

На правах рукописи



Потанов Дмитрий Борисович

**РАЗРАБОТКА И ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ
ТЕКУЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ
С СЕРИЙНЫМ ТИПОМ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные методы
экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Пермь – 2006

Работа выполнена на кафедре экономической кибернетики
ГОУ ВПО «Пермский государственный университет»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Максимов Владимир Петрович

Официальные оппоненты: доктор экономических наук, профессор
Дедов Леонид Анатольевич,
кандидат экономических наук
Гилев Алексей Владимирович.

Ведущая организация: Экономический факультет
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Защита состоится «28» декабря 2006 г. в 15 часов 15 минут на заседании диссертационного совета ДМ №212.189.07 при Пермском государственном университете по адресу: 614990, г.Пермь, ул. Букирева, 15, ПГУ, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного университета

Автореферат разослан «28» ноября 2006 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета:

доктор физико-математических наук,
доцент

 П.М.СИМОНОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современная экономика России развивается в условиях нарастающих глобальных тенденций, проявляющихся, в частности, в развитии конкуренции на внутреннем и внешнем рынках и появлении на отечественных рынках транснациональных корпораций.

Следствиями этого являются: ужесточение требований к качеству принимаемых управленческих решений на всех уровнях экономики и, в первую очередь, на уровне предприятия как ядра экономических отношений; рост объемов информации, которую необходимо учитывать при принятии решений; необходимость гибкого и быстрого реагирования на изменение рыночной ситуации.

Вместе с тем высокими темпами развивается рынок информационных систем, поддерживающих современные концепции планирования и управления предприятиями, такие как MRP-II, ERP. Распространение таких систем приводит к унификации методологий планирования, методов описания бизнес-процессов, способов обработки и представления информации в различных отраслях, на различных предприятиях. Однако в таких системах отсутствуют алгоритмы строгой оптимизации планов производственной и финансово-экономической деятельности.

С учетом вышесказанного, актуальной представляется разработка моделей и программных инструментальных средств, позволяющих составлять наилучшие с точки зрения различных критериев планы с использованием имеющейся на предприятии информации.

Область диссертационного исследования соответствует требованиям паспорта специальности ВАК 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики: 1.4. – Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений; 2.3. – Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях.

Степень разработанности проблемы. Вопросы, связанные с изучением отдельных сторон исследуемой области, нашли свое отражение в научных трудах известных отечественных и зарубежных экономистов и математиков. Экономико-математическим моделированием деятельности предприятий занимались такие ученые как Дж.Форрестер, Ст.Бир, К.Негойце, А.Брайсон, Хо Ю-ши, Дж.Эндрюс, Е.Б.Фролов, А.Ф.Горшков, Н.Я.Коган, В.П.Савельев, Д.А.Поспелов, И.Г.Поспелов, А.А.Петров,

С.А.Жданов, Ю.В.Косачев, В.Н.Бурков, Т.К.Сиразетдинов и др. Исследованиям в области внутрифирменного планирования посвящены труды Р.Акоффа, Д.Хана, Р.Чейза, К.Друри, С.Н.Колесникова и др. Анализ современных подходов и методологий управления производством находит отражение в трудах Д.А.Гаврилова, С.В.Питеркина, Н.А.Оладова и др. Особое влияние на научное мировоззрение автора оказали работы ученых А.А.Первозванского, А.С.Плещинского, С.В.Рубцова.

В работах указанных ученых отмечается, что существенные трудности вызывает построение адекватных моделей промышленных предприятий на тактическом уровне, так как в этих моделях необходимо учитывать особенности каждого конкретного предприятия, связанные с технологией, типом производственного процесса, способами организации бизнес-процессов.

Разработанные на сегодняшний день модели и подходы отчасти направлены на решение узкоспециальных задач (загрузки оборудования, оптимизации производственной программы, оптимизации денежных потоков и т.д.), отчасти имеют слишком высокий уровень агрегирования (рассматривают производство как «черный ящик»), отчасти не соответствуют современным рыночным условиям (в части спроса и финансовых параметров модели).

Вместе с тем, развитие методологий управления предприятиями и, в частности, управления производственными процессами, реализующееся в корпоративных информационных системах, определяет новые требования к моделям в части используемой информации и методологических подходов. Одновременно рост вычислительной мощности компьютерной техники приводит к возможности использования сложных алгоритмов при моделировании систем достаточно большой размерности, что было нереальным еще несколько лет назад.

Таким образом, важным направлением исследований в этой области является разработка таких моделей деятельности предприятия, которые могут использоваться для поддержки принятия решений на тактическом уровне. Такие модели должны позволять учитывать особенности функционирования материально-производственной и финансово-экономической подсистем предприятия в условиях рынка; учитывать широкий спектр ограничений, неизбежно присутствующих в процессе функционирования предприятия; задавать различные критерии качества работы предприятия в зависимости от видения целей лицом, принимающим решение; легко интегрироваться в современные корпоративные информационные системы.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью исследования является разработка и инструментальная реализация математической модели поддержки принятия решений на этапе формирования основных планов материально-производственной и финансово-экономической деятельности промышленного предприятия на тактическом уровне для предприятий с серийным типом производства.

