениях:} \\ O(A), \\ O(W), \\ O(A \times \dots \times A \times W \times \dots \times W). \end{cases} \quad (10)$$

В качестве ограничений рассматривается доступность и количество ресурсов, производственная мощность подразделений и исполнителей, наличие материалов на складе, доступность определённых видов обработки или оборудования, график отпусков основных исполнителей, трудоёмкость выполняемых работ, временные ограничения по срокам существования потребности в выполнении работ, с возможностью выполнения работ в сверхурочное время, целевые значения загрузки исполнителей, требования к квалификации и специализации исполнителей, а также требования, связанные с необходимостью сочетания нескольких видов работ (например, при параллельном выполнении основной работы и работы по конструкторскому, технологическому или производственному сопровождению).

При образовании пар p_{ij} учитываются значения функций удовлетворённости объектов планирования. Для объектов множества A функция удовлетворённости может быть записана следующим образом:

$$f_{ik}^A(x_k - x_{ik}^{\text{цел}}), \quad (11)$$

где x_k – критерий функции удовлетворённости (например, загрузка исполнителей, интенсивность труда, мощность подразделения доступность оборудования, коэффициент оплаты труда, и другие); $x_{ik}^{\text{цел}}$ – целевое значение критерия для данного объекта.

В таком случае, показатель удовлетворённости каждого объекта планирования множества A будет определяться суммой частных целевых функций f_{ik}^A , рассчитанных для полного множества критериев x_k , учитываемых с заданными весовыми коэффициентами $\beta_{ik}^A \geq 0$:

$$y_i^A = \sum_k \beta_{ik}^A \cdot f_{ik}^A(x_k - x_{ik}^{\text{цел}}), \quad (12)$$

Показатель удовлетворённости системы y^A позволяет учитывать показатели удовлетворённости каждого отдельного объекта планирования, входящего в множество A , с учётом весовых коэффициентов δ_i^A , и может быть определён следующим образом:

$$y^A = \sum_i \delta_i^A \cdot y_i^A = \sum_i \delta_i^A \cdot \sum_k \beta_{ik}^A \cdot f_{ik}^A(x_k - x_{ik}^{\text{цел}}), \quad (13)$$

По аналогии с (11), (12) и (13) могут быть заданы функции и показатели удовлетворённости, рассчитанные относительно объектов планирования w_j .

$$f_{jl}^W(z_l - z_{jl}^{\text{цел}}), \quad (14)$$

$$y_j^W = \sum_l \beta_{jl}^W \cdot f_{jl}^W(z_l - z_{jl}^{\text{цел}}), \quad (15)$$

$$y^W = \sum_j \delta_j^W \cdot y_j^W = \sum_j \delta_j^W \cdot \sum_l \beta_{jl}^W \cdot f_{jl}^W(z_l - z_{jl}^{\text{цел}}), \quad (16)$$

где z_l – критерии функции удовлетворённости, представляющие собой основные параметры объектов планирования, отражающие потребности производства (длительность, сроки, трудоёмкость, приоритеты, требования к квалификации и специализации исполнителей, требования к оборудованию и другие); $z_{jl}^{\text{цел}}$ – целевые значения критериев удовлетворённости элементов множества W ; f_{jl}^W – функция удовлетворённости элементов множества W ; y_j^W – показатель удовлетворённости элементов множества W ; β_{jl}^W – весовой коэффициент, отражающий вклад значения функции удовлетворённости f_{jl}^W в значение показателя удовлетворённости y_j^W ; y^W – показатель удовлетворённости системы, рассчитанный относительно элементов множества W ; δ_j^W – весовой коэффициент, отражающий вклад показателя удовлетворённости y_j^W в значение общего показателя удовлетворённости системы y^W .

