

На правах рукописи



Колесникова Ольга Валерьевна

**РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДИСКРЕТНЫМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА
ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА УПРАВЛЕНИЯ**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Комсомольск-на-Амуре

2016

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Управление современным предприятием – процесс сложный, требующий принятия управленческих решений в сжатые сроки, основываясь на анализе большого объема информации. При этом весьма высока цена ошибки управления.

Для большинства предприятий машиностроительных отраслей характерна дискретность выполнения работ, многономенклатурность, а также мелкосерийный или единичный характер производства. Повторяемость выпуска изделий здесь зачастую не регулярна, а иногда отсутствует полностью.

Ввиду достаточно большого количества разноплановых технологий, большого разнообразия поставщиков материалов и комплектующих и необходимости увязки между собой всех процессов предприятия, с точки зрения управления этот вид производства можно отнести к сложным динамичным системам.

Поэтому поиск эффективных методов управления, организации машиностроительного производства, методов построения автоматизированных систем управления производством – актуальная задача. Создание на научной основе системы управления производством, интеграция в единую систему сбора и обработки данных и оперативного управления повышает качество и эффективность всех звеньев машиностроительного производства.

Исследования в области подготовки производства, планирования и организации управления проводили как российские, так и зарубежные ученые: Грачева К.А., Гаврилов Д.А., Елисеев В.Г., Загиддулин Р.Р., Скворцов Ю.В., Фатхутдинов Р.А., Фролов Е.Б., Питеркин С.В., Кунц Г., О’Доннел С., Мильнер Б.З., Мауэргауз Ю.Е. и другие.

Постановке и решению задач планирования в производстве с использованием классических методов математического программирования, теории графов и сетей были посвящены работы С. А. Ашманова, Р. Беллмана, Е. С. Вентцель, А. Ф. Горшкова, Л. В. Канторовича, В. Г. Карманова, Н. Кристофидеса и других авторов.

Разработке вопросов теории расписаний были посвящены исследования А.А. Баранова, П. Брукера, Р. В. Конвея, Д.В. Красовского, А.А. Лазарева, В. Л. Максвелла, Л. В. Миллера, Е.В. Панкратьева, В. С. Танаева и других авторов.

Данные работы явились основой для дальнейших исследований, представленных автором в своей работе.

Несмотря на обширные исследования многие вопросы, особенно связанные с управлением многономенклатурным дискретным производством, остаются нерешенными. Огромный объем информации, который необходимо учесть и переработать требует использования вычислительной техники и информационных

систем. Однако имеющиеся на сегодняшний день информационные системы не могут эффективно использоваться из-за неполноценной (информационно недостаточной) технологической подготовки производства, а так же из-за различий технологии подготовки производства в России и за рубежом.

Объектом исследования являются процесс подготовки производства, методы и средства управления производством на машиностроительных предприятиях.

Предмет исследования – теоретические положения, принципы, методы и средства управления дискретным (мелкосерийным и единичным) машиностроительным производством.

Цель и задачи диссертационной работы. Цель диссертационного исследования состоит в разработке методов для повышения эффективности управления дискретным машиностроительным производством с мелкосерийным и единичным характером на основе необходимого и достаточного информационного обеспечения.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи**:

1. Разработка функциональной модели подготовки производства с централизованным синхронизирующим звеном, обеспечивающим интеграцию планов структурных подразделений предприятия в единый план производства (единый вектор управляющего воздействия).

2. Разработка обобщенной структурно-параметрической модели информационного пространства управления включающую необходимую и достаточную информацию для планирования производства.

3. Разработка методов, моделей и алгоритмов формирования планов выполнения производственных заказов с учетом реального состояния загрузки технологических мощностей предприятия.

4. Интеграция разработанных моделей и алгоритмов в единую автоматизированную систему синхронного управления ресурсами предприятия.

Методология и методы исследования. В процессе выполнения работы использовалась методология инженерно-технической (конструкторско-технологической) и планово-производственной подготовки производства с применением методов структурно-параметрического моделирования, теории управления, теории расписаний, теории графов, теории алгоритмов, объектно-ориентированного программирования. Для проверки адекватности и эффективности разработанных моделей и алгоритмов активно использовались возможности компьютерного моделирования с апробацией результатов в производственных условиях.

Научная новизна результатов исследования состоит в следующем:

1. Предложена модель интегрированной системы управления подготовкой производства, обеспечивающей синхронизацию взаимодействия служб предприятия.

2. Разработан метод формирования расписания для многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства с учетом отношений предшествования и реальной загрузки мощностей предприятия, обеспечивающий решение для изделий с размерностью превышающей несколько тысяч деталей-сборочных единиц.

3. Разработан алгоритм определения порядка изготовления деталей-сборочных единиц «Опадающие листья» основанный на послойном «срезании» листьев дерева электронной структуры изделия и ранжирования «срезаемой» группы листьев по длине пути изготовления, позволяющий начинать планирование с деталей-сборочных единиц критического пути, что обеспечивает минимизацию технологического цикла изготовления изделия.

4. Предложен механизм динамического моделирования производственных планов в условиях частичной неопределенности потенциальных заказов.

Теоретическая значимость работы. Полезность результатов исследования состоит в следующем:

1. Разработанный метод формирования расписаний служит теоретической основой для разработки инструментов планирования дискретного машиностроительного производства с многономенклатурным мелкосерийным характером.

2. Предложенные модели и механизмы управления подготовкой производства составляют теоретическую и методологическую базу для построения систем управления на машиностроительных предприятиях с мелкосерийным характером производства.

3. Разработанные алгоритмы могут быть использованы для построения программных модулей в различных системах планирования и управления для производственных предприятий с дискретным характером не машиностроительного профиля.

Практическая полезность работы.

1. Разработана «Интегрированная система синхронного управления ресурсами предприятия» (ИСУПП) (Integrated system of simultaneous enterprise resource planning - ISERP) на платформе отечественной разработки 1С:УПП.

2. На производственном предприятии с мелкосерийным и единичным характером адаптирована и внедрена система класса ERP на отечественной платформе 1С:УПП, что обеспечило основу для существенного повышения качества выпускаемой продукции, эффективности производства и сокращения технологических циклов изготовления продукции.

3. Практическая апробация и результаты эксплуатации разработанной «Интегрированной системы синхронного управления ресурсами предприятия» на реальном промышленном производственном предприятии создают предпосылки для тиражирования и внедрения на предприятиях с серийным, мелкосерийным и единичным характером производства в области машиностроения.

4. Наличие указанной системы на отечественной широко распространенной платформе 1С: обеспечивает замещение зарубежных программных продуктов отечественными разработками.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель интегрированной системы управления подготовкой производства, обеспечивающая синхронизацию взаимодействия служб предприятия.

2. Метод формирования расписания для многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства с учетом отношений предшествования и реальной загрузки мощностей предприятия, обеспечивающий решение для изделий с размерностью превышающей несколько тысяч детали-сборочных единиц.

3. Алгоритм определения порядка изготовления детали-сборочных единиц «Опадающие листья» основанный на послойном «срезании» листьев дерева электронной структуры изделия и ранжирования «срезаемой» группы листьев по длине пути изготовления, позволяющий начинать планирование с детали-сборочных единиц критического пути, что обеспечивает минимизацию технологического цикла изготовления изделия.

4. Механизм динамического моделирования производственных планов в условиях частичной неопределенности потенциальных заказов.

Степень достоверности и апробация работы. Основные результаты проведенных исследований представлены на научно-практических конференциях и семинарах 2013-2016гг.: 9-я Международная научно-практическая конференция «Достижения высшей школы», София, 2013г.; XXXVIII Международная научно-практическая конференция «Технические науки – от теории к практике», Новосибирск, 2014г.; Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы технических наук», Уфа, 2015г.; Международная научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы развития технических наук», Уфа, 2015г., II Международная научно-техническая конференция «Наука, техника, инновации», Брянск, 2015г.; научно-технический совет электротехнического факультета КНАГТУ, 2016г.