Поставленная цель определяет необходимость решения следующих задач:

1. Выявить и формализовать взаимосвязи между материально-производственной и финансово-экономической подсистемами промышленного предприятия с учетом особенностей серийного производства и разработать модель, описывающую текущую финансово-хозяйственную деятельность предприятия.
2. Дать постановку актуальной задачи оптимизации для разработанной модели и адаптировать ее для решения с помощью современных методов и алгоритмов.
3. Создать инструментарий для решения задачи оптимизации, провести вычислительные эксперименты и оценить их результаты.
4. Выработать практические рекомендации по использованию модели и созданного инструментария.

Объектом диссертационного исследования является система материально-производственного и финансово-экономического планирования на предприятиях с серийным типом производства.

Предметом диссертационного исследования выступают экономико-математические подходы и методы формализации, моделирования и оптимизации функционирования материально-производственной и финансово-экономической подсистем предприятия с серийным типом производства на тактическом уровне.

Методологической и теоретической базой исследований послужили научные труды российских и зарубежных ученых в области экономико-математического моделирования деятельности предприятий, внутрифирменного планирования, современных методологий управления предприятиями. В работе использовались положения методологических стандартов планирования ресурсов MRP II и ERP; руководства пользователя к информационным системам управления предприятием MBS-Ахapta, Syte-Line; технологическая документация, регламенты планирования и бюджетирования, материалы статистической, бухгалтерской, финансовой и управленческой отчетности предприятий защищенной полиграфии.

При решении поставленных задач к изучаемым объектам применялись следующие методы: общенаучные приемы анализа и синтеза; методы эко-

номико-математического моделирования, математического и линейного частично-целочисленного программирования. Для построения математической модели и решения задачи оптимизации использовались система компьютерной алгебры Maple и пакет решения задач частично-целочисленного линейного программирования LPsolve-5.5.

Научная новизна работы состоит в том, что автором разработана оригинальная динамическая модель финансово-хозяйственной деятельности предприятия (далее – модель ФХД), на базе которой поставлена и решена задача составления оптимальных основных планов текущей деятельности для предприятия с серийным типом производства.

Наиболее существенными результатами, имеющими научную новизну и разработанными лично автором, являются:

1. Разработана оригинальная динамическая модель финансово-хозяйственной деятельности промышленного предприятия с серийным типом производства. Основными отличительными особенностями модели являются: учет технологических особенностей серийного производства; строгое формализованное описание взаимосвязей материально-производственной и финансово-экономической подсистем предприятия на требуемом уровне детализации; возможность разработки полного комплекса планов текущей финансово-хозяйственной деятельности предприятия.
2. На базе модели финансово-хозяйственной деятельности предложен подход к конструированию класса задач частично-целочисленного линейного программирования, соответствующих реальным запросам промышленных предприятий, связанным с разработкой тактических планов. Для этого используется оригинальный метод редукции соотношений модели финансово-хозяйственной деятельности к линейным соотношениям. При конструировании конкретной задачи модель позволяет учитывать широкий спектр дополнительных ограничений и различные целевые функции, отражающие особенности конкретного предприятия и предпочтения лица, принимающего решение.
3. Разработан инструментальный модуль, реализующий решение поставленной задачи и позволяющий проводить вычислительные эксперименты, подтверждающие адекватность модели и возможность ее практического использования.
4. Определены методические подходы к использованию созданного инструментария с целью повышения эффективности системы планирования на предприятии защищенной полиграфией.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования ее научных и практических результатов для поддержки при-

нятия решений при разработке текущих планов на предприятиях с серийным типом производства.

На основе диссертационного исследования были сформулированы рекомендации по изменению системы планирования на Пермской печатной фабрике – филиале ФГУП «Гознак» (ППФГознака), а также требования к отдельным модулям информационной системы, планируемой к вводу в эксплуатацию на ППФГознака. Разработанный инструментарий используется для составления основных планов ФХД по отдельным сегментам продукции на ППФГознака.

Теоретические и практические результаты диссертационного исследования могут использоваться в учебном процессе при проведении лекционных и семинарских занятий по курсам «Исследование операций», «Математические методы в экономике», «Производственный менеджмент».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались на VI Международном конгрессе по математическому моделированию (Нижний Новгород, ННГУ, Ноябрь 2004 года), I-й конференции молодых специалистов Объединения "Гознак" (Москва, Объединение «Гознак» Минфина РФ, Март 2005 года), Шестом всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий» (Москва, ЦЭМИ РАН, Апрель 2005 года), XIII Байкальской международной школе-семинаре "Методы оптимизации и их приложения" (Северобайкальск, Июль 2005 года), Третьей международной конференции по проблемам управления (Москва, ИПУ РАН, Июнь 2006 года), семинарах Лаборатории конструктивных методов исследования динамических моделей ПермГУ под руководством В.П.Максимова (2004-2006 годы), Общероссийском научном семинаре, действующем при кафедре экономической кибернетики ПермГУ, под руководством П.М.Симонова (2006 год).