Таким образом, задача производственного планирования и распределения ресурсов предприятия методом сопряжённых взаимодействий в ПВ-сетях сводится у нахождению таких x_{ik}^{*A} и z_{jl}^{*W} , которые обеспечивают максимизацию общего критерия удовлетворённости системы:

$$y^{*A} = \max_{x_{ik}}(y^A), \quad (17)$$

$$y^{*W} = \max_{z_{jl}}(y^W). \quad (18)$$

Отличительной особенностью модифицированного метода адаптивного планирования является метод выявления потенциальных связей типа работа-исполнитель и работа-работа, предложенный автором, который учитывает специфику планирования НИОКР авиационной отрасли и позволяет устанавливать связи между объектами планирования в условиях широкой номенклатуры работ, изделий, высокой степени неопределённости, новизной выполняемых работ, непостоянством производственных процессов, что частично определяется непоточной формой организации производства, а также эмерджентным характером возникновения производственных потребностей.

Применение онтологического подхода в указанных условиях приводит к значительному повышению требований к скорости и объёму внесения информации об основных объектах планирования, в виде семантических описаний, в базу знаний предприятия. В качестве альтернативы предлагается рассмотреть вероятностный подход, основанный методах машинного обучения, связанных с применением искусственных нейронных сетей (ИНС). Данные методы ориентированы на решение задач классификации, прогнозирования, а также регрессионного и контекстного анализа путём обучения ИНС на заданном множестве входных и выходных параметров объектов репрезентативной выборки. В

качестве входных параметров предлагается использовать наименования работ, выполненных исполнителем, а также перечень нормативов и номенклатурных позиций, применяемых во время выполнения работы. При выявлении связей типа работа-работа в качестве дополнительных входных данных может быть использована информация о сроках и трудоёмкости работ, а также об отношении этих работ к проектам, договорам, этапам договоров, заказам и графикам работ.

В целях проведения практической части исследования, для оценки качества планирования предлагается использовать коэффициент качества планирования:

$$K_{\text{кп}} = a_1 K'_{\text{тп}} + a_2 \sum_{i=1}^n t''_{\text{pi}} + a_3 t_{\text{п}} + a_4 t_{\text{уч}}, \quad (19)$$

где t''_{pi} – время реакции системы планирования на изменение производственной ситуации по сценарию i ; $t_{\text{п}}$ – время формирования плана; $t_{\text{уч}}$ – время обучения ИНС ($t_{\text{уч}} = 0$ в случаях, когда ИНС не применяется).

Критерий качества планирования $K_{\text{кп}}$ учитывает время реакции системы планирования, время формирования плана и время обучения ИНС, и является важным показателем при выборе наиболее подходящей конфигурации ИНС.

В **третьей главе** приведены результаты статистического исследования системы производственного планирования «ОКБ Сухого», полученные в целях разработки средств производственного планирования работ по подготовке производства к выпуску новых видов авиационной техники. Результаты исследования были получены и обработаны с применением ПО, разработанным автором, и может быть использовано для анализа основных показателей системы планирования при исследовании, разработке, внедрении и развитии методов и средств производственного планирования авиастроительных предприятий.

Результаты анализа генеральной выборки объектов ИСУП, ИСКХВР, ИСОПП и ИСМТО отражают объём обрабатываемой информации, и должны учитываться при разработке, внедрении и развитии средств планирования, для оценки производительности и нагрузки на информационную систему.

При исследовании малой выборки данных ИСУП было установлено снижение точности определения длительности и трудоёмкости работ ПП (Рисунок 3). Большая часть работ имеет длительность, кратную 1 месяцу, а наибольшее количество работ имеет длительность 1 год. Частично, характер полученного распределения связан с привязкой сроков работ ПП к срокам этапов договоров, которые относятся к стратегическому уровню планирования, и с периодичностью выпуска и корректировки ПП, однако, это не объясняет причин снижения точности плановых показателей. Наблюдается округление плановой трудоёмкости до значений, кратных 50 и 100 чел. ч. Это не соответствует продолжительности рабочего дня исполнителей, мощности подразделений и длительности работ. Среднее время корректировки ПП составило 14 календарных дней. На момент исследования связи между работами отсутствуют.

Анализ отчётов о ходе выполнения работ в ИСКХВР показал, что округление значений длительности и трудоёмкости, как и продолжительное время реакции системы планирования, связано с большим объёмом учитываемых данных и значительным количеством операций, которые сотрудники плановых

и диспетчерских подразделений выполняют при корректировке ПП. При возникновении незначительных отклонений от ПП предприятия, например, при отклонении фактических сроков одной из работ ПП от плановых, для актуализации ПП в целом необходимо осуществить анализ влияния указанных изменений на всю совокупность выполняемых работ с учётом перераспределения загрузки исполнителей и производственного оборудования в плановом периоде.

