

РОМАНОВ Андрей Дмитриевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ПОЛНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ
В РАМКАХ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2003

Работа выполнена в ФГУП "Тамбовский научно-исследовательский химический институт" и на кафедре "Информационные процессы и управление" Тамбовского государственного технического университета.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Матвейкин Валерий Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Егоров Александр Федорович

доктор технических наук, профессор
Карапетян Рубен Миртадович

Ведущая организация Воронежская государственная технологическая академия

Защита состоится 3 октября 2003 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.01 при Тамбовском государственном техническом университете по адресу:
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, Большой зал.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу:
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, ТГТУ, ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

Подписано к печати 26.06.2003

Формат 60 × 84 / 16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем: 0,93 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 388

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

На современном этапе развития рыночных отношений, одним из основных условий формирования конкурентоспособной стратегической перспективы промышленного предприятия является его инновационная активность. Для создания благоприятных условий развития инновационной деятельности руководство страны предпринимает различные шаги. В том числе реализуется Межведомственная программа активизации инновационной деятельности в научно-технической сфере России, создана и начала работать в декабре 1999 г. Правительственная комиссия по научно-инновационной политике.

Основными целями для организации инновационной деятельности предприятия являются: повышение конкурентоспособности и закрепление на новых рынках путем совершенствования имеющихся изделий или создания принципиально нового продукта; сокращение издержек производства за счет экономии исходного сырья и энергии на основе использования новых технологий. Эффективное использование инновационного потенциала предприятия требует привлечения современных методов управления. Инновационное предприятие, как правило, реализует полный жизненный цикл (ЖЦ) изделия. В рамках предприятия такого типа требуется комплексное автоматизированное управление совокупностью процессов ЖЦ изделия.

Обзор современных средств автоматизации управления показал, что использование существующих систем планирования ресурсов предприятия (например, ERP-системы) не принесло ожидаемого эффекта. Основными недостатками этих систем являются:

- локальные системы представляют собой разрозненные части, каждая из которых использовалась для автоматизации различных сфер деятельности предприятия (бухгалтерской, складской, сбыта, подготовки производства и т. д.);
- корпоративные системы являются уникальными разработками, что обуславливает их дороговизну;
- в корпоративных системах ввиду сложности формализации научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности (НИОКР) отсутствуют механизмы управления этими процессами;
- системы не позволяют анализировать пути совершенствования и стратегии дальнейшего развития предприятия. А именно в решении этой задачи нуждается большинство отечественных предприятий.

Эти обстоятельства затрудняют использование существующих систем для эффективного комплексного планирования инновационными предприятиями.

Актуальность работы. Современные экономические условия, требуют от руководства предприятия использовать новые средства в борьбе за потребителя. Основным средством повышения конкурентоспособности продукции является увеличение роли инноваций в хозяйственной деятельности предприятия. Для эффективного использования инновационного потенциала предприятия необходимо применение новых управленческих технологий, которые заключаются в комплексной автоматизации процессов управления его хозяйственной деятельностью.

Развитие современных информационных технологий, базирующихся на основе концепции CALS, позволяют говорить о возможности создания системы комплексного управления инновационным предприятием, за счет объединения процессов ЖЦ в единое целое. Применение принципов управления предприятием через процессы ЖЦ изделия дает возможность: абстрагироваться от конкретных особенностей структуры предприятия, формализовать процессы НИОКР, использовать математические модели процессов полного ЖЦ изделия в совокупности с алгоритмами оптимизации. В целом это позволяет разработать механизмы поддержки принятия решений в управлении и планировании деятельности инновационного предприятия.

Необходимость совершенствования механизмов управления инновационным предприятием и отсутствие готовых решений в этом вопросе делает актуальной задачу поиска новых методов в сфере комплексного управления и планирования. Применение информационных технологий для создания интегрированной среды изделия и использование процессного подхода для моделирования ЖЦ позволит разработать комплексную систему управления инновационным предприятием через модель процессов ЖЦ изделия.

Цель и задачи исследования. Повышение конкурентоспособности наукоемкой продукции за счет эффективного использования инновационного потенциала предприятия с помощью автоматизации комплексного управления хозяйственной деятельностью через модель процессов полного ЖЦ изделия.

Для достижения цели работы были поставлены и решены задачи:

- анализа и классификации задач принятия решения, возникающих на всех этапах ЖЦ изделия;
- разработки системы математических моделей;
- разработки алгоритмов оптимизации управления основной деятельностью предприятия через планирование процессов полного ЖЦ изделия;

– построения комплексной системы автоматизированного планирования процессов ЖЦ изделия.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач были использованы: CALS-технологии; методы анализа сложных систем; методы математического моделирования; теории вероятности и математической статистики; теории исследования операций; теории графов.

Достоверность научных результатов и выводов, сформулированных в работе, определяется результатами тестирования построенной математической модели и методов оптимального планирования и управления процессами полного ЖЦ изделия.

Обоснованность теоретических разработок подтверждена численными расчетами. В качестве исходных данных для системы были взяты технологии изготовления цеолита и перекиси лития. Для этих технологий был сформирован портфель заказов, для которого рассчитан календарный и оперативный планы производства веществ. Результаты расчетов позволили сделать вывод об адекватности разработанных математических моделей.