Методические положения и практические рекомендации реализованы в процессе разработки требований к модулям «Планирование производства», «Планирование финансов» системы класса ERP на ППФГознака.

Результаты исследования используются в учебном процессе в Пермском государственном университете.

Отдельные этапы работы выполнены в рамках программ РФФИ «Урал-2004» (гранты №04-01-96016, №04-06-96002) и программы «Университеты России» (ур.03.01.020).

Публикации. Результаты работы отражены в 7 научных трудах общим объемом 2,69 п.л. (личный вклад автора 2,50 п.л.).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 174 страницах машинописного текста; состоит из введения, трех глав, заклю-

чения, библиографического списка и приложений; содержит 12 таблиц, 3 рисунка, приложения и список литературы из 112 наименований.

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, сформулирована научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлена информация об их апробировании, дана общая характеристика работы.

Первая глава «Теоретико-методологические основы планирования и моделирования деятельности предприятия» содержит анализ экономико-математических методов и моделей, используемых при моделировании деятельности предприятия, теоретико-методологические основы планирования на промышленных предприятиях, краткую характеристику современных концепций управления предприятиями и анализ используемых критериев эффективности деятельности предприятий.

Вторая глава «Комплексная математическая модель финансово-хозяйственной деятельности предприятия» посвящена методологическому и математическому конструированию модели ФХД, формальному описанию показателей эффективности деятельности, постановке задачи оптимизации.

В *третьей главе* «Инструментальная реализация задачи оптимизации текущей деятельности промышленного предприятия» представлена краткая характеристика исследуемого предприятия, описана программная реализация оптимизационной задачи, приведены результаты вычислительных экспериментов, а также практические и методические рекомендации по внедрению модели и инструментария.

В *заключении* содержатся основные выводы теоретического и практического характера, полученные в результате проведенного исследования, и обозначаются возможные направления дальнейших исследований.

В *приложениях* представлена информация, подтверждающая обоснованность результатов исследования (справочно-аналитический материал).

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Разработана оригинальная динамическая модель финансово-хозяйственной деятельности промышленного предприятия с серийным типом производства.

Основными отличительными особенностями модели финансово-хозяйственной деятельности (ФХД) являются: учет технологических особенностей серийного производства; строгое формализованное описание

взаимосвязей материально-производственной и финансово-экономической подсистем предприятия на требуемом уровне детализации; возможность разработки полного комплекса текущих планов финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

В работе подразумевается, что тактический уровень планирования соответствует описанию текущей деятельности предприятия.

Модель отражает следующие особенности функционирования промышленного предприятия, характерные для серийного типа производства:

- многостадийность и многономенклатурность производства;
- возможность описания различных типов технологических сетей (последовательная, сходящаяся, сходящаяся-расходящаяся, с реверсом);
- наличие подготовительно-заключительных операций;
- наличие альтернативных технологических маршрутов;
- наличие распределения во времени материальных и финансовых потоков.

В рамках разработки модели ФХД промышленного предприятия деятельность компании рассматривается как взаимодействие двух подсистем: материально-производственной и финансово-экономической. Исходя из этого, принята следующая логика построения модели ФХД:

- первоначально строится модель материально-производственной подсистемы (модель МПП);
- затем на базе модели МПП строится модель финансово-экономической подсистемы (модель ФЭП).

Модель материально-производственной подсистемы является детерминированной динамической моделью с дискретным временем; производственный процесс описывается в терминах потоков продуктов. В модели рассматривается многостадийное многономенклатурное производство. Многостадийность производства означает, что любой конечный продукт в процессе производства может проходить несколько стадий, которые могут располагаться во времени последовательно-параллельно. Такой производственный процесс может быть представлен в виде направленной сети.

Схематично структура потоков, связанных с производством продукции, изображена на рисунке 1. Предприятие закупает на рынке материалы (*DMS – departure materials to stock*) и полуфабрикаты (*DGPS – departure goods in process to stock*). Те и другие являются исходными материалами (*RM – raw materials*) и хранятся на складе (Q^{RM} – quantity of raw materials). Материалы и покупные полуфабрикаты со склада расходуются в производство: (*DMP – departure materials to production*) и (*DGPP – departure*

goods in process to production). В процессе производства (Q^{GP} – quantity of goods in process) полуфабрикаты, производящиеся на одних стадиях, потребляются на последующих. Те полуфабрикаты, на которые есть спрос на рынке, могут сдаваться на склад готовой продукции (DFGS – departure finished goods to stock), храниться (Q^{FG} – quantity of finished goods), а затем отгружаться потребителям (DFGC – departure finished goods to customers). Таким образом, каждому конечному продукту соответствует определенный промежуточный продукт. В процессе производства помимо складироваемых ресурсов (материалов и полуфабрикатов) потребляются нескладированные ресурсы, такие как, трудовые ресурсы (L – labour), время работы оборудования (Eq – equipment), энергоресурсы (En – energy). Объем трудовых ресурсов ограничен количеством работников различных профессий, которые могут приниматься на работу и увольняться. Время работы оборудования ограничено фондом машинного времени оборудования соответствующего типа, которое увеличивается при приобретении и получении в аренду нового оборудования и уменьшается при окончании сроков аренда либо полном износе собственного оборудования.