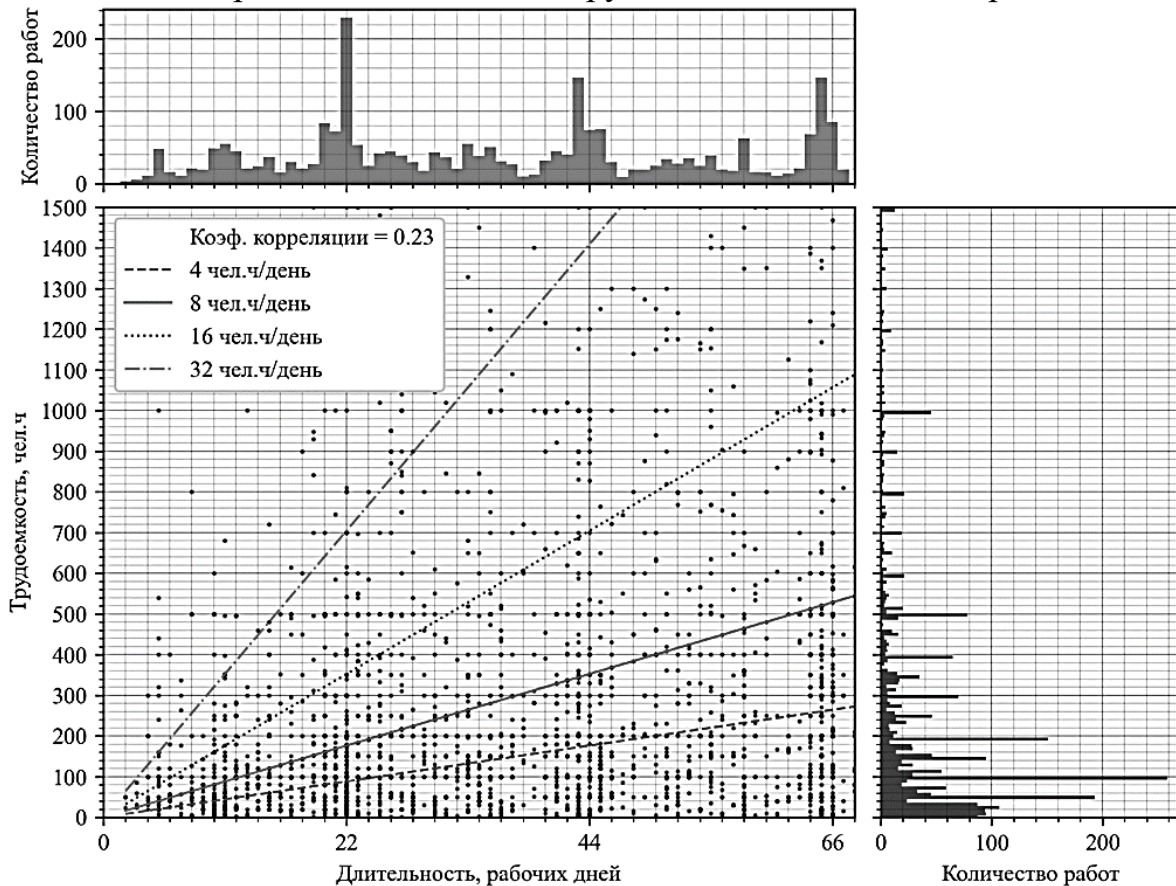


Рисунок 3 – Корреляция между трудоёмкостью и длительностью работ ПП

Данная задача является крайне трудоёмкой при использовании стандартного ПО, применяемого в планировании, поскольку расчёты длительностей, сроков работ и загрузки исполнителей и оборудования не могут быть автоматизированы из-за отсутствия связей между работами ПП. Указанные параметры рассчитываются пользователями вручную для каждой отдельной работы, проекта и ресурса, что с учётом большого количества объектов и итераций планирования приводит к снижению точности определения указанных параметров. Статистическое исследование операций, выполняемых сотрудниками плановых подразделений показало, что отсутствие связей типа предшественник-последователь между работами ПП также вызвано указанными особенностями. Аналогичная ситуация наблюдается при анализе малой выборки объектов ИСОПП на оперативном уровне планирования. Среднее количество корректировок сроков и трудоёмкости работ графиков составило 2870 в месяц. При каждой корректировке проходит процесс согласования отчёта о ходе выполнения работы РГ, план-отчётов подразделений, выполняются проверки соответствия показателей работы РГ показателям связанной с ней работы ПП, что в дальнейшем учитывается при корректировке ПП предприятия и плана МТО.

Анализ малой выборки объектов ИСМТО (Рисунок 4) показал, что в преобладающем количестве случаев заявки на выдачу ТМЦ в производство



Рисунок 4 – Полная длительность цикла МТО

формируются с существенным запаздыванием относительно дат планового начала работ ПП. Основные потери времени, которые возникают при утверждении МЗ и выдаче ТМЦ в производство возникают из-за отсутствия актуальной информации о заменах связей между МЗ и работами ПП в информационных системах. Это приводит к значительному увеличению длительности проверок, накоплению ошибок отнесения МЗ к работам ПП, и требует постоянной ручной актуализации данных. Данная проблема усугубляется непрерывным изменением ПП, высокой степенью неопределенности, свойственной НИОКР, и широкой номенклатурой уникальных ТМЦ, используемых в опытном производстве авиационной техники. С точки зрения организации цикла МТО это означает, что службы снабжения готовятся к мероприятиям, не соответствующим текущей производственной ситуации.

С учётом полученных результатов предложены архитектура (Рисунок 5), принцип действия, основные типы программных агентов и функциональные