Основные положения диссертационного исследования **внедрены в практику**: на предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр» внедрена и используется система управления подготовкой производства; модифицированная система 1С:УПП, реализующая формирование информационного конструкторско-

технологического пространства – «Акт внедрения» от 04.10.2014г., алгоритм планирования «Опадающие листья» – «Акт внедрения» от 20.11.2014г., интегрированная система управления ресурсами предприятия – «Акт внедрения» от 31.07.2015г.; в учебном процессе при подготовке кадров высшей квалификации образовательной программы 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства» по дисциплине «Технология подготовки производства» ДВФУ.

Публикация результатов работы. По диссертационному исследованию опубликовано 14 научных статей, общим объемом 5 п.л., учебное пособие объемом 6 п.л., 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работы содержит 164 страницы текста, 29 таблиц и 56 рисунков. Список литературы содержит 92 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткая характеристика исследований, проводимых в области организации, планирования и управления технической подготовкой производства, существующих автоматизированных систем управления подготовкой производства, раскрывается проблематика работы и показывается ее актуальность. Формулируются цель и основные задачи исследования. Рассматривается научная и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрена роль подготовки производства и ее состояние на современных предприятиях. Отмечено, что подготовке производства, особенно на предприятиях с мелкосерийным и единичным характером производства уделяется недостаточно внимания. Проведенный анализ имеющихся разработок показал, что, несмотря на большое количество публикаций и разработок (Баранов А.А., Безгинов А.Н., Гаврилов Д.А., Елисеев В.Г., Ковальский В.И., Конвей Р.В., Кулопулос Т.М., Мауэргауз Ю.Е., Фролов Е.Б., Питеркин С.В. и др.) тема подготовки и планирования дискретного производства остается актуальной. Большой объем необходимой для подготовки производства и планирования информации, сложность задач организации и управления производством говорит о необходимости применения информационных технологий.

Несмотря на достаточно большое количество имеющихся на рынке программного обеспечения преимущественно зарубежных информационных систем разных классов (ERP, MES, MRP II, APS и др.), применение их затруднено или вообще невозможно из-за различий в подходах и технологии подготовки производства.

Во второй главе рассмотрена общая схема управления дискретным машиностроительным производством. Модель производства (рисунок 1)

представлена в виде взаимодействия системы (устройства) управления (СУ) и объекта управления (ОУ), которая соответствует системам программного управления.

В этом случае система управления (СУ) представляет собой совокупность элементов (подразделений) разрабатывающих план организации производственного процесса. Объектом управления является производство, задача которого – реализация выработанных системой управления технологических процессов. Управляющее воздействие $P(T,R,O)$ по сути «программа», представляется в виде производственного плана.

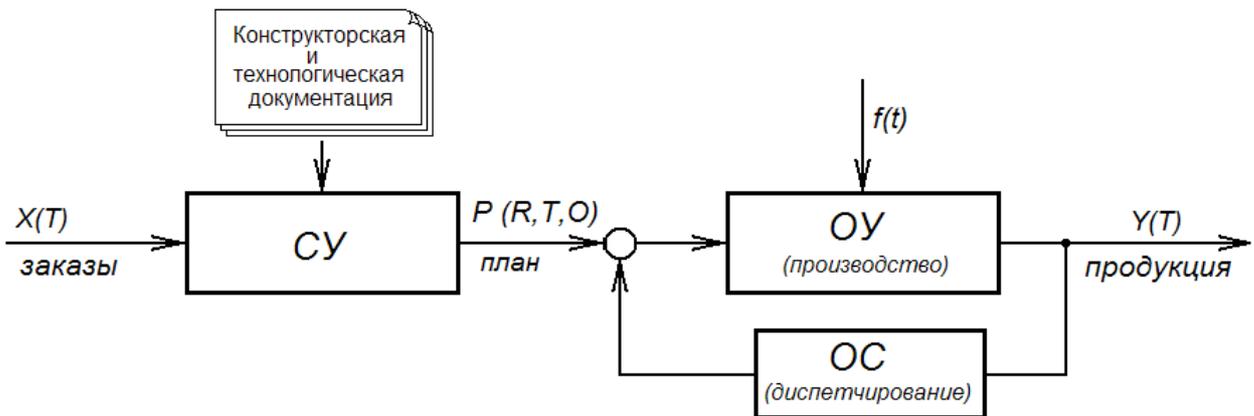


Рисунок 1. Структурная схема модели производства

Производственный план $P(T,R,O)$ в данном контексте представляется совокупностью графиков загрузки каждого рабочего места выполнением определенных технологических операций $P := \{p_{r_1}, p_{r_2}, \dots, p_{r_m}\}$. В такой модели план можно представить как функцию трех параметров: времени, рабочего места и размещения технологических операций $P = P(T, R, O)$,

где T – время занятости рабочего места;

R – множество рабочих мест;

O – множество технологических операций.

Тогда план представляет собой многомерный вектор, каждая компонента которого содержит план загрузки отдельного рабочего места выполнением определенных технологических операций.

$$P := \begin{pmatrix} p_{r_1} = f(t_{r_1}, o_{r_1}) \\ p_{r_2} = f(t_{r_2}, o_{r_2}) \\ \dots \\ p_{r_n} = f(t_{r_n}, o_{r_n}) \end{pmatrix}$$

Основной задачей системы управления предприятием является формирование вектора эффективного управляющего воздействия. Решение этой задачи возможно при разработке комплекса вопросов:

- 1) построении эффективной функциональной структуры;
- 2) сбора необходимой и достаточной информации для планирования;
- 3) использовании эффективных методов и алгоритмов формирования управляющего воздействия.

Для решения первого вопроса в работе проведен анализ функциональной структуры машиностроительных предприятий с мелкосерийным и единичным характером производства.

Традиционно структура управления машиностроительных предприятий строится аналогично структуре любой среднестатистической компании, включающей коммерческую службу, службу снабжения, финансовую службу, экономическую службу, производственную (основную) службу.

Поэтому необходимо согласовать (синхронизировать) отдельные частные планы работы указанных служб. Тогда

$$P(R, T, O) \supset \begin{array}{c} \vdots P^e (E, t_i) \\ \vdots P^m (M, t_i) \\ \vdots \dots\dots\dots \\ \vdots P^f (F, t_i) \end{array}$$

где P^e – план работы экономической службы;
 P^m – план работы службы материально технического снабжения;
 P^f – план работы финансовой службы;

В работе постулируется, что модель управления предприятием зависит от выполняемых функций. Исходя из этого, предлагается представить модель в виде совокупности функций, связанных определенной структурой для целенаправленного преобразования материальных, информационных и финансовых потоков. В соответствии с этой концепцией модель существующей системы управления современным машиностроительным предприятием можно представлена в виде модели, изображенной на рисунке 2.

Анализ функциональной структуры системы управления машиностроительными предприятиями позволил выявить элементы, снижающие эффективность управления: повторение функции планирования практически во всех подразделениях, формирование несогласованных между собой планов структурных подразделений, разрозненность и противоречивость управляющих воздействий на объект управления.

Для согласования информационных потоков, с целью формирования единого управляющего воздействия предлагается система управления подготовкой производства с интегрированным элементом синхронизации (рисунок 3).