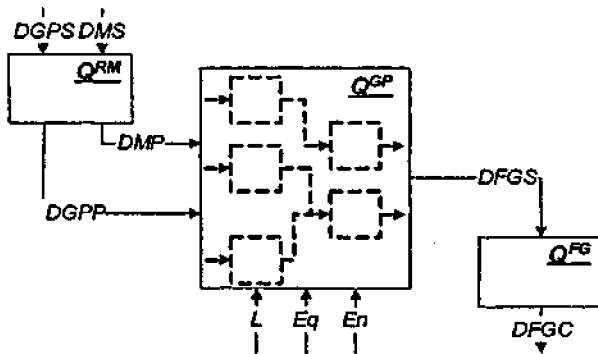


Рис. 1. Схема потоков, связанных с производством продукции.

Внутренняя структура потоков полуфабрикатов в производстве определяется схемой технологических процессов и может быть достаточно сложной. Понимая под рабочим центром определенную группировку оборудования и трудовых ресурсов, способную выполнять конкретную технологическую операцию, проиллюстрируем моделируемый производственный процесс на примере распределения полуфабрикатов по рабочим центрам (wc – work centre). Рисунок 2 отражает технологическую схему производства конечных продуктов, используемую при апробировании модели в процессе проведения вычислительных экспериментов.

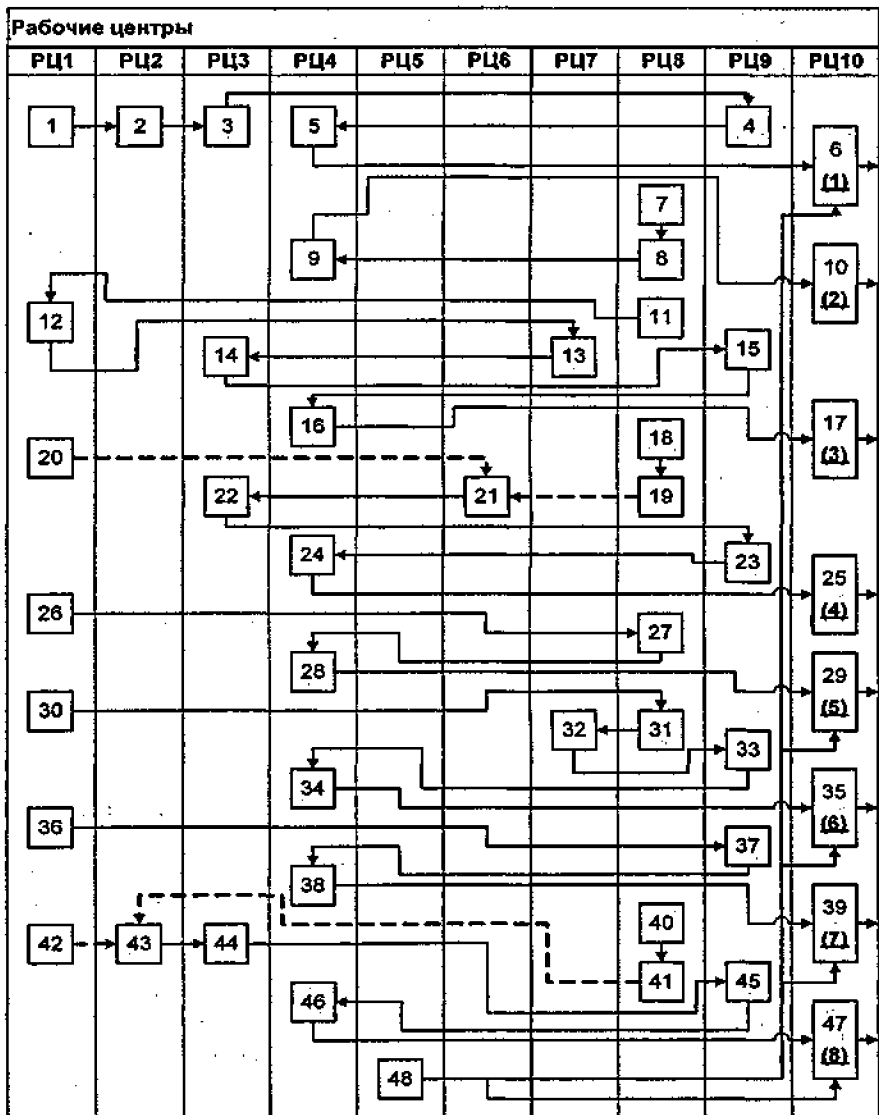


Рис.2. Распределение промежуточных продуктов по рабочим центрам.