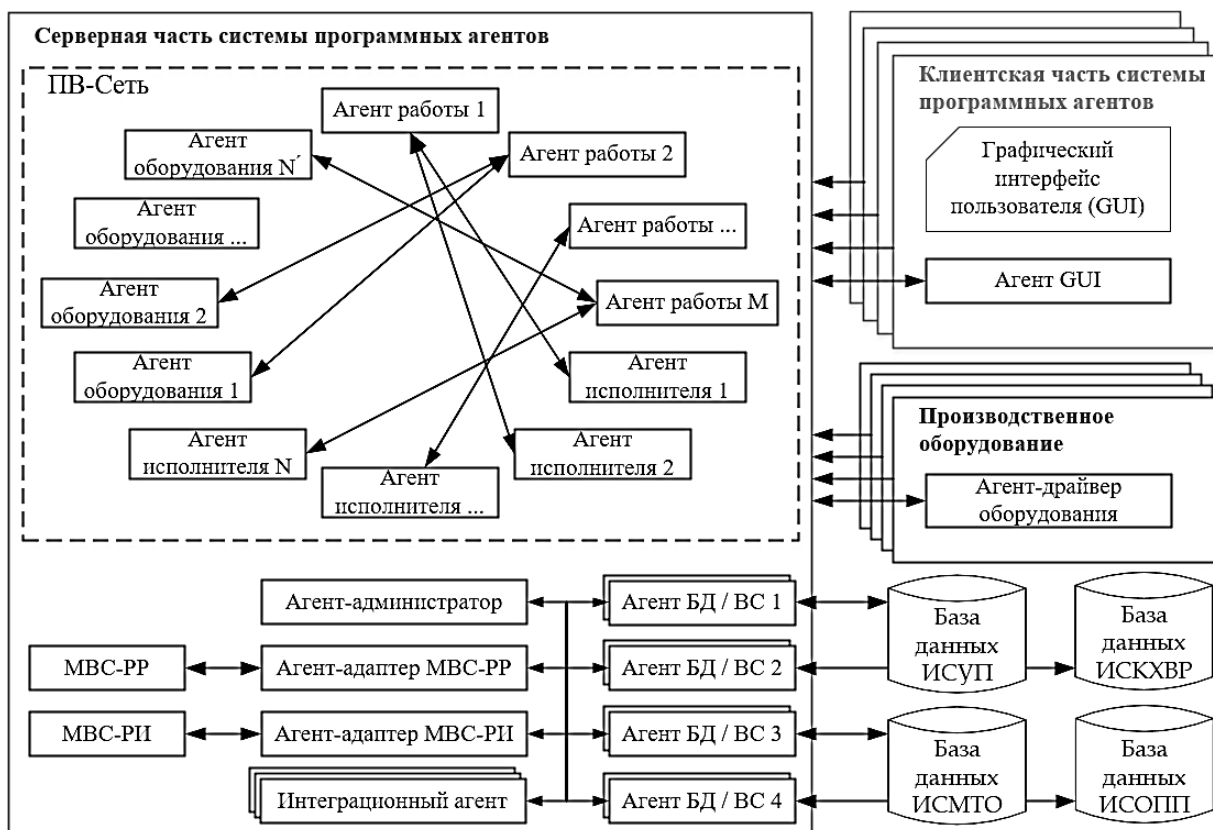


Рисунок 5 – Предлагаемая архитектура многоагентной системы

требования, предъявляемые к многоагентной системе, реализующей модифицированный метод адаптивного планирования, и предлагаемой в качестве основного средства производственного планирования при выполнении НИОКР, связанных с созданием новых образцов авиационной техники.

Предложен механизм выявления связей типа работа-исполнитель и работа-работа (Рисунок 6), который предусматривает возможность применения онтологического подхода, и позволяет использовать количественный показатель, отражающий степень соответствия квалификации и специализации исполнителей требованиям со стороны работы, для вычисления значений функций удовлетворённости программных агентов ПВ-сети в процессе установления связей.