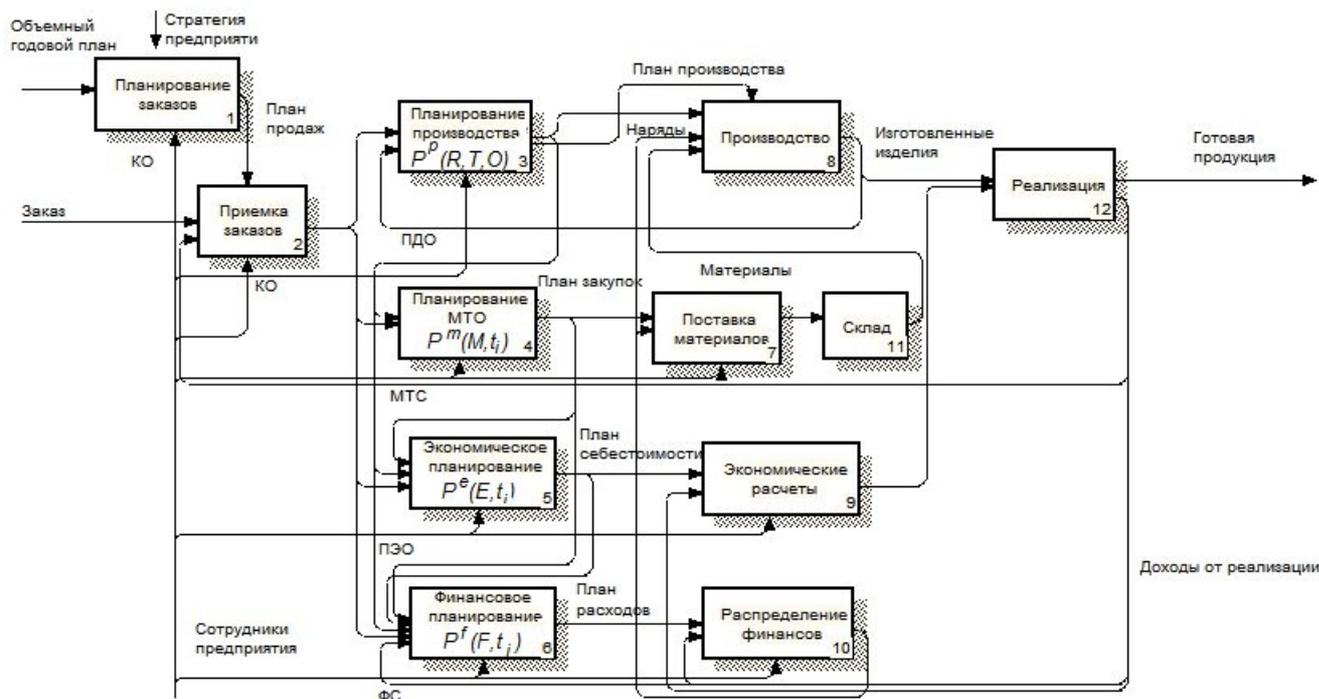


Рисунок 2. Модель системы управления производством с множественными локальными элементами управления

В отличие от известных вариантов «вытягивающих» систем производственной логистики (Голдратт Э.) в диссертации предлагается обеспечить синхронизацию технологических потоков введением элемента интегрированного комплексного планирования. Основным информационным ядром планирования является структурированный план распределения работ (детале-операций) по рабочим местам (рабочим центрам).

Узловой функцией (рисунок 3), преобразующей информационные потоки, является планирование. Здесь пересекаются и взаимодействуют практически все основные информационные потоки предприятия. В результате составления единого плана формируется единое управляющее воздействие на объект управления, что исключает повторение функции планирования в подразделениях предприятия, их несогласованность.

Принципиальным отличием в работе (в отличие от работ других авторов, например, Фролов Е.Б., Загидуллин Р.Р.) является наличие единого (интегрированного) элемента планирования, обеспечивающего синхронизацию частных планов работы всех ключевых служб предприятия.

С функциональных позиций блок планирования (моделирование и утверждение плана) является **центральным информационным синхронизирующим звеном** всей системы управления предприятием, поскольку именно здесь формируется информационное обеспечение (задания и технологии) для работы всех основных подразделений предприятия. С информационной и

алгоритмической точки зрения функция планирования представляется весьма непростой.

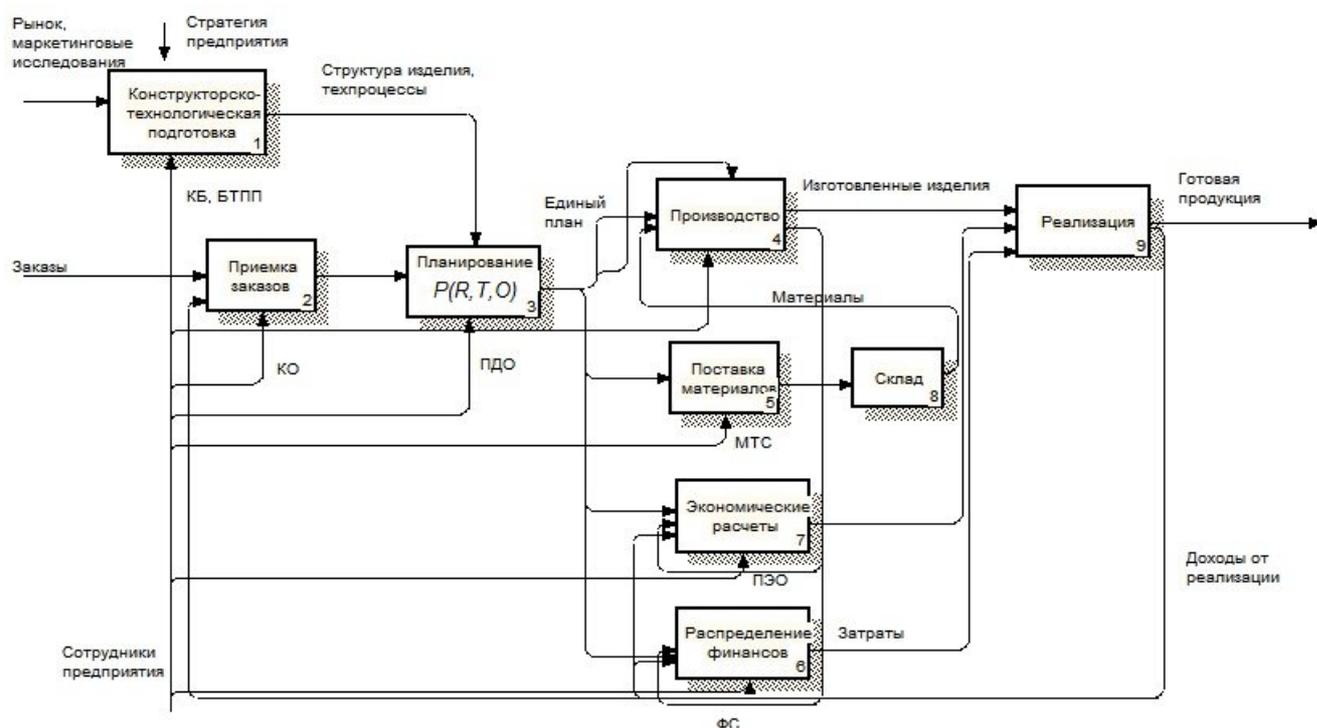


Рисунок 3. Модель системы управления производством с интегрированным элементом управления и синхронизации

Реализация предлагаемой системы управления предприятием требует определенной организации информационного пространства. Для аккумуляции всей необходимой и достаточной информации используемой при планировании разработана модель информационного пространства, основанная на конструкторско-технологической информации и информации о текущем состоянии объекта управления.

Для информационной «подпитки» планирования основными источниками являются конструкторская и технологическая информация, содержащая состав, структуру изделия и бизнес-процессы изготовления изделия и всех его элементов.

В формальном виде конструкторскую информацию о структуре изделия удобно представлять в виде ациклического ориентированного графа дерева, что соответствует электронной структуре изделия (ЭСИ) по ГОСТ 2.053–2006 (рисунок 4а).

Математически ориентированный граф G - это пара (V, E) , где V - конечное множество вершин (узлов, точек) графа $V := \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, а E - некоторое множество пар вершин $E := \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, т.е. подмножество множества $V \times V$ или бинарное отношение на V . Элементы E называют ребрами (дугами,

стрелками, связями). Для дуги $e_j = (v_i, v_{i+k}) \in E$ вершина v_i называется началом e_j , а вершина v_{i+k} - концом e_j , считается, что дуга e_j ведет из v_i в v_{i+k} .