Научная новизна положений и результатов диссертации определяется следующим:

1 Представлена методика комплексного автоматизированного управления основной деятельностью предприятия, которая построена на принципе планирования процессов полного ЖЦ изделия.

2 Разработана математическая модель совокупности процессов ЖЦ изделия, пригодная для имитационного исследования, и решения задачи оптимального планирования основной деятельности инновационного предприятия.

3 Разработан и реализован алгоритм решения задачи оптимального планирования процессов ЖЦ изделия.

4 Построена автоматизированная система комплексного планирования процессов ЖЦ как системы управления основной деятельностью предприятия.

Практическую ценность работы представляют: а) подход, заключающийся в комплексном управлении основной деятельностью предприятия, включая научно-исследовательские разработки через планирование процессов полного ЖЦ изделия; б) модели и методы построения оптимального стратегического, календарного и оперативного планов функционирования предприятия; в) программное обеспечение, поддерживающее принцип управления предприятием, через планирование процессов ЖЦ изделия.

Основные положения, выносимые на защиту: а) обоснование необходимости перехода к системам комплексного управления предприятием; б) методика планирования хозяйственной деятельности предприятия, через модель совокупности процессов ЖЦ продукции; в) модели и алгоритмы оптимального планирования процессов полного ЖЦ изделия.

Апробация работы. Основные положения и результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на: XV Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях" (Тамбов, 2002); научных семинарах кафедры "Информационные процессы и управление" Тамбовского государственного технического университета.

Публикации по теме работы. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в шести печатных работах.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Она содержит страниц машинописного текста, 41 рисунок и список литературы из 95 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность и практическая значимость работы, сформулированы основные цели, задачи и перечислены методы их решения. Кратко излагается содержание диссертации.

В главе "**Обзор современных путей повышения конкурентоспособности наукоемкой продукции**" рассматриваются современные пути повышения конкурентоспособности продукции за счет использования инновационного потенциала предприятия.

Приводится классификация моделей предприятия. Преимуществом в конкурентной борьбе обладают инновационные предприятия. Для предприятия такого типа характерно наличие научной и производственной базы. На фоне серийного выпуска изделий проводятся научные исследования, выпуск экспериментальных партий, что, с одной стороны, обеспечивает постоянную модернизацию существующих изделий и технологий, а также разработку новых, с другой – осложняет задачу планирования и не дает эффективно использовать существующие системы автоматизированного планирования и управления. Постоянное совершенствование изделий позволяет инновационному предприятию обеспечить для своей продукции потребительский рынок и требует использования новых технологий управле-

ния. Инновационное предприятие имеет гибкую структуру, адекватно и быстро реагирующую на внешние изменения, в том числе требования потребителей. Оптимальное планирование деятельности инновационного предприятия обеспечивает эффективное использование его научного потенциала.

В качестве методологии управления в работе выбрана концепция CALS, которая позволяет объединить процессы ЖЦ в единый объект управления на базе единого информационного пространства (ЕИП), что является актуальным в условиях инновационного предприятия. Концепция CALS является на сегодняшний день перспективным направлением в области комплексного управления предприятием. Проведен анализ существующих автоматизированных систем управления, которые группируются по степени и охвату проблематики предприятия. Проведенный анализ систем показал отсутствие необходимого продукта на рынке средств автоматизации. Рассмотренные системы либо охватывают только часть функций управления, либо являются очень сложными и дорогостоящими из-за своей уникальности. Во всех системах отсутствует автоматизация управления процессами НИОКР и инструменты, позволяющие проводить аналитические исследования для поиска путей развития предприятия.

В работе предлагается использовать совокупность процессов ЖЦ в качестве объекта управления. Сформулирована задача работы, которая состоит в разработке моделей и алгоритмов оптимального планирования для автоматизированной системы поддержки принятия решения при управлении инновационным предприятием через планирование процессов ЖЦ.

Глава "Анализ процессов жизненного цикла наукоемкой продукции" содержит анализ процессов ЖЦ наукоемкой продукции. Дан краткий обзор условий реализации ЖЦ изделия в рамках инновационного предприятия. Проведен анализ нормативной документации, который позволил выделить структуру, взаимосвязи, содержание и задачи этапов ЖЦ. Для каждого этапа был определен перечень входящих в него процессов, установлена их взаимосвязь внутри этапа (входные и выходные данные процессов) и определены их задачи. Анализ осуществляется с использованием ГОСТ В 15.004-84, ГОСТ РВ 15.1.000-92 и ИСО 9000:2000.

Приведен перечень этапов ЖЦ согласно рассмотренной нормативной документации. Рассматриваются особенности инновационного предприятия, как инструмент повышения конкурентоспособности продукции, в рамках взаимодействия науки и производства. Например, анализ результатов производства на предмет "узких мест" позволяет сделать вывод о технических и технологических "ошибках", допущенных на стадиях НИОКР. При необходимости осуществляется возврат изделия на доработку на фоне продолжающегося серийного выпуска.