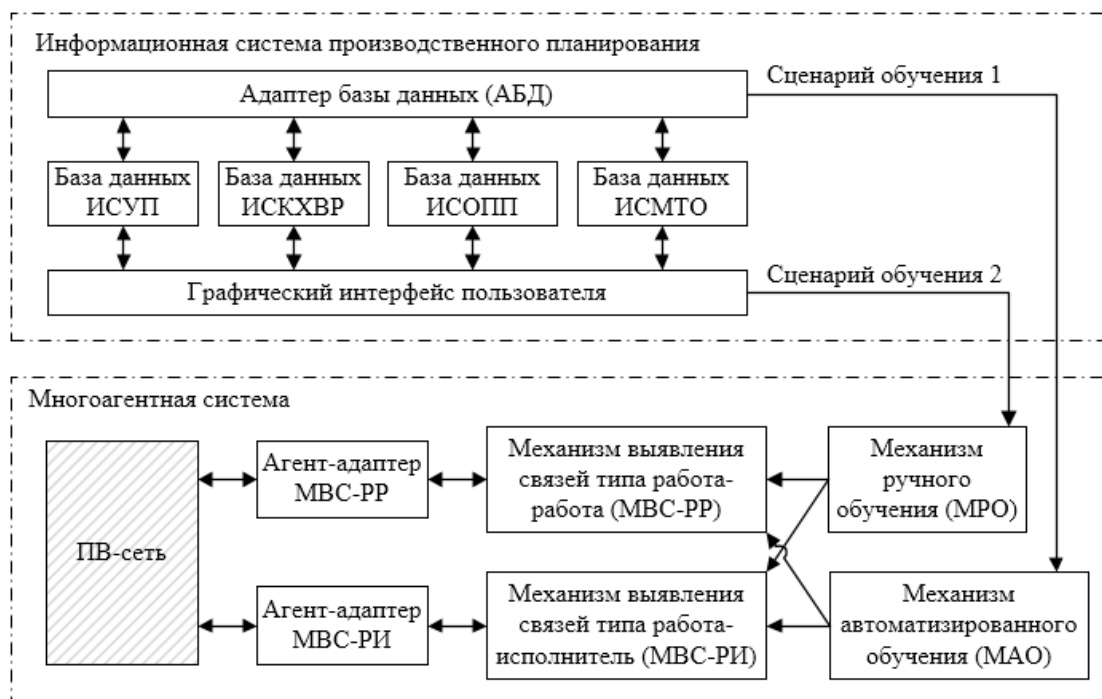


Рисунок 6 – Схема механизма выявления связей между объектами системы

В четвертой главе рассмотрены вопросы программной реализации и результаты внедрения предлагаемого метода и средств планирования. Помимо этого, с учётом результатов проведённого системного анализа существующей системы производственного планирования авиастроительного предприятия, были сформулированы основные этапы внедрения предлагаемого метода и средств планирования в эксплуатацию на авиастроительном предприятии.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В ходе проведенного исследования получены следующие выводы и результаты:

1. В процессе исследования был проведен анализ особенностей производственного планирования, имеющих место при выполнении НИОКР в области разработки и создания новых видов авиационной техники. В качестве основных особенностей были отмечены: длительность проектов НИОКР в области авиастроения, высокая степень неопределённости, техническая сложность изделий, приводящая к высокой степени детализации работ, наличие требований слаженного взаимодействия большого числа узкоспециализированных кадров высокой квалификации, участие большого количества смежных организаций, непоточная

форма организации опытного производства, директивный характер планирования, повышенная длительность закупочного процесса при выполнении проектов государственного заказа, а также повышенные требования к безопасности и импортозамещению ПО.

2. Анализ существующих методов и средств, применяемых в области календарного планирования и управления проектами показал, что в настоящее время отсутствуют специализированные методы и средства, учитывающие специфику календарного планирования работ по подготовке производства к выпуску новых видов авиационной техники. Дальнейший анализ показал, что, с учётом описанной специфики, наиболее подходящим методом планирования является адаптивный метод планирования, основанный на методы сопряжённых взаимодействий в ПВ-сетях. Однако онтологический подход, применяемый при реализации данного метода, требует явного и полного описания каждого объекта планирования, что не позволяет применить данный метод в указанных условиях.

3. В ходе исследования был проведён статистический и системный анализ системы производственного планирования «ОКБ Сухого». Проведён причинно-следственный анализ особенностей планирования НИОКР в области авиастроения. Было выявлено, что отсутствие оперативного обмена данными между подсистемами системы производственного планирования, несоответствие применяемых методов и средств планирования специфике решаемой задачи, а также повышенная сложность задачи планирования приводят к возникновению ряда негативных эффектов, связанных с увеличением времени реакции системы планирования на изменение производственной ситуации, снижению точности вычислений при определении плановых показателей работ, рассогласованием совместной деятельности исполнителей, несвоевременному обеспечению потребностей производства и значительному отклонению реальной загрузки исполнителей от плановой по мере изменения производственной ситуации.

4. С учётом полученных результатов был предложен модифицированный метод адаптивного планирования, включающий механизм выявления связей типа работа-работа и работа-исполнитель, основанный на применении методов машинного обучения, и связанный с применением искусственных нейронных сетей, вместо онтологического подхода.

5. Для оценки времени реакции системы производственного планирования на изменение производственной ситуации был разработан метод, учитывающий специфику авиастроительного предприятия и применяемого программного обеспечения. Помимо этого, данный метод позволяет учитывать время реакции исполнителя; время ввода данных в информационную систему; время обработки данных; время формирования выходных данных и их последующий вывод; время утверждения новых версий планов, графиков, и документов, корректирующих производственное расписание, время их доведения до исполнителей, а также время, затрачиваемое на конвертацию и транспортировку при передаче данных между подсистемами системы производственного планирования, как в ручном, так и в автоматическом режиме.

6. С целью апробации модифицированного метода адаптивного планирования в реальных условиях опытного производства авиационной техники, были

разработаны средства производственного планирования, реализованные в виде комплекта ПО, и представляющие собой многоагентную систему; а также алгоритм поэтапного внедрения предлагаемого метода планирования на предприятиях, выполняющих работы по созданию новых образцов авиационной техники. Указанная многоагентная система и алгоритм поэтапного внедрения учитывают особенности производственного планирования, имеющих место при проведении НИОКР в области авиастроения, результаты статистического исследования системы производственного планирования авиастроительного предприятия и разработаны с учётом требований, предъявляемых в рамках программы импортозамещения, и требований к безопасности ПО.