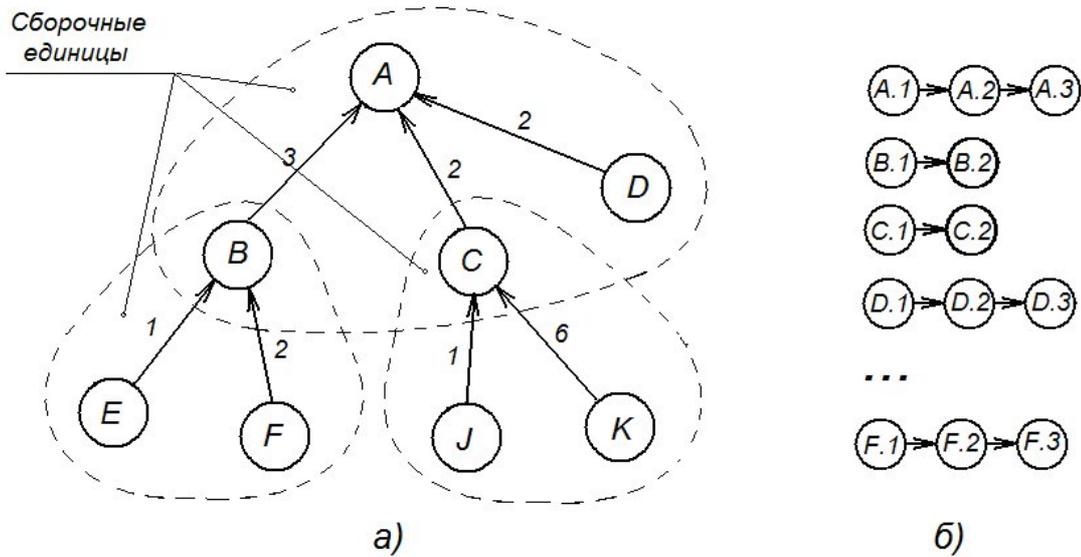


Рисунок 4. Формы представления: а) структуры изделия в виде графа-дерева; б) технологических процессов изготовления ДСЕ в виде цепи

Таким образом, формально любое изделие может быть представлено в виде графа $G(V, E)$, при этом состав изделия описывается параметрами множества V , отображающими множество детали-сборочных единиц (ДСЕ), а множество E содержит его структуру в виде описания отношений между ними.

В соответствии с ЕСКД любая конструкторская спецификация представляет собой список вершин смежных с одной вершиной, к которой направлены все дуги из указанного списка (рисунок 4а). Классификация вершин дерева по уровням позволяет выделить в дереве поддерево следующего вида: поддерево составляют вершины, инцидентные одной вершине, причем если уровень корня такого поддерева равен n , то уровень остальных вершин равен $n+1$.

$$G^k = (V^k, E^k) \in G(V, E): v_i^k \in V^k, e_j^k \in E^k, d(v_0, v_0^k) = n, \text{ и } d(v_0, v_i^k) = n+1$$

Определенное таким образом поддерево используется для описания спецификации сборочной единицы.

Аналогичным образом представляются цепочки операций в технологических процессах соответствующих каждой ДСЕ (рисунок 4б).

В общем виде технологический процесс изготовления любой ДСЕ состоит из цепочки технологических операций (бизнес-процессов), расположенных в строго определенной последовательности (рисунок 4б). Тогда формально его можно представить в виде ориентированного графа, в качестве вершин которого выступают технологические операции o_i , а отношения порядка задаются дугами e_j , (ребрами).

$$v_i \in V \setminus O_{v_i} \cap O, E_{v_i} : O_{v_i} := \{o_1, o_2, \dots, o_k\}, E_{v_i} := \{(o_1, o_2), (o_2, o_3), \dots, (o_{k-1}, o_k)\}$$

Иными словами процесс изготовления каждой детали-сборочной единицы v_i описывается технологическим процессом, состоящим из определенной последовательности технологических операций o_i , в которой следующая операция o_{i+1} может начинаться, только после завершения текущей (рисунок 4б).

В серийном, мелкосерийном и единичном производствах принята практика ограничения объема технологического проектирования с целью сокращения сроков технологической подготовки. Допускаемое ЕСТД маршрутное описание технологии, зачастую на практике интерпретируется как ориентировочное нечеткое перечисление технологических операций без какой-либо дальнейшей детализации. При этом априори предполагается, что сотрудники выполняющие работу «на местах» знают или догадываются о том, что и как необходимо выполнять. На практике это оказывается крайне неэффективной тратой сил и времени, поскольку с одной стороны порождает неоднозначность в ходе выполнения работ, а с другой неопределенность при подготовке и планировании этих работ.

Корректная организация эффективной сквозной подготовки производства возможна только при необходимом и достаточном информационном обеспечении. Для этого в настоящей работе предлагается выполнять технологическую подготовку с уровнем детализации технологических процессов не ниже описания технологической операции с указанием норм времени и норм расхода материалов, требуемого оснащения приспособлениями, инструментами и средствами измерения.

Используя форму представления структуры изделия в виде графа дерева, и представление технологии в виде цепи сформирована «конструкторско-технологическая структура изделия». Такая структура представлена в виде графа работ, который получается из электронной структуры изделия заменой вершин (ДСЕ) последовательностями технологических операций (рисунок 5).

В результате такой компоновки с учетом раскраски вершин графа формируется процессно-ориентированная производственно-технологическая информационная структура ремонтируемого или изготавливаемого изделия.

Основным и важнейшим преимуществом такой структуры является информативная достаточность для выполнения дальнейших планово-организационных действий.

В третьей главе описаны методы и алгоритмы моделирования планов (расписаний) для организации совокупности производственных служб с синхронизацией их взаимодействия.

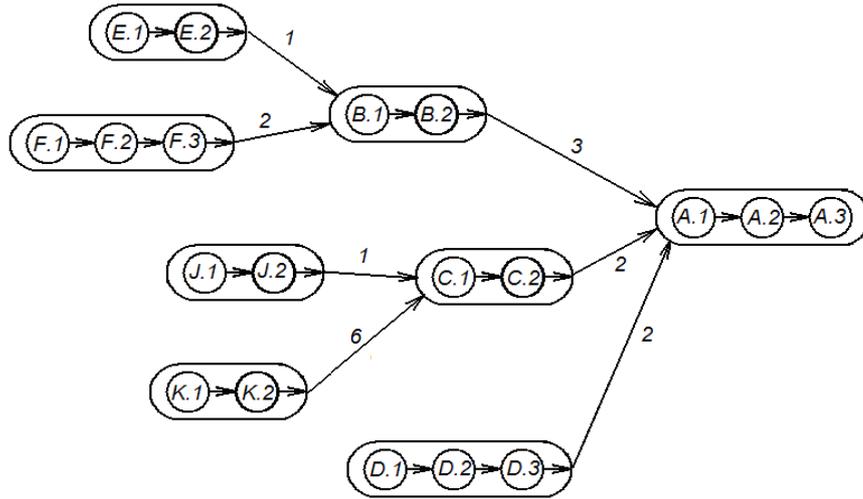


Рисунок 5. Граф конструкторско-технологической структуры для изделия, изображенного на рисунке 4

В современных MRP-II, MES и APS системах планирование начинается с заранее заданного срока выполнения заказа и выполняется в обратном порядке начиная от заданной к текущей дате (по временной шкале - в прошлое).

При таком подходе возможно возникновение ситуации, когда не хватает временного интервала для выполнения заказа (рисунок 6). В таких случаях определяется новый срок исполнения заказа и на следующей итерации выполняется перепланирование.