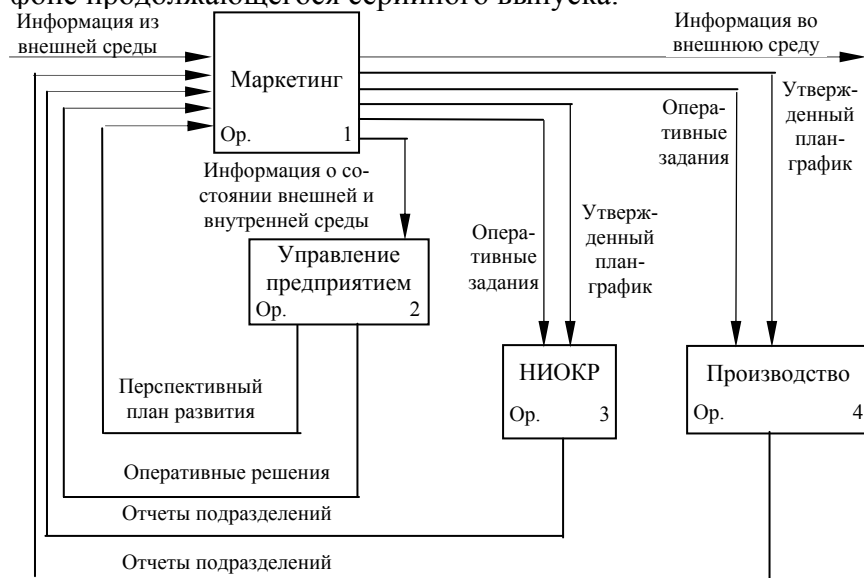


Рис. 1 Процессы управления наукоемким предприятием

Рассмотрен комплекс задач планирования процессов ЖЦ изделия (рис. 1). При маркетинговом принципе управления предприятием выделяют три контура: 1) "управление предприятием" – "маркетинг", 2) "маркетинг" – "НИОКР", 3) "маркетинг" – "производство". В контуре (1) объектом управления являются процессы этапа "маркетинг", управлением – "управление предприятием". "Управление предприятием" на основании данных о состоянии рынка и ресурсов предприятия выдвигает приоритетные

направления развития, критерии оценки выбора заказов и распределения производственных мощностей. В контуре (2) процессы этапа "маркетинг" являются управляющими по отношению к процессам этапа "НИОКР". На этапе "маркетинг" с учетом приоритетных направлений и критериев выбора, осуществляется разработка планов загрузки производственных ресурсов на плановый период для реализации выбранного объема заказов. План содержит точное предписание выполнения процессов "НИОКР" для реализации выбранного портфеля заказов. Контур управления (3) работает по аналогии с контуром (2). По приведенной схеме решаются задачи долгосрочного планирования, задачи краткосрочного (оперативного) планирования или управления, решаются по результатам отчетов о ходе выполнения плановых заданий. В каждом контуре объект управления возвращает отчет о проделанной работе. Сравнивая фактически выполненные работы с плановыми заданиями, принимается решение о корректировке плановых заданий при отклонении фактических показателей от плановых. В каждом контуре управления (1)–(3) решаются задачи долгосрочного и краткосрочного планирования. Задачи управления различаются в контурах по номенклатуре управления и степени ответственности за принятые решения. Анализ показал, что управление в рамках предприятия осуществляется с помощью функций планирования (долгосрочного, краткосрочного), а обратная связь от объекта управления проходит в виде отчетов о проделанной работе (функции контроля).

В главе "Математическое и информационное моделирование процессов наукоемкого предприятия" проведено математическое моделирование совокупности процессов ЖЦ наукоемкой продукции. Приводится постановка задачи построения математической модели ЖЦ изделия. Проводится анализ современных теорий, существующих в данной области: исследование операций, теория принятия решения, математическая статистика, теория графов и др. В результате анализа теорий и условий выполнения процессов ЖЦ изделия была построена дискретная информационно-логическая модель, в основании которой заложены множества и отношения между ними.

Построенная модель процессов полного ЖЦ изделия состоит из двух частей: модели "внешней" и "внутренней" среды по отношению к предприятию. Модель "внешней" среды описывает статистику поведения субъектов рынка. Поведение каждого s -го субъекта состоит в заключении договоров на приобретение, поставку некоторого m -го вида продукции в момент времени t , в объеме $V = \{v_{smt}\}$, по цене $C = \{c_{smt}\}$ за единицу продукции (где $m = 1 \dots M$; M – количество единиц сырья, необходимого для выполнения основной деятельности, $s = 1 \dots S$; S – количество субъектов рынка).

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi = \{ \{v_{smt}\}, \{c_{smt}\}, \{t_{smt}\}, \eta_s(t_0) \}; \\ \eta_s(\tau_0) = \frac{\sum_{m=1}^{M_s} \sum_{t=1}^{t'} k_{mt}}{k_s^0} \quad - \text{надежность субъекта } s, k_s^0 = \text{const}, M_s \in M; \\ t_1 \leq t' \leq T, \quad t_{smt} = t_0, \quad 0 \leq \eta_s \leq 1, \\ t' - \text{индекс текущего момента планирования;} \\ k_{smt} = \begin{cases} 0, & \text{если договор был сорван,} \\ 1, & \text{если договор реализован;} \end{cases} \\ t_{smt1} \leq t_{smt} \leq t_{smtT}, \quad s = 1 \dots S, \quad m = 1 \dots M, \quad t = 1 \dots T, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $\Psi = \{ \{v_{smt}\}, \{c_{smt}\}, \{t_{smt}\}, \eta_s(t_0) \}$ – кортеж, содержащий статистику активности элементов внешней среды; $\eta_s(t_0)$ – вероятность успешного завершения договора со стороны s -го предприятия (надежность поставщика или клиента).