7. Предложены критерии точности и качества планирования, которые позволяют учитывать горизонт планирования, время планирования, а также время, затрачиваемое на подготовку и обучение ИНС. В процессе внедрения модифицированного метода адаптивного планирования было установлено, что данные критерии являются показательными на завершающих этапах внедрения при тестировании на полном множестве проектов, работ и исполнителей предприятия.

8. Предлагаемый метод адаптивного планирования был внедрён и апробирован в реальных производственных условиях авиастроительного предприятия. Результаты внедрения показали, что предложенный метод адаптивного производственного планирования позволяет существенно сократить время реакции системы планирования на изменение производственной ситуации, потери, связанные с излишними перемещениями и простоем производства, а также повысить согласованность совместной деятельности исполнителей, при его внедрении на предприятиях, выполняющих НИОКР по созданию новых образцов авиационной техники.

Рекомендации и перспективы дальнейшего исследования

Одним из направлений развития многоагентных систем в качестве средств производственного планирования в области разработки и производства новых видов авиационной техники, является горизонтальное масштабирование данного класса систем до уровня совместного использования в рамках группы смежных организаций. Интерес для исследования представляют вопросы синхронизации и повышения слаженности совместной деятельности, а также материально-технического обеспечения, цепочек поставки ТМЦ и ПКИ между смежными организациями. Предложенная многоагентная система является имитационной моделью производства предприятия. Варианты производственного расписания, сформированные с помощью указанных средств, отражают возможности реального производства. Таким образом, предложенные средства производственного планирования позволяют оценить реализуемость производственной программы с учётом возможностей конкретного производства, что представляет интерес для дальнейшего исследования. Механизм, позволяющий оценить реализуемость производственной программы, может быть включен в многоагентную систему в качестве её отдельного модуля. Отдельный интерес представляет направление исследования и развития МАС, связанное с определением предварительной стоимости, сроков реализации и трудоёмкости проектов НИОКР.

В качестве потенциальных направлений дальнейших исследований и развития МАС могут быть рассмотрены следующие варианты применения ИНС и других методов, связанных с машинным обучением:

- прогнозирование сроков и трудоёмкости работ;
- прогнозирование загрузки исполнителей, оборудования и подразделений;
- выявление вероятности и дистанции срыва сроков работ.

Создание инструментов прогнозирования позволит предупредить и минимизировать негативно-воздействующие факторы, что, в конечном счёте, позволит повысить качество процесса планирования и сократить потери при создании новых образцов авиационной техники.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Васильев, В. А. Использование информационных технологий при интеграции системы менеджмента качества предприятия с требованиями смежных стандартов / В. А. Васильев, Ю. В. Вельмакина, А. Б. Майбородин, С. В. Александрова // *Технология металлов*. – 2019. – № 9. – С. 41-47. – DOI 10.31044/1684-2499-2019-9-0-41-47.
2. Васильев, В.А. Исследование особенностей материально-технического обеспечения при организации работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники / В. А. Васильев, А. Б. Майбородин, М. И. Кулаков, С. В. Александрова // *Качество. Инновации. Образование*. – 2021. – № 3(173). – С. 88-94. – DOI 10.31145/1999-513x-2021-3-88-94.
3. Майбородин, А. Б. Исследование особенностей календарного планирования и организации работ по подготовке производства к выпуску новых образцов авиационной техники / А. Б. Майбородин, К. Д. Крамаренко, В. А. Васильев // *Технология машиностроения*. – 2021. – № 9. – С. 51-57.

Публикации в изданиях, входящих в наукометрические базы Web of Science и Scopus

4. Vasiliev, V. A. Machine learning technology as a solution of the resource assignment spread issue in research and development projects / V. A. Vasiliev, A. B. Mayborodin, X. D. Kramarenko // *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2020, Yaroslavl: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020*. – P. 310-312. – DOI 10.1109/ITQMIS51053.2020.9322991.
5. Vasiliev, V. A. Multi-agent Programming Technology as the Instrument of Operational Management Systems Implementation in Pilot Production / V. A. Vasiliev, A. B. Mayborodin, S. V. Aleksandrova, X. D. Kramarenko // *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019, Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019*. – P. 320-322. – DOI 10.1109/ITQMIS.2019.8928296.
6. Vasiliev, V. A. Using artificial neural networks when integrating the requirements of standards for management systems in QMS / V. A. Vasiliev, Y. V. Velmakina, A. B. Mayborodin // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems 2019, St. Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019*. – P. 012058. – DOI 10.1088/1757-899X/666/1/012058.