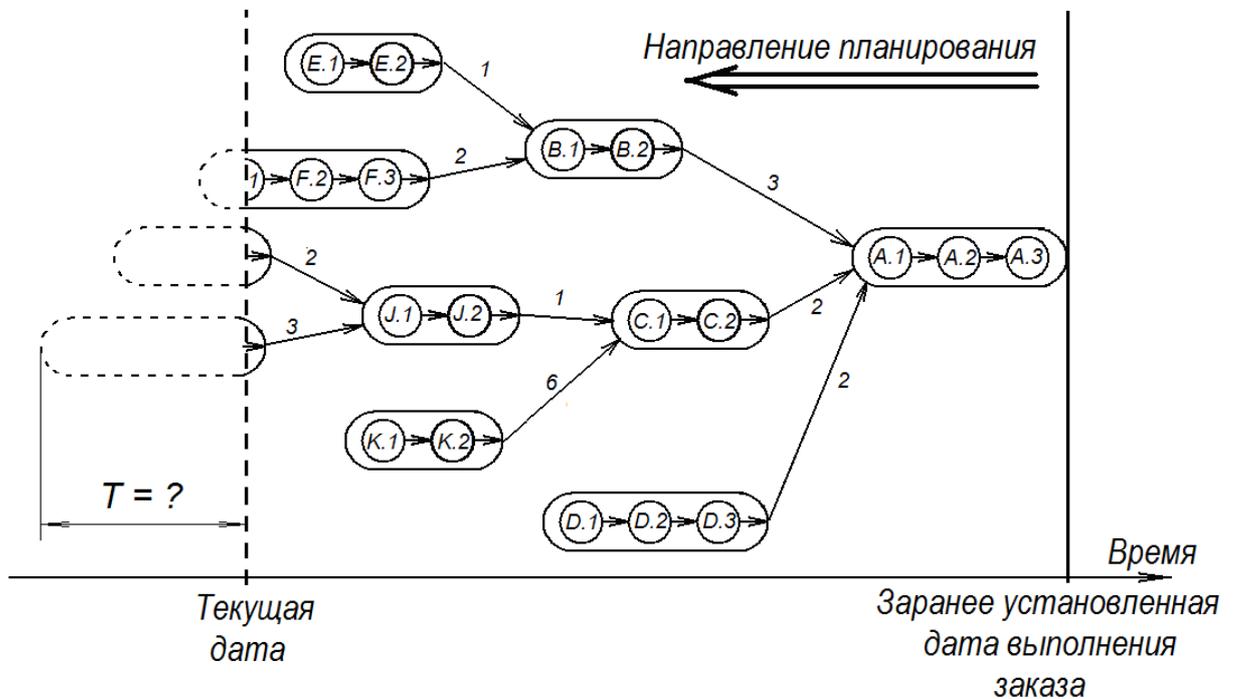


Рисунок 6. Планирование в MRP-II, MES и APS системах

Величину T (на рисунке 6 обозначена $T=?$) – время на которое необходимо было бы сдвинуть дату выполнения заказа невозможно рассчитать в принципе, поскольку любой сдвиг по временной шкале с большой вероятностью приводит к взаимному «наложению» технологических операций на рассматриваемом рабочем месте.

Вероятность того, что в этой схеме за один «проход» планирования будет получен результат, не поддается прогнозированию.

Для исключения перечисленных недостатков в отличие от подходов MRP-II, MES и APS, в работе предлагается схема «однопроходного» формирования плана, обеспечивающая сто процентную сходимость алгоритма и соответственно гарантирующая результат планирования за одну итерацию.

В этой схеме планирование выполняется от исходной даты в будущее, с учетом существующей занятости каждого рабочего места (рисунок 7) на основе моделирования расписания выполнения технологических операций в соответствии с производственной структурой изделия. В качестве начала формирования может использоваться любая дата, но не ранее текущей.

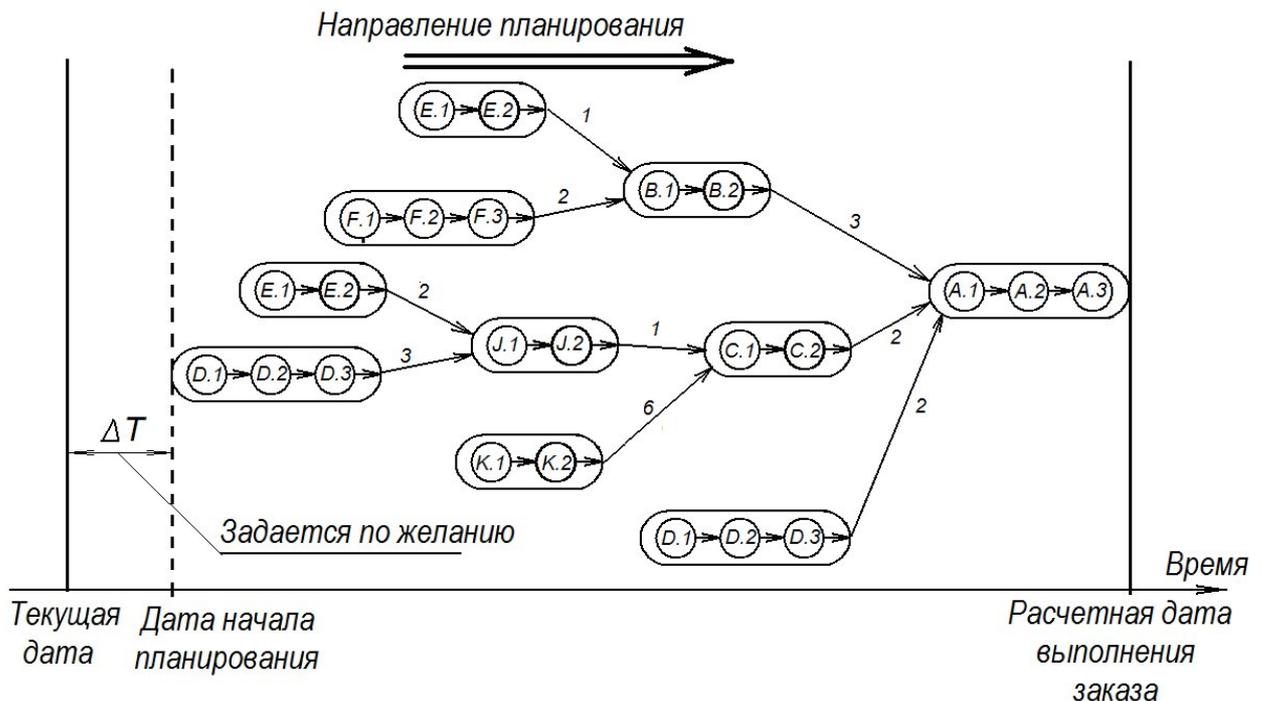


Рисунок 7. Предлагаемая схема планирования производства изделия

В укрупненном виде предлагаемый процесс планирования выглядит следующим образом: формирование модели заказа покупателя \mathbf{P} формирование модели плана \mathbf{P} утверждение модели в качестве плана или удаление модели (рисунок 8). Могут быть рассмотрены следующие ситуации. В ходе моделирования сформировано две модели планов: «Модель 1» сформирована с учетом реальной текущей загрузки оборудования; «Модель 2» формировалась как

с учетом реальной загрузки оборудования, так и с учетом возможной загрузки оборудования при утверждении «Модели 1» (рисунок 8а).

Возможен вариант, когда «Модель 2» не изменяется и план остается такой как на рисунке 8б. Тогда при появлении нового заказа свободное место учитывается и заполняется при планировании.

Либо другой вариант, «Модель 2» отменяется и производится перепланирование с учетом изменившейся ситуации. В этом случае работы по второму заказу могут быть выполнены раньше оговоренных в договоре сроков.