Информационно логическая модель "внешней" среды (1) построена для нахождения множества заказов $\Omega' \subset \Psi$ на плановый период $[t_0; t_T]$. Элемент ψ_{smt} может входить в портфель заказов $\psi_{smt} \in \Omega'$, если время заключения сделки попадает в плановый период $t_0 \leq t_{smt} \leq t_T$. Количество элементов в портфеле заказов на плановый период Z .

Модель "внутренней" среды содержит модели производственных ресурсов предприятия, модели технологий изготовления изделий и статистическую информацию выполнения процессов ЖЦ за предыдущие периоды.

Модель описания ресурсов представлена кортежем $R = \langle R^M, R^L, R^E \rangle$, где R^M – множество сырья; R^L – множество персонала; R^E – множество оборудования. Элементы кортежа R представляют собой множество векторов, которое устанавливает стоимость эксплуатации ресурса в условных единицах.

Для установления последовательности выполнения операций в процессе, процессов в заказе используются булевы квадратные матрицы:

$$D^O_p = \{d^O_{mn}\} = \begin{cases} 1, & \text{если операция } m \text{ следует за операцией } n; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

соответственно, образуя матрицы предшествования $D = \{D^O_z, D^O_p\}$. Множество D упорядочивает множества операций, процессов и заказов, превращая их в направленный граф, называемый технологией или последовательностью процессов ЖЦ изделия.

Для каждой операции задаются нормы расхода сырья: ω'_{mo} – объем результата; $\{\omega_{mo}\}$ – объем расхода; времени Δ^T_o . Для установления соответствия ресурсов операциям вводятся булевы матрицы $D^R = \langle D^M_o, D^{M'}_o, D^L_o, D^E_o \rangle$, где булевы матрицы соответствия: $D^{M'}_o$ – выходного материала; D^M_o – входного материала; D^L_o – операций персоналу; D^E_o – операций оборудованию. Таким образом, операция характеризуется статическим кортежем

$$q^O_o = \langle R, D^M_o, D^E_o, D^L_o, \{\omega_{mo}\}, \omega'_{mo} \rangle. \quad (2)$$

Множество операций $Q^O_p = \{q^O_o\}$ и регламент составляют процесс:

$$\begin{aligned} q^P_p &= \langle \{q^O_o\}, D^O_p, \{\omega^P_{pm}\}, \omega^P_{pm} \rangle; \\ Q^P_p &= \{q^P_p\}, p \in P_z - \text{множество процессов.} \end{aligned} \quad (3)$$

Множество процессов $Q^P_z = \{q^P_p\}$ и регламент составляют заказ z :

$$\begin{aligned} q^Z_z &= \langle \{q^P_p\}, D^P_z, \{\omega^Z_{zm}\}, \omega^Z_{zm} \rangle; \\ Q^Z_z &= \{q^Z_z\}, p \in P_z - \text{множество процессов.} \end{aligned} \quad (4)$$

Для описания статистики выполнения процессов за предыдущие периоды используется кортеж $(q^O_o)^n = \langle R^n, \{\omega_{mot}\}, \omega'_{mot}, \{\omega_{mot}^n\}, \{\tau^O_{ot}\} \rangle$, где $\{\omega_{mot}^n\}$ – фактический объем сырья m , выпущенный операцией o за время $\tau^O_{ot} = [t_1; t_2]^O_{ot}$, R^n – множество фактически использованного ресурса.

Задача планирования заключается в распределении операций q^O_o во времени для реализации объема заказов Ω' , принятого на плановый период $[t_0; t_T]$. Для формализации расписания (распределения) используются динамические множества: временной интервал выполнения операции $\tau^O_{ot} = [t_1; t_2]^O_{ot}$, где t_1 – начало интервала; t_2 – его окончание, задает выполнение операции o . Множество интервалов выполнения операций $\{\tau^O_{ot}\}$ называется расписанием. Интервалы построены так, что в течение интервала операция, для которой он задан, не изменяет своих свойств (выполняется одним сотрудником с использованием одного оборудования). Для интервала введено обозначение: $|t_2 - t_1|^O_{ot} = (t_2)^O_{ot} - (t_1)^O_{ot}$, которое определяет продолжительность временного интервала τ^O_{ot} . Для установления динамического соответствия интервалам выполнения операций ресурсов предприятия используются булевы трехмерные матрицы: $D^{DE} = \{d^{DE}_{oet}\}$, $d^{DE}_{oet} = 1$ – операция o выполнялась на оборудовании e в интервал $\{\tau^O_{ot}\}$; $D^{DL} = \{d^{DL}_{olt}\}$, $d^{DL}_{olt} = 1$ – операция o выполнялась сотрудником l в интервал $\{\tau^O_{ot}\}$. Описанная система моделей процессов ЖЦ изделия предназначена для решения задачи поддержки принятия решения при разработке всех видов планов основной деятельности предприятия.