Для выпуска 8 конечных продуктов производится 48 промежуточных продуктов, распределенных по 10 рабочим центрам (промежуточные продукты, выпускаемые в десятом рабочем центре, являются конечными). На схеме присутствуют две пары альтернативных технологических маршрутов, обозначенных пунктирными линиями. Операции 6, 29, 35, 39, 47 являются операциями компоновки, остальные операции – операции последовательной обработки.

Отметим основные особенности модели МПП:

1. При формировании технологических маршрутов в модели предусматривается возможность указания альтернативных маршрутов, т.е. маршрутов, на выходе которых результатом является один промежуточный либо конечный продукт.
2. Одной из основных особенностей серийного производства являются существенные затраты машинного времени и трудозатраты на переналадку оборудования или подготовительно-заключительные работы. В модели такие затраты выделены отдельно, т.е. если определенный промежуточный продукт производится на любом временном промежутке, необходимо понести затраты ресурсов на подготовительно-заключительные работы.
3. При небольших партиях обработки существенную долю себестоимости могут составлять материалы, определяемые по нормативам (количество единиц продукции, которые можно изготовить с использованием единицы материала), например, оснастка высокотехнологичного оборудования, поэтому расход каждого такого материала должен определяться как соответствующая целочисленная переменная.

В модели МПП дается математическое описание следующих потоков и соотношений:

- отгрузка, выпуск, динамика склада конечных продуктов по видам конечной продукции;
- динамика незавершенного производства (производства и движения полуфабрикатов между операциями), наличие подготовительно-заключительных операций по видам промежуточных продуктов;
- расход, приобретение, динамика склада материалов и покупных полуфабрикатов по видам сырья и исходных материалов (расход материалов зависит от объема производства через нормы расхода и нормативы расхода; от времени работы оборудования через нормы расхода);
- время работы оборудования (зависит от объема производства и подготовительно-заключительных операций), динамика собственного и арендуемого оборудования по видам оборудования;

- время использования трудовых ресурсов (зависит от объема производства и подготовительно-заключительных операций), время сверхурочных работ и простоев, динамика трудовых ресурсов в разрезе профессий;
- расход энергоресурсов по каждому виду (зависит от объема производства и подготовительно-заключительных операций).

Учитывая ограниченность объема автореферата, приведем здесь лишь фрагмент математического описания МПП на примере соотношений, характеризующих производство. Программа производства задается переменными $P_i(t) \geq 0$ (P – production), определяющими объем производства на всех стадиях $i = 1, \dots, N$ в каждый момент времени $t = 1, \dots, T$. Потoki полуфабрикатов в производстве описываются следующей системой уравнений и неравенств:

$$Q_i^{GP}(t) = Q_i^{GP}(t-1) + P_i(t) + DGPP_i(t) - \sum_{j \in \bar{R}} DGPP_j(t) - DFGS_i(t), \quad (1)$$

$$Q_i^{GP}(t-1) + \gamma_i \cdot P_i(t) + DGPP_i(t) - \sum_{j \in \bar{R}} DGPP_j(t) - DFGS_i(t) \geq 0, \quad (2)$$

$$Q_i^{GP}(T) \geq \overline{Q_i^{GP}(T)}, \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T, \quad (3)$$

где $Q_i^{GP}(t)$ – остаток полуфабриката типа i на конец периода t , $DGPP_i(t)$ – поставка полуфабриката типа i со склада исходных материалов в производство, $DGPP_j(t)$ – расход полуфабриката типа i для производства полуфабриката типа j , $DFGS_i(t)$ – поставка полуфабриката типа i на склад готовой продукции. Здесь уравнения (1) описывают баланс полуфабриката на каждой стадии. Неравенства (2) отражают условия достаточности промежуточного продукта на стадии i для выполнения программы производства на последующих стадиях ($j \in \bar{R}$) с учетом длительности производственного цикла на стадии i . Неравенства типа (3) показывают, что на конец горизонта планирования должны оставаться запасы незавершенного производства не ниже заданных.

Перечислим исходные данные для модели МПП.