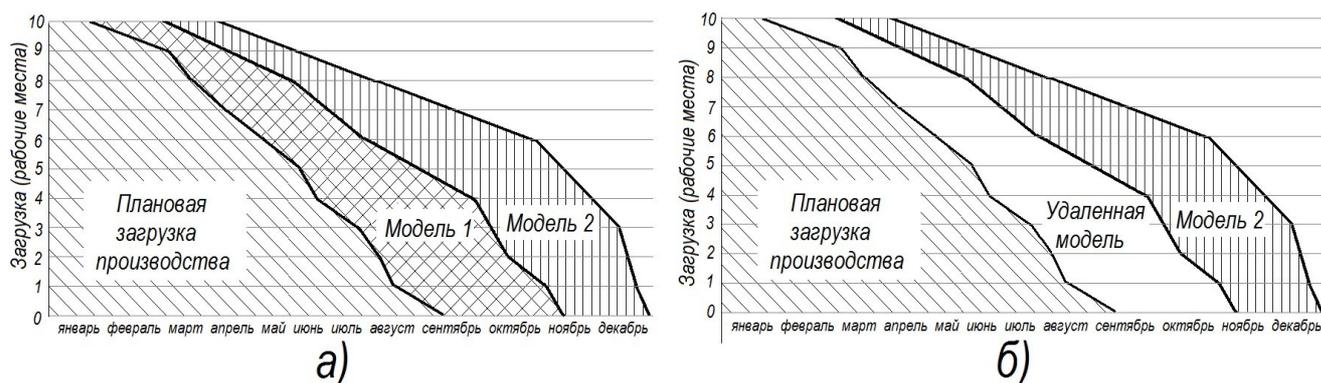


Рисунок 8. Манипулирование моделями плана а) размещение моделей плана;
б) удаление моделей плана

Формально процедура планирования описывается следующим образом. Имеется множество рабочих мест $R := \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$. Их способность выполнять некоторые работы характеризуется интервалом доступности, т.е. режимом работы оборудования или рабочих мест. Режим работы устанавливается на предприятии в виде определенного регламента, определяющего продолжительность работы, количество смен, обеденные и прочие перерывы и т.д. Соответственно, время доступности всех рабочих мест может быть описано множеством $T := \{t_{r_1}, t_{r_2}, \dots, t_{r_m}\}$, где каждому рабочему месту соответствует его режим работы.

Занятость рабочего места означает выполнение на этом рабочем месте технологической операции, которая характеризуется длительностью выполнения. Совокупность выполняемых операций на рабочем месте и определяет загрузку или расписание работы рабочего места.

Таким образом, график загрузки отдельного рабочего места p_{ri} представляет собой совокупность интервалов занятости выполнением некоторых операций. Причем все интервалы занятости рабочего места должны укладываться в соответствующий режим работы t_{ri} .

Расписание изготовления изделия на всех задействованных рабочих местах будет формироваться следующим образом:

$$\mathbf{\hat{a}} \mathbf{\hat{a}} \left(f_{vj}^{oi} - p_{vj}^{oi} \right) \mathbf{\hat{a}} t_{ri} \quad i, j : V_i \hat{=} N, V_j \hat{=} K, \mathbf{\hat{a}} f_{p_{vi}} < p_{vj} \quad j, k : o_j, o_k \hat{=} O_{vi}, o_j \hat{=} N, o_k \hat{=} K, \mathbf{\hat{a}} p_{vi}^{oj} + \mathbf{\hat{a}} d_l^{ri} < p_{vi}^{ok}$$

$$f_{p_{vj}} = \max_{i=1, \dots, j} f_{vj}^{oi}$$

Определение порядка обработки ДСЕ в процессе расстановки технологических операций $o_j \hat{=} O$ по рабочим местам $r_k \hat{=} R$ традиционно осуществляется в зависимости от уровня вхождения рассматриваемого элемента в иерархическую структуру изделия (рисунок 9а).

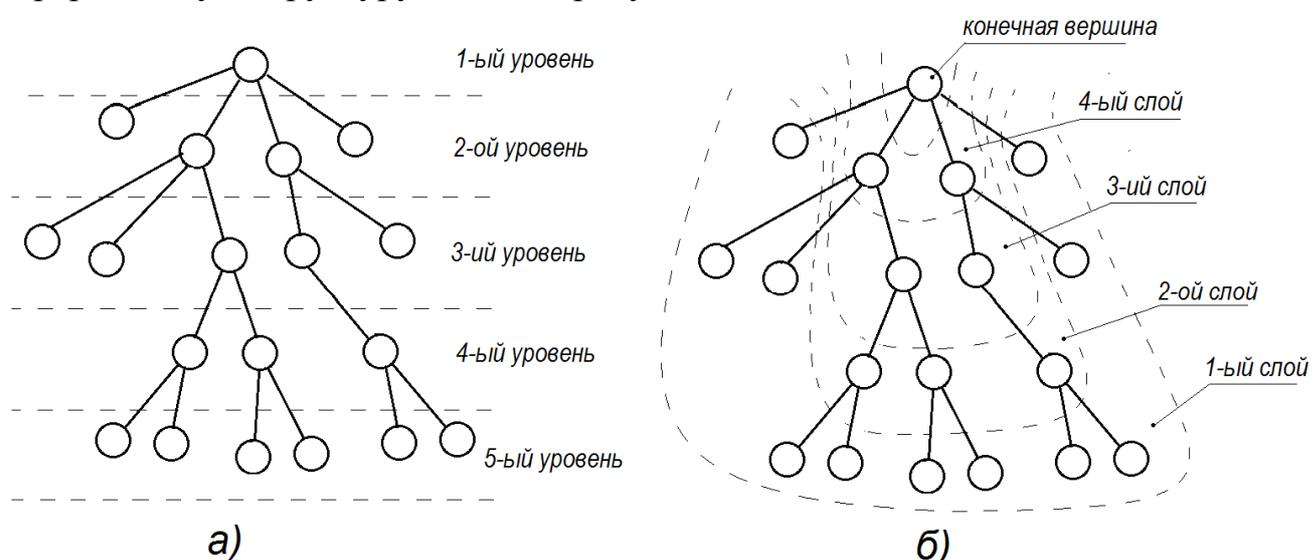


Рисунок 9. Схемы определения последовательности изготовления ДСЕ:
а) по уровням; б) по слоям - алгоритм «Опадающие листья»

В процессе выполнения исследований был разработан алгоритм определения порядка обработки детали-сборочных единиц, моделирующий послойное «срезание» конечных вершин (листьев) графа дерева, получивший название «Опадающие листья» (рисунок 9б). Первоначально рассматривается множество всех висячих вершин графа (листьев). Висячие или концевые вершины определяются по условию: значение полустепени исхода $s^u(v_i)$ вершины v_i равно единице ($s^u(v_i)=1$), и при этом полустепень захода $s^3(v_i)$ той же вершины равна нулю ($s^3(v_i)=0$).

Для каждой вершины определяется длина пути изготовления:

$$T_n = \mathbf{\hat{a}} \mathbf{\hat{a}} \left(T_{n_{zij}} + T_{umij} \frac{m}{\text{КОИД}} \right)$$

Множество всех висячих вершин ранжируется по длине пути до конечной вершины. Первоначально «обрабатывается» вершина с максимальной длиной этого пути, после чего она исключается из рассмотрения. Таким образом, перебирается все множество вершин i -го слоя.

Для оценки качества разработанного алгоритма и проведения сравнительных исследований в работе определены следующие критерии качества формируемого плана производства (критерии управления):

- длина технологического цикла, определяемая как период времени от момента начала выполнения первой технологической операции до момента окончания выполнения последней операции;
- коэффициент загрузки оборудования, определяемый отношением эффективного фонда времени к общему рабочему времени оборудования;

$$K_{зрц} = \frac{T_z}{T_{рв}},$$

где T_z – время занятости оборудования в течение периода в часах;

$T_{рв}$ – рабочее время в течение периода в часах.

- себестоимость продукции, интегральный критерий, зависящий от длины технологического цикла и коэффициента загрузки оборудования.

На основании проведенных сравнительных исследований стоит отметить, что в сравнении с перебором вершин по уровням вхождения (рисунок 9а) разработанный алгоритм «Опадающие листья» (рисунок 9б) уменьшает производственный цикл изготовления изделий от 2% до 30% (рисунок 10а), а соответственно повышает загрузку оборудования в среднем на 10-20% (рисунок 10б).