Глава "Решение задачи оптимального планирования процессов ЖЦ изделия в рамках инновационного предприятия" посвящена построению алгоритмов оптимизации плана выполнения процессов ЖЦ изделия в рамках инновационного предприятия. Поставлена задача нахождения оптималь-

ного распределения производственных ресурсов на плановый период для удовлетворения принятого портфеля заказов, который обеспечит получение максимальной прибыли от его реализации заказчиком без отклонения от намеченных стратегических и долгосрочных планов развития предприятия. Основная задача оптимизации плана разделена на подзадачи.

Постановка задачи оптимального планирования процессов ЖЦ изделий в рамках наукоемкого предприятия (задача 1) в работе сформулирована следующим образом: с момента времени t_0 до момента времени t_T сроком на плановый период $(t_T - t_0)$ необходимо:

- сформировать портфель заказов

$$\Omega' = \{ \{v_{smt}\}, \{c_{smt}\}, \{t_{smt}\}, \eta_s(t_0) \} \text{ для } \tau_{smt} \geq \tau_0; \quad (5)$$

- рассчитать интервалы выполнения операций

$$\{ \tau_{ot}^O \} \forall o \in O, t = 1 \dots T; \quad (6)$$

- получить распределения D^{DE} и D^{DL} для ресурса R^E, R^L .

Для исходных данных:

- множество кортежей рыночной среды

$$\Psi = \{ \{v_{smt}\}, \{c_{smt}\}, \{t_{smt}\}, \eta_s(t_0) \};$$

- множество векторов, свидетельствующих о выполнении операций в течение истекших периодов: $(q^O_o)^n$;

- информация о затратах на имеющийся на предприятии производственном ресурсе: $R = \langle R^M, R^E, R^L \rangle$.

При условиях:

1) Задана последовательность выполнения заказов отношениями предшествования между операциями в процессах, процессов в заказах D .

2) Установлено строгое отношение соответствия ресурса операциям D^R .

3) Для каждой операции необходимо, чтобы имелся хотя бы один ресурс из каждого множества R^E, R^L, R^M : $\sum_E d_{eo} \geq 1, \sum_L d_{lo} \geq 1, \forall o \in O$.

4) План $\{ \tau_{ot}^O \}$ разбит на такие интервалы, что в течение интервала ресурс для операции не меняется:

а) оборудование: $\forall o \in O, t = 1 \dots T$ на протяжении интервала $\tau_{ot}^O, \sum_E d^{DE}_{oet} \geq 1$;

б) персонал: $\forall o \in O, t = 1 \dots T$ на протяжении интервала $\tau_{ot}^O, \sum_L d^{DL}_{olt} \geq 1$.

5) Операции не должны пересекать по ресурсу для $\forall n, m \in O, n \neq m$, если $(\tau_{nt1}^O \cap \tau_{nt2}^O) \neq \emptyset$:

а) по оборудованию: тогда при $d^{DE}_{ne1t1} = d^{DE}_{ne2t2} = 1, e2 \neq e1$;

б) по персоналу: тогда при $d^{DL}_{nl1t1} = d^{DL}_{nl2t2} = 1, l2 \neq l1$.

б) С учетом графика эксплуатации ресурса:

а) оборудования (ППР): $\Delta \tau_e^G \cap \left[\bigcup_T \tau_{ot}^O \sum_T d^{DE}_{oet} \right], \forall e \in E, o \in O$,

где $\Delta \tau_e^G$ – период ремонта;

б) персонал (отпуска): $\bigcup_T \tau_{lt}^X \cap \left[\bigcup_T \tau_{ot}^O \sum_T d^{DL}_{olt} \right], \forall l \in L, o \in O$,

где τ_{lt}^X – периоды отпуска.

Обеспечивая:

- минимальное время, требуемое для выполнения заказа z ,

$$\Delta T_z = \max_{O,T} \left[(t_2)_{ot}^O \right] \rightarrow \min, o \in O_p, p \in P_z, z \in Z; \quad (7)$$

- максимальную загрузку производственных мощностей для выполнения заказов:

а) для оборудования полезная работа за плановый период в системе:

$$U^E_e = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{o=1}^O |t_2 - t_1|_{ot}^O d^{DE}_{oet} \right] \rightarrow \max - \text{полезный фонд времени};$$

$$u^E_e = \frac{U^E_e}{F^U} \rightarrow 1, F^U = (t_T - t_0) - \text{общий фонд времени}; \quad (8)$$

б) для персонала полезная работа за плановый период в системе:

$$U^L_l = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{o=1}^O |t_2 - t_1|_{ot}^O d^{DL}_{olt} \right] \rightarrow \max - \text{полезный фонд времени};$$

$$u^L_l = \frac{U^L_l}{F^U} \rightarrow 1, F^U = (t_T - t_0) - \text{общий фонд времени}; \quad (9)$$

- минимальные материальные затраты выполнения процессов:

$$F^{SM}_z = \sum_{p \in P_z} \left[\sum_{o \in O_p} n^O_o \left(\sum_{m \in M} d^{O}_{mo} \omega_{mo} v^S_m \right) \right] \rightarrow \min; \quad (10)$$

$$F^S_z = F^{SM}_z + \sum_{p \in P_z} \sum_{o \in O_p} \left[\sum_{\tau \in O_{ot}} \sum_E \left[d^{DE}_{oet} (|t_2 - t_1|_{ot}^O v^S_e) \right] \right] \rightarrow \min, \quad (11)$$

где F^{SM}_z – затраты на приобретение материала (сырья); F^S_z – суммарные затраты; v^S_m – затраты на использование сырья m ; v^S_e – затраты на использование оборудования e .