- технологические маршруты (маршруты движения промежуточных продуктов, в разрезе рабочих центров, с указанием альтернативных маршрутов);
- нормы и нормативы расхода материалов по номенклатуре в разрезе промежуточных продуктов;

- нормы расхода машинного времени на подготовительно-заключительные операции и штучное время обработки по типам оборудования в разрезе промежуточных продуктов;
- нормы расхода трудовых ресурсов на подготовительно-заключительные операции и штучное время обработки по профессиям в разрезе промежуточных продуктов;
- нормы расхода энергоресурсов на подготовительно-заключительные операции и на штучное время обработки по видам энергоресурсов в разрезе промежуточных продуктов;
- постоянный (не зависящий от объема производства) объем расхода материалов, трудовых и энергетических ресурсов;
- длительность производственного цикла по промежуточным продуктам;
- располагаемый фонд машинного времени по типам машин;
- располагаемый фонд рабочего времени, максимальный фонд сверхурочных работ по профессиям;
- спрос по номенклатуре конечной продукции;
- срок службы оборудования по видам оборудования;
- остатки конечных продуктов, промежуточных продуктов, материалов на начало горизонта планирования;
- наличие производственных мощностей и трудовых ресурсов на начало горизонта планирования;
- ограничения по объемам поставки материалов, связанные с внешними условиями (минимальный и максимальный объемы поставки);
- ограничения по количеству вводимых производственных мощностей, связанные с внешними и внутренними условиями;
- ограничения по количеству нанимаемых и увольняемых работников, связанные с внешними и внутренними условиями;
- период освоения капитальных вложений по видам оборудования.

На базе модели материально-производственной подсистемы строится модель финансово-экономической подсистемы. Модель ФЭП строится с использованием аппарата поточно-финансовых структур с дискретным временем. На рисунке 3 приведена разработанная схема поточно-финансовой структуры, используемой в модели.

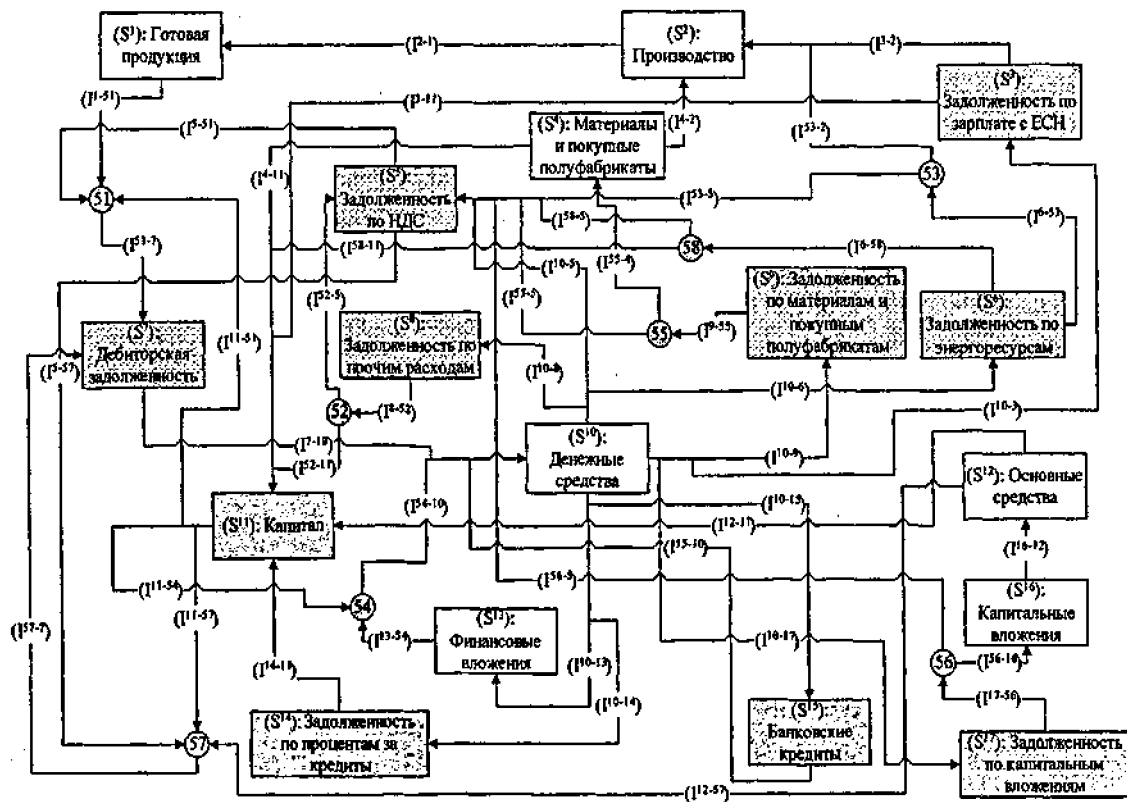


Рис.3. Поточно-финансовая структура промышленного предприятия.

Под поточно-финансовой структурой понимается способ математического описания и графического представления операций финансово-хозяйственной деятельности в их стоимостной оценке, а также активов предприятия и источников их формирования. На схеме в качестве блоков представлены счета активов либо пассивов предприятия; стрелки, соединяющие блоки, отражают потоки, характеризующие операции финансово-хозяйственной деятельности; кружки отражают слияние либо разделение потоков. Все потоки и счета измеряются в стоимостных показателях.