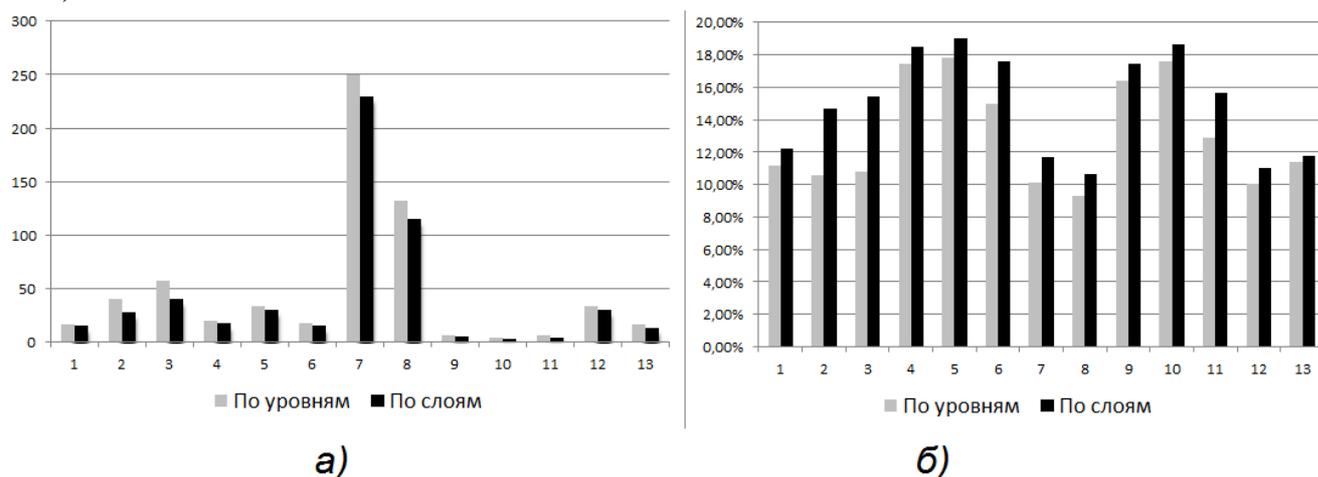


Рисунок 10. Сравнение результатов планирования алгоритмов: а) длина цикла изготовления; б) загрузка производственных мощностей

В результате планирования определяется дата изготовления заказа и его стоимость. Важным моментом является возможность формирования модели плана до заключения договора с заказчиком, поскольку длительность

производственного цикла существенно зависит от текущей загрузки оборудования (рабочих мест).

В отличие от предлагаемых другими авторами методов корректировки планов (например, метод вычисляемых приоритетов – Фролов Е.Б.) в рассматриваемой диссертации постулируется неизбежность утвержденных планов, предлагается не менять исходные планы, а «вписывать» (встраивать) периоды выполнения детали-операций в масштабно временную сетку загрузки оборудования.

Полученный детальный план производства, по сути, синхронизирован с запросами заказчика (сроками поставки) технологическими, производственными, логистическими и временными ресурсами предприятия, он является единственным корректным источником информации для определения любых производственно-экономических параметров.

Четвертая глава посвящена реализации разработанной процессно-ориентированной технологии подготовки производства на предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр».

В соответствии со схемами бизнес-процессов разработана конфигурация «Интегрированной системы синхронного управления ресурсами предприятия» (ISERP) на платформе отечественного программного продукта 1С:УПП, автоматизирующая подготовку и формирование необходимой производственной документации (рисунок 11). На рисунке 11 пунктирными линиями показаны разработанные вновь или основательно переработанные программные модули.

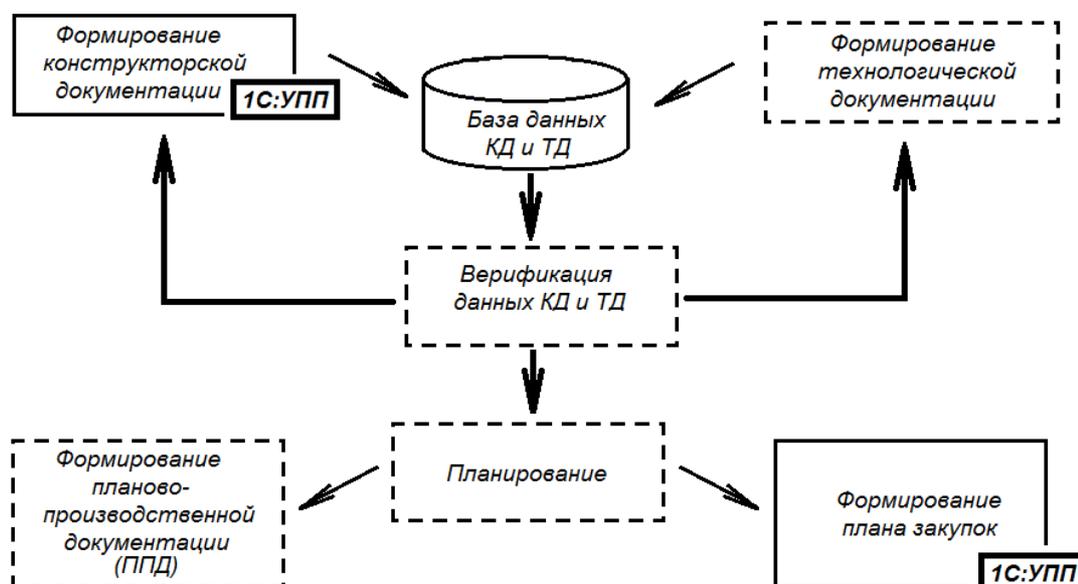


Рисунок 11. Функциональная схема программного обеспечения системы подготовки производства

Для внедрения указанной системы на предприятии реформирована организационная структура, с целью организации исполнения необходимых

бизнес-процессов и реализации бесперебойной циркуляции информационных и материальных потоков.

Внедрение разработанного программного обеспечения создало информационную поддержку работы технологической и планово-диспетчерской служб, позволило упорядочить и систематизировать работу и взаимодействие всех подразделений предприятия.

Наибольший эффект дает использование накопленной информационной базы в процессе планирования производства, поскольку формирование плана производства выполняется в десятки раз быстрее. Пример визуализации фрагмента производственного плана показан на рисунке 12.