Транспортные затраты времени и ресурсов на передвижение изделия по этапам ЖЦ не учитываются, ввиду территориальной и юридической целостности наукоемкого предприятия.

Задача 1 разбита на следующие подзадачи:

1.1 *Расчет продолжительности выполнения операций* осуществляется с учетом статистики выполнения операций за предыдущие плановые периоды $\{(q^O_{ot})\}$. Необходимо определить время выполнения операции

операции $\Delta^T_o(e, l)$ на

e -м оборудовании l -м сотрудником, если известна статистика величины $\Delta^{FT}_o(e, l)$. Время выполнения операции рассматривается как случайная величина. Для нахождения случайной величины $\Delta^T_o(e, l)$ был использован метод экспоненциального сглаживания, в котором применение весовых коэффициентов позволяет придать большее влияние на результат последних членов временного ряда $\{\Delta^{FT}_o(e, l)\}$. Рекуррентное соотношение нахождения $\Delta^T_o(e, l)$ записывается в виде

$$\Delta^T_o(e, l)_{i+1} = \alpha (\Delta^{FT}_o(e, l)_i) + (1 - \alpha) \Delta^T_o(e, l)_i,$$

где α – коэффициент экспоненциального сглаживания. Априорно известно $0,1 \leq \alpha \leq 0,3$.

1.2 *Расчет графика выполнения процессов.* Постановка подзадачи аналогична постановке общей задачи 1, за исключением условий (5)–(6). В подзадаче 1.2 необходимо определить график (6) и распределение оборудования на плановый период. Для расчета графика в подзадаче 1.2 использовался алгоритм, относящийся к классу однократных диспетчеризаций из теории исследования операций, с решающим правилом "сдвига влево". Последовательное выполнение операций (технология) удобно представить в форме диаграммы Ганта (рис. 2).

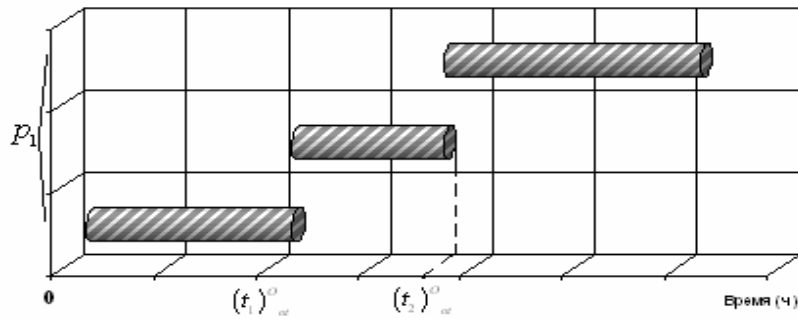


Рис. 2 Диаграмма Гантта

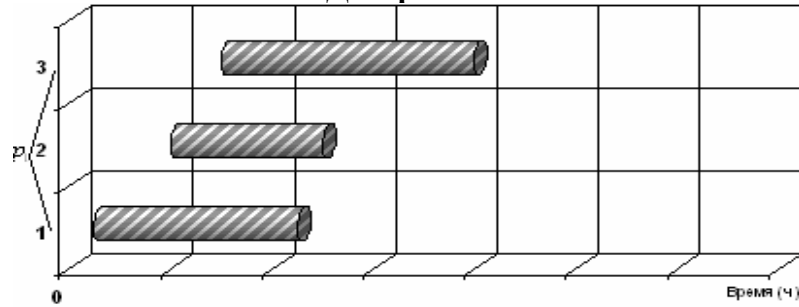


Рис. 3 Преобразованная диаграмма Гантта по правилу "сдвиг влево"

По правилу "сдвиг влево" операция выполняется так скоро, как только это возможно. Начало выполнения операции зависит от наличия входного сырья. Операция запускается, как только для нее будет сделан задел сырья (предыдущей операцией), ровно на столько, чтобы выполнение операции не пришлось останавливать. После преобразования получится искомый план (рис. 3). При решении последующих подзадач полученный в 1.2 план будет ухудшаться с введением убранных ограничений.

1.3 *Расчет "конфликтов"*. Составленный в результате решения подзадачи 1.2 план содержит пересечения операций по оборудованию. В подзадаче 1.3 вводится ограничение (5) задачи 1, все остальные условия и целевые функции остаются прежними (подзадача 1.2). Для решения подзадачи используется однопроходный пошаговый алгоритм с решающим правилом. График анализируется на предмет конфликтов от начала планового периода до конца. Формируются подмножества O' , для которых не выполняется условие (5) задачи 1, при $O' \subset O$. В подмножестве O' операции ранжируются в порядке возрастания $k_o = f(k^Z_o, k^O_o)$, где k^Z_o – вес заказа в портфеле заказов; k^O_o – вес операции в технологической последовательности заказа, который определяется из расчета близости операции к критическому пути. Работы O' распределяется равномерно по $R^{E'}$, в порядке убывания весовых коэффициентов в множестве операций и убывания производительности в множестве ресурсов.