Статьи и тезисы докладов, опубликованные по материалам конференций

7. Майбородин, А. Б. Анализ информационных систем управления проектами с учетом специфики планирования опытно-конструкторских работ // *Управление качеством* :

избранные научные труды Семнадцатой Международной научно-практической конференции, Москва, 15–16 марта 2018 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018. – С. 259-263.

8. Майбородин, А. Б. Исследование динамики корректировки производственной программы авиационного предприятия как фактора качества продукции // Управление качеством : избранные научные труды Девятой Международной научно-практической конференции, Москва, 11–12 марта 2021 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2021. – С. 251-255.

9. Майбородин, А. Б. Особенности оперативного планирования опытного производства новых образцов авиационной техники // Тезисы 19-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика», Москва, 23–27 ноября 2020 года. – М.: Изд. "Перо", 2020. – С. 890-891.

10. Майбородин, А. Б. Оценка качества календарно-сетевое планирования при внедрении искусственных нейронных сетей в информационные системы управления проектами / А. Б. Майбородин, О. Д. Ломинаго // 18-я Международная конференция "Авиация и космонавтика - 2019" : Тезисы, Москва, 18–22 ноября 2019 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 284-285.

11. Майбородин, А. Б. Оценка качества календарно-сетевое планирования при внедрении искусственных нейронных сетей в информационные системы управления проектами / А. Б. Майбородин, О. Д. Ломинаго, В. А. Васильев // Идеи и новации. – 2020. – Т. 8. – № 3-4. – С. 172-179. – DOI 10.48023/2411-7943_2020_8_3_4_172.

12. Майбородин, А. Б. Повышение качества планирования опытно-конструкторских работ на машиностроительных предприятиях // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 23–24 ноября 2017 года. – М.: Изд. "Перо", 2017. – С. 379-381.

13. Майбородин, А. Б. Применение методов машинного обучения для решения задачи оптимизации распределения ресурсов в проектах ОКР / А. Б. Майбородин, К. Д. Крамаренко // Управление качеством : избранные научные труды Восемнадцатой Международной научно-практической конференции, Москва, 14–15 марта 2019 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2019. – С. 209-214.

14. Майбородин, А. Б. Применение программных агентов при внедрении информационных систем оперативного управления производством в опытном производстве / А. Б. Майбородин, К. Д. Крамаренко // Управление качеством : избранные научные труды Девятнадцатой Международной научно-практической конференции, Москва, 12–13 марта 2020 года. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – С. 152-156.

Охранные документы

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021614337 Российская Федерация. Программа для анализа основных показателей календарного планирования проектов НИОКР авиастроительной отрасли / А.Б. Майбородин, В.А. Васильев, С.В. Александрова. – № 2021613224 : заявл. 10.03.2021 : опубл. 23.03.2021. – 1 с.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 20200660750 Российская Федерация. WLPlanner / А.Б. Майбородин, М.И. Кулаков. – № 2020619908 : заявл. 25.08.2020 : опубл. 10.09.2020. – 1 с.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022664259 Российская Федерация. WLPlannerReports (сервер) / А.Б. Майбородин. – № 2022664259 : заявл. 15.07.2022 : опубл. 27.07.2022. – 1 с.

Учебные пособия

18. Васильев, В.А. Использование MS Project при модернизации производственных систем и внедрении СМК : учебное пособие / В.А. Васильев, А.Б. Майбородин. – М.: Изд-во МАИ, 2021. – ISBN 978-5-4316-0812-4. – 92 с.: ил.

МАЙБОРОДИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА К ВЫПУСКУ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ АВИАЦИОННОЙ
ТЕХНИКИ

Автореф. дисс. на соискание учёной степени
кандидата тех. наук.

Подписано в печать 26.11.2022
Формат 60×90/16. Тираж 100 экз.
Усл.печ.л. - 1