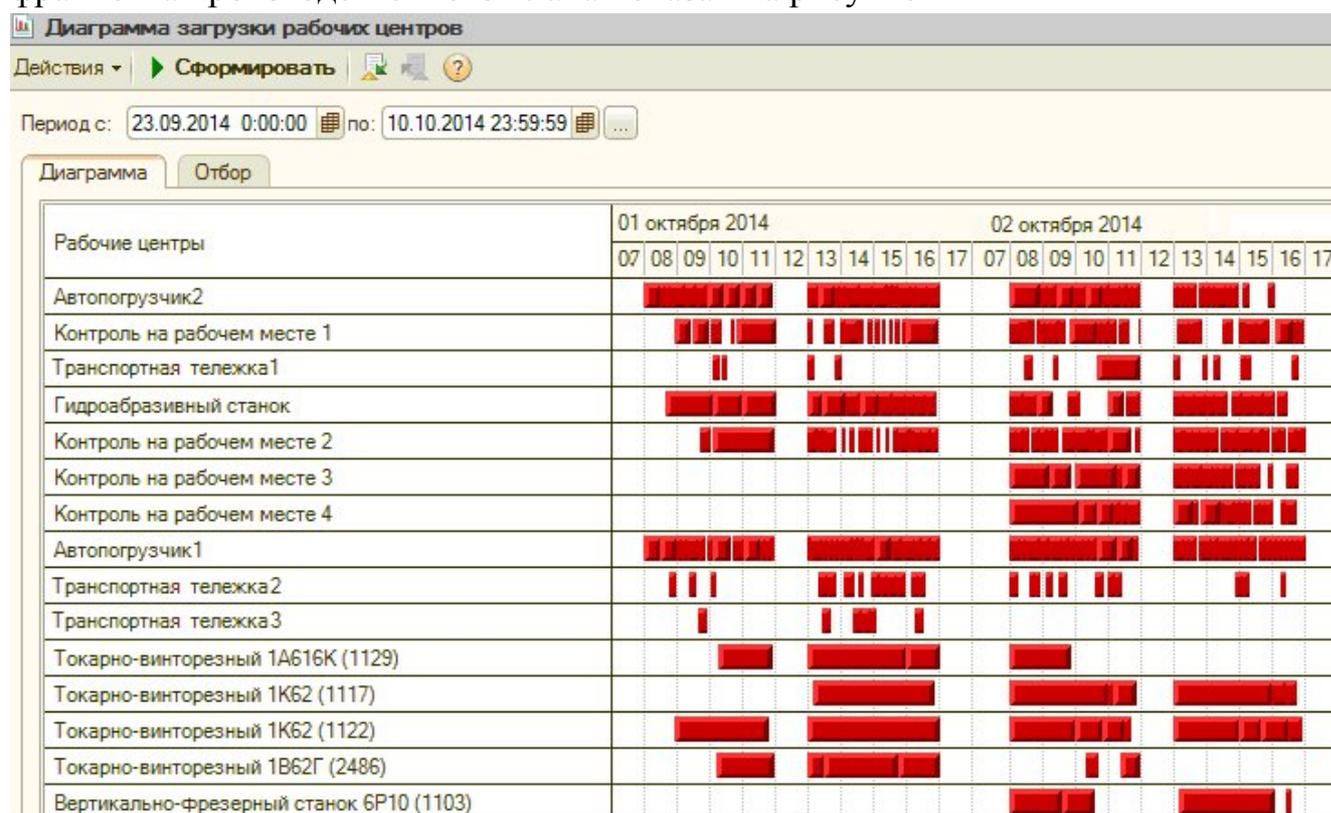


Рисунок 12. Фрагмент производственного плана

Формирование плана производства позволило упорядочить деятельность производственных подразделений, а также регламентировать технологические процессы. Реорганизация структуры и внедрение автоматизированной системы подготовки производства позволили сократить трудовые затраты на 15-30% для различных технологических операций.

За счет качества подготовки производства практически исключены потери заготовок, деталей, устранены неясности в порядке выполнения технологических операций. Необходимая планово-производственная информация обеспечила возможность усиления контроля качества и соблюдения сроков исполнения работ.

Более точное материальное нормирование позволило снизить расход материалов. Также снижение расхода материалов произошло за счет уменьшения

процента брака и повторного изготовления утраченных заготовок. В целом расход материалов по различным заказам снижен от 5% до 15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы решены поставленные задачи, позволяющие сформировать эффективную систему управления подготовкой производства на предприятии:

1. Разработана функциональная модель подготовки производства с централизованным синхронизирующим звеном, обеспечивающим интеграцию планов структурных подразделений предприятия в единый план производства.

2. Разработана обобщенная структурно-параметрическая модель информационного пространства управления, включающую необходимую и достаточную информацию для планирования производства.

3. Разработан ряд методов, моделей и алгоритмов формирования планов выполнения производственных заказов с учетом реального состояния загрузки технологических мощностей предприятия. Примером является оригинальный алгоритм планирования дискретного производства «Опадающие листья» основанный на послойном «срезании» листьев дерева электронной структуры изделия и ранжирования «срезаемой» группы листьев по длине пути изготовления.

4. Выполнена интеграция разработанных моделей и алгоритмов в единую автоматизированную систему синхронного управления ресурсами предприятия.

В плане реализации указанных теоретических исследований разработана конфигурация «Интегрированной системы синхронного управления ресурсами предприятия» (ISERP) на платформе отечественного программного продукта 1С:УПП. Практическая жизнеспособность и эффективность программного комплекса «Интегрированной системы синхронного управления ресурсами предприятия» (ISERP) подтверждена его внедрением и эксплуатацией на предприятии ОАО «Дальрыбтехцентр».

Внедрение указанной автоматизированной системы управления производством позволило сократить трудовые нормативы на 15-30% для различных технологических операций. За счет более корректного материального нормирования, а также уменьшения процента брака и повторного изготовления утраченных заготовок снижен расход материалов от 5% до 15%.

В целом за счет внедрения системы управления производством, как указано в акте внедрения, отмечено сокращение затрат на материалы от 15% до 25%, снижение трудоемкости в 2-2,5 раза. При этом повысилось качество выпускаемой продукции и оперативность выполнения заказов.

Достиженные результаты имеют как теоретическую значимость, так и практическую полезность для широкого спектра предприятий с серийным,

мелкосерийным и единичным характером производства в области машиностроения и обеспечивают замещение зарубежных программных продуктов отечественными разработками.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы в изданиях определенных ВАК

1. Колесникова, О.В. Синхронное управление ресурсами предприятия в машиностроении / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин // Автоматизация в промышленности, 2015, №3. – с. 59-62.

2. Колесникова, О.В. Структурно-параметрическое моделирование производственных планов/ О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин // Научно-технические технологии в машиностроении: М.: Изд-во Машиностроение, 2015, №4. – с.31-35

3. Колесникова, О.В. Алгоритм определения последовательности изготовления элементов изделия «Опадающие листья»/ О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин // Глобальный научный потенциал, 2015, №2(47). – с.54-58

4. Лелюхин, В.Е. Интегрированная система подготовки производства судоремонтного предприятия. / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Судостроение, 2015, №2, с. 52-54

5. Колесникова, О.В. Проблема составления оптимального расписания дискретного мелкосерийного производства/ О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин // Фундаментальные исследования, 2015, №2 ч. 11. – с. 2340-2343.

6. Лелюхин, В.Е. Интегрированная система управления дискретным машиностроительным производством на платформе 1С:УПП/ В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Фундаментальные исследования, 2015, №2, ч.12. – с. 2557-2562

7. Лелюхин, В.Е. Интегрированная система конструкторско-технологической подготовки и управления производством на платформе 1С:УПП / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Автоматизация в промышленности, 2015, №9. – с. 34-38

8. Лелюхин, В.Е. Концепция построения современных отечественных ERP-систем в машиностроении / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Автоматизация в промышленности, 2015, №12. – с. 12-16

9. Лелюхин, В.Е. Алгоритм планирования дискретного машиностроительного производства «Опадающие листья» / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Автоматизация. Современные технологии, 2016, № 1, с.15-19

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

10. Колесникова, О.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2015616589 «Программа планирования загрузки рабочих мест для дискретного

машиностроительного производства» / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин – Заявка № 2015613048; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 16.06.2015. – М., 2015.

11. Колесникова, О.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2015660777 «Программа верификации технологической информации для дискретного машиностроительного производства» / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин – Заявка № 2015617598; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 09.10.2015. – М., 2015.

12. Колесникова, О.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2015660784 «Программа формирования технологических операций (бизнес-процессов) в системе информационной подготовки производства» / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин – Заявка № 2015617605; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 09.10.2015. – М., 2015.

Работы в других изданиях

13. Лелюхин, В.Е. Функционально-идеологический менеджмент в управлении машиностроительным предприятием./ В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Материалы 9-ой международной научно-практической конференции, «Достижения высшей школы». Том 45. Технологии. София. «Бял ГРАД-БГ» – 2013. – с. 52-57.

14. Колесникова, О.В. Методика планирования единичного дискретного машиностроительного производства / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин// «Технические науки – от теории к практике» / Сб. ст. по материалам XXXVIII Международной научно-практической конференции №9 (34). Новосибирск. Изд. «СибАК», 2014. – с. 128-139.

15. Лелюхин, В.Е. Технология подготовки производства: практикум по дисциплине «Технология подготовки производства» [Электронный ресурс] / В.Е. Лелюхин, О.В. Колесникова // Инженерная школа ДВФУ – Электрон.дан. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2015. – 122 с.

16. Колесникова, О.В. Особенности планирования мелкосерийного производства / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин// «Проблемы и перспективы технических наук» / Сб. ст. по материалам Международной научно-практической конференции. Уфа. Изд. «Аэтерна», 2015. – с. 21-24.

17. Колесникова, О.В. Организация системы планирования мелкосерийного производства / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин// «Современное состояние и перспективы развития технических наук» / Сб. ст. по материалам Международной научно-практической конференции. Уфа. Изд. «Аэтерна», 2015. – с. 62-65.

18. Колесникова, О.В. Организация системы формирования производственных заказов и планов в мелкосерийном производстве на

платформе 1С:УПП / О.В. Колесникова, В.Е. Лелюхин // «Наука, техника, инновации» / Сб. ст. II Международной научно-технической конференции. Брянск: НДМ, 2015. – с. 166-169.