1.4 *Назначение ППР*. В подзадаче 1.4 добавляется ограничение (6, а) задачи 1, в котором предусматривается проведение ППР. Необходимо разместить в плане $\{\tau^{O_{or}}\}$ и $\{d^{DE_{oet}}\}$ график ремонтов $\{\tau^{G_{et}}\}$ для единицы оборудования, которая требует, согласно документации, проведения ППР в плановый период с тем условием, что интервал ремонта непрерывен. Ремонт дает сдвиг плана вправо, но вместе с тем обеспечивают снижение вероятности отказа среди единиц оборудования. Для определения времени ремонта введены функции штрафа K_1, K_2 . Функции выражаются через математическое ожидание стоимости планового ремонта и математическое ожидание стоимости аварийного ремонта. Момент времени t^* , когда стоимость аварийного ремонта превышает стоимость ППР, т.е. $K_1 \leq K_2$, считается самым поздним допустимым временем проведения ППР. Для каждой единицы оборудования определяются интервалы простоя. Методом упорядоченного перебора для каждой единицы исследуются варианты расписания, при которых ремонт назначается в очередной интервал простоя.

1.5 *Распределение отпусков для персонала*. В подзадаче 1.5 добавляется ограничение (6, б) задачи 1, в котором предусматриваются отпуска для персонала при условии, что отпуск может прерываться из-за производственной необходимости. Исходными данными являются план и продолжительность отпусков персонала $\{\Delta^X_i\}$. Для решения задачи множество L разбивается на подмножества $L = \cup L'$. Сотрудники объединяются в группы по квалификации. Плановый период $[t_0; t_T]$ разбивается на K интервалов продолжительностью Δt_i при условии $t_T - t_0 = \sum_{i=1}^K \Delta t_i$. Для каждой группы строятся функции занятости:

$$U_l(\Delta t) = \sum_{o \in O[t_0; t_T]} \sum d_{ol}(\Delta t \cap \tau_{ol}^O), \quad l \in L;$$

$$u_l(\Delta t) = \frac{U_l}{\Delta t}. \quad (12)$$

Множество $\{u_l(\Delta t)\}$ ранжируется в порядке возрастания. Из подмножества L' выбирается сотрудник, для которого $\max_{L'} [v^{K'}]$, где $v^{K'}$ – работоспособность сотрудника. Для него назначается отпуск первые K' элементов Δt_i из множества $\{u_l(\Delta t)\}$, для которых выполняется условие $\Delta^x_{l'} = \sum_{K'} \Delta t_i$, обеспечивающее сотруднику отпуск продолжительностью, установленной трудовым законодательством. Такой алгоритм позволяет назначить отпуска квалифицированному персоналу в наименее загруженные работы промежутки планового периода.

1.6 Нахождение портфеля заказов. Необходимо сформировать множество Ω' так, чтобы целевые функции плана реализации этого объема заказов на плановый период достигали значений близких к оптимальным. Решение подзадачи реализуется следующим алгоритмом:

- 1) Формируется вспомогательное множество Ω .
- 2) Генерируется очередная перестановка из элементов вспомогательного множества.
- 3) Формируется график выполнения заказов Ω' принятых на плановый период.
- 4) Анализ полученных в результате решения подзадач 1.1–1.6, целевых функций оценки плана (1)–(3), позволяет сделать выводы о способе формирования следующей перестановки на шаге 2 алгоритма. Последовательно, по одному, начиная с $\Omega' = \emptyset$, в портфель заказов добавляются элементы ψ_m . Для каждого множества рассчитывается календарный план. При выходе из заданных пределов значений целевых функций оценки плана поиск прекращается. Подзадача 1.6 является последним этапом решения задачи 1. В результате решения задачи 1 найден "не худший" вариант портфеля заказов и календарного плана его реализации на плановый период. Решена вспомогательная задача разработки сырьевого плана, как задача "о запасах" методами линейного программирования; в результате решения определен страховой запас сырья на весь плановый период.

1.7 Оперативное планирование. В процессе выполнения календарного плана возникает задача оперативного планирования процессами ЖЦ изделия. Система оперативного планирования предприятием предназначена для обеспечения выполнения разработанного календарного плана в условиях возникновения случайных возмущений в процессе выполнения установленных плановых заданий. В подзадачу 1.7 оперативного управления вошли выполнение корректировок плана и разработка сменных заданий для персонала согласно календарному плану. Плановый период делится на h смен, продолжительность которых Δ^h . Время планирования рассматривается как дискретная величина s_h (моменты начала смен в плановом периоде). При решении подзадачи использован алгоритм календарного планирования подзадачи 1.1–1.6, на плановый период $[s_{h^*}; s_{h^*} + \Delta^h]$. Объем работ на начало смены определен из пересечения интервалов: $\tau^{h^*}_{ol} = \tau_{ol}^O \cap [s_{h^*}; s_{h^*} + \Delta^h]$. Построение плана работ на смену может не дать результатов ("конфликт" не будет устранен в рамках смены), тогда необходим пересчет календарного плана на период $[s_{h^*}; t_T]$. При этом критерием оптимального расчета для построения графиков является минимальное отклонение от исходного календарного плана. Для решения задачи нахождения графика работ персонала необходимо расположить множество работ в порядке убывания приоритета, а множество персонала L в порядке убывания работоспособности персонала. Затем поочередно выбирать работы множества и ставить им в соответствие следующий элемент из упорядоченного множества L . Полученный перечень работ на текущую смену h^* и при необходимости пересчитанный календарный график являются решением задачи оперативного управления.