Потоки характеризуются интенсивностями (I). Они считаются положительными, когда средства движутся в направлении стрелок, и отрицательными в противном случае. Содержимое блоков-накопителей представляет остаток счетов (S). Активные счета на схеме изображены светлыми прямоугольниками, пассивные – темными, а активно-пассивные – заштрихованными. Направление потока определяет положительное перемещение средств. В счете-источнике потока средства убывают, в конечном счете – увеличиваются. Пассивы на такой схеме характеризуются отрицательными величинами, активы – положительными, активно-пассивные счета могут быть как положительными, так и отрицательными. Сумма всех счетов в каждый момент времени равна 0. Текущее содержимое накопителей является результатом притоков и оттоков на отрезке времени от начального до текущего момента с учетом содержимого в начальный момент.

При описании потоков ПФС применяется методика калькулирования себестоимости *Direct Costing*, в соответствии с которой на себестоимость выпускаемой продукции относятся только прямые затраты, косвенные затраты относятся на финансовый результат (счет «Капитал»)

Часть потоков модели ФЭП, отражающих экономику производства, строится на базе потоков и соотношений МПП с использованием соответствующих стоимостных характеристик. Оставшиеся потоки определяют финансовую деятельность и описываются с использованием финансовых параметров модели.

Результатом математического описания модели ФЭП является формализованное представление следующих потоков и счетов:

- себестоимости выпускаемой и реализуемой продукции по видам промежуточной и конечной продукции;
- потоки, характеризующие материальные затраты, затраты энергоресурсов, заработную плату, амортизацию, прочие (в т.ч. постоянные) расходы по видам соответствующих ресурсов;
- потоки, описывающие закупку материалов и оборудования по видам материалов и оборудования;

- потоки, связанные с погашением дебиторской и кредиторской задолженности в разрезе соответствующих контрактов;
- потоки, отражающие размещение свободных средств и привлечение кредитов;
- поток прибыли;
- динамика всех счетов ПФС.

В модели ФЭП используются следующие параметры:

- цены готовой продукции, материалов, трудовых ресурсов, энергоресурсов, приобретаемого и арендуемого оборудования, постоянные затраты;
- процентные ставки по привлекаемым и размещаемым средствам;
- порядок оплаты (процент предоплаты, период предоплаты, период погашения задолженности) в разрезе контрактов по всем поступлениям и платежам по операционной деятельности и приобретению оборудования;
- себестоимость остатков конечных продуктов, промежуточных продуктов, стоимость материалов на начало горизонта планирования;
- стоимость основных средств и капитальных вложений на начало горизонта планирования;
- остатки (сальдо) денежных средств, дебиторской и кредиторской задолженности, капитала на начало горизонта планирования.

Совокупность соотношений модели МПП и модели ФЭП представляют модель ФХД.

2. На базе модели финансово-хозяйственной деятельности предложен подход к конструированию класса задач частичного-целочисленного линейного программирования.

Уравнения и неравенства модели ФХД являются базой для конструирования оптимизационной задачи.

В настоящее время существует хорошо разработанные алгоритмы для решения задач линейного программирования, в т.ч. с целочисленными переменными.

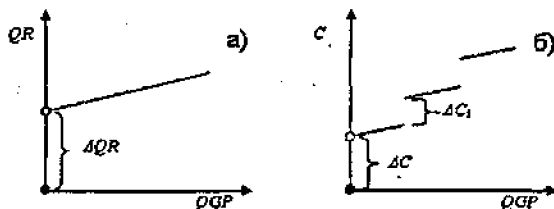


Рис. 4. Взаимосвязь между затратами и объемом производства.

Препятствием для использования данных алгоритмов являются нелинейные соотношения модели ФХД двух типов. Первый тип нелинейных соотношений связан с видом зависимости затрат факторов производства от объема производства. Взаимосвязь между объемом производства QGP и затратами отдельных факторов производства QR (Рис. 4, а), а также между объемом производства и стоимостью изготовления этого объема C (Рис. 4, б) являются кусочно-линейными функциями. Скачки ΔQR , ΔC связаны с необходимостью учета стоимости подготовительно-заключительных операций, скачки ΔC_i связаны с расходом в производство материалов, определяемых по нормативам.

Учет подготовительно-заключительных операций осуществляется с помощью использования вспомогательных бинарных (булевых) переменных PFO вводом в модель следующих соотношений:

$$P_i(t) \leq PFO_i(t) \cdot BigConst,$$

$$PFO_i(t) - binary, \quad i \in KGP, \quad t = 1, \dots, T,$$

где $P_i(t)$ – производство полуфабриката на стадии i в периоде t , $BigConst$ – большая постоянная величина. Учет затрат, определяемых по нормативам обеспечивается требованием целочисленности соответствующих потоков расхода ресурсов в натуральном выражении.

Второй тип нелинейных соотношений связан с тем, что себестоимость изготовленная промежуточного продукта зависит от технологического маршрута и от изменения цен на ресурсы, так как включает средневзвешенную стоимость используемых материалов и полуфабрикатов, поэтому до определения программы производства она не может быть вычислена. Учет зависимостей такого типа осуществлен путем введения в модель дополнительных параметров – оценок стоимостей материалов и промежуточных продуктов. Невязки, связанные с отклонением средневзвешенных цен от оценок, относятся на финансовый результат с помощью доопределения модели фиктивными потоками. В работе показано, что использование невязок не накладывает дополнительных ограничений на исходные параметры, а также предложен подход к выбору соответствующих невязок.

С учетом новых переменных и параметров на базе модели ФХД конструируется класс задач частично-целочисленного линейного программирования. Здесь речь идет именно о классе задач, так как, во-первых, помимо обязательных ограничений на базе потоков и счетов ПФС могут конструироваться дополнительные ограничения, определяемые потребностями конкретного предприятия, во-вторых, в задаче могут использоваться различные целевые функции, построенные с использованием соотношений ПФС. Эти два фактора могут существенно видоизменять задачу оптимизации.

В задаче используются следующие обязательные типы ограничений:

1. В подсистеме потоков, моделирующих производство в натуральных показателях:
 - технологические маршруты (с учетом альтернативных);
 - ограничения на фонд машинного времени, фонд рабочего времени, объемы сверхурочных работ;
 - ограничения по спросу на конечные продукты;
 - балансовые уравнения, описывающие движение конечных продуктов, промежуточных продуктов, материалов;
 - уравнения, описывающие расход материальных и энергетических ресурсов;
 - ограничения на объемы поставки материалов;
 - динамика производственных мощностей и трудовых ресурсов.
2. В подсистеме потоков, описывающих финансово-экономическую деятельность:
 - уравнения, описывающие взаимосвязь между потоками МПП и финансово-экономическими потоками ПФС;
 - уравнения финансовых потоков ПФС;
 - балансовые уравнения ПФС.

В качестве дополнительных ограничений могут использоваться любые линейные комбинации счетов и потоков ПФС, что позволяет в качестве ограничений задавать широкий спектр распространенных показателей финансово-хозяйственной деятельности (рентабельность, ликвидность, оборачиваемость и т.д.). В работе приведены формулы для расчета 20 показателей, характеризующих различные аспекты деятельности.

В качестве целевой функции рационально использовать линейную комбинацию счетов и потоков ПФС, например, накопленная прибыль, де-

нежный поток и прочие (в зависимости от целей, определяемых лицом, принимающим решения).

Целочисленными переменными в задаче являются потоки ввода оборудования, увеличения и сокращения численности. Бинарными (булевыми) являются переменные, характеризующие наличие подготовительно-заключительных операций.

Основной целью моделирования деятельности промышленного предприятия является разработка следующих оптимальных планов:

- продаж, производства, и снабжения;
- увеличения и сокращения производственных мощностей;
- увеличение и сокращения численности производственных рабочих;
- размещения свободных средств и привлечения инвестиций.

Основным назначением оптимизационной задачи является разработка наилучшей производственной программы промежуточных и конечных продуктов на рассматриваемом горизонте планирования (тактическое планирование). Одновременно модель позволяет учитывать возможности изменения производственной структуры объекта, объемов и ассортимента продукции (элементы стратегического планирования). Однако, в случае, когда результатом оптимального решения задачи является расширение производственных мощностей путем приобретение нового оборудования, предлагается использовать дополнительные методы оценки целесообразности таких проектов, так как срок их окупаемости обычно превышает горизонт тактического планирования. После дополнительного анализа проводится корректировка ограничений оптимизационной задачи, и задача решается повторно.

Наибольший эффект от использования модели ФХД может быть получен в серийном производстве с большим удельным весом подготовительно-заключительных работ при использовании стратегии позиционирования продукта «сборка на заказ» и «производство на заказ».

3. Разработан инструментальный модуль, реализующий решение поставленной задачи и позволяющий проводить вычислительные эксперименты, подтверждающие адекватность модели и возможность ее практического использования.

Моделирование потоков проводилось с использованием матричных и символьных вычислений, реализованных в математическом пакете Maple. Задача оптимизации решалась в пакете LpSolve5.5, предназначенном для решения задач частично-целочисленного линейного программирования с поддержкой работы с частично-непрерывными переменными.

Моделирование производилось на примере производства высокозащитной полиграфической продукции на базе данных, представленных Пермской печатной фабрикой «Гознака». Распределение промежуточных продуктов по рабочим центрам для моделируемой технологической схемы предприятия приводится на рисунке 2, стр.11.

Параметры исследуемой модели ФХД представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры модели ФХД	
Параметр	Значение
Количество периодов	1-3
Количество конечных продуктов	8
Количество промежуточных полуфабрикатов	48
Количество видов материалов	97
Количество видов оборудования	8
Количество профессий	11
Количество контрактов	1
Количество видов прочих расходов	1
Количество видов энергии	0
Количество типов ограничений	90
Количество типов переменных	70

Размерность задачи и время расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Размерность задачи и время расчетов			
Параметры	Эксп.1	Эксп.2	Эксп.3
Количество периодов	1	2	3
Количество ограничений	1409	2456	3387
Количество переменных	1