Математический аппарат разработан для применения в составе автоматизированной системы поддержки принятия решения, обеспечивающей непосредственное участие ЛППР в процессе принятия решения. Разработанные календарный и оперативный планы являются "не худшим" вариантом распределения производственных ресурсов во времени. Математический аппарат охватывает участок автоматизированного составления стратегического, календарного, оперативного, трудового, сырьевого планов и портфеля заказов.

В главе "**Пример практической реализации методов автоматизированного планирования процессов жизненного цикла продукции инновационного предприятия**" приведен пример реализации разработанного математического аппарата в составе автоматизированной системы комплексного

управления основной деятельностью инновационного предприятия через планирование процессов ЖЦ. Для автоматизированной системы осуществлено построение структурной и функциональной схем, приведен и раскрыт перечень обеспечений: математического, информационного, технического, лингвистического, методического, программного.

Система построена по модульному (блочному) принципу. Такая структура позволяет легко наращивать функциональность каждой отдельной подсистемы, так как изменения внутри одной подсистемы не требуют вмешательства в другие. Система состоит из пяти подсистем. Четыре из них: это подсистема маркетинга, подсистемы стратегического и календарного планирования, подсистема оперативного управления являются основными, пятая (работа с данными) является вспомогательной. Они содержат в себе аналитическую часть и используются для автоматизации принятия решения на разных уровнях. При помощи подсистемы маркетинга, содержащей модули анализа производственных возможностей предприятия и модулей прогнозирования ситуации на рынке, выполняется выбор перспективных направлений деятельности. При помощи подсистемы стратегического планирования, производится дополнительный анализ возможностей предприятия, поиск "узких мест" и способов оптимизации работы предприятия. На основе сравнительного анализа результатов работы предприятия в различных условиях (с покупкой нового оборудования, увеличением штата и т.д.), принимается решение. При помощи подсистемы календарного планирования производится построение точных планов распределения работы предприятия. При работе предприятия по разработанным календарным планам возможны различные отклонения по случайным причинам: отказы оборудования, нарушение поставщиками своих обязательств и т.д. В этой ситуации полученное "возмущение" накладывается на график работы предприятия при помощи системы оперативного управления. Полученный вариант разрешения ситуации принимается для реализации. Подсистема работы с данными обеспечивает ввод и вывод информации в системе, поддерживает параллельную работу с данными одновременно для нескольких клиентов.

В заключении приведены основные результаты работы и выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- 1 Решена задача управления предприятием как сложной системы, включающей научно-исследовательскую деятельность через планирование процессов полного ЖЦ изделия.
- 2 Построена комплексная модель процессов ЖЦ продукции.
- 3 Разработаны алгоритмы построения оптимального стратегического, календарного, оперативного планов выполнения основной деятельности предприятия на основе системы моделей процессов полного ЖЦ изделия.
- 4 Построена автоматизированная система поддержки принятия решения при разработке стратегического, календарного, оперативного планов, проведения маркетинговых исследований и контроллинга на промышленном предприятии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

- 1 *Матвейкин В.Г.* Информационная система предприятия: построение моделей и поиск оптимального управления / В.Г. Матвейкин, А.Д. Романов, Р.М. Явник // Вестник ТГТУ. Тамбов, 2003. № 3.
- 2 *The application of the modern information technology in the high-end scientific manufacture management / V.G. Matveykin, S.B. Putin, A.D. Romanov, R.M. Yavnik // TSTU. Tambov. 2002. № 3. P. 59–67.*
- 3 *Романов А.Д.* Задача оптимального управления наукоемким мелкосерийным производством / А.Д. Романов // Математические методы в технике и технологиях: Труды XV Междунар. науч. конф. Тамбов, 2002. С. 285–286.
- 4 *Матвейкин В.Г.* Информационно-логическая модель процессов полного жизненного цикла изделия в рамках инновационного предприятия / В.Г. Матвейкин, А.Д. Романов, Р.М. Явник / ФГУП "ТамбовНИХИ". Тамбов, 2003. 21 с.: 5 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ г. Москва. № 1060–В2003.

5 *Матвейкин В.Г.* Решение задачи оптимального планирования процессов жизненного цикла изделия в рамках инновационного предприятия / В.Г. Матвейкин, А.Д. Романов, Р.М. Явник / ФГУП "ТамбовНИХИ". Тамбов, 2003. 12 с.: 11 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ г. Москва. № 1061–В2003.

6 *Матвейкин В.Г.* Построение автоматизированной системы календарного планирования деятельности наукоемкого предприятия / В.Г. Матвейкин, А.Д. Романов, Р.М. Явник / ФГУП "ТамбовНИХИ". Тамбов, 2003. 16 с.: 6 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ г. Москва. № 1062–В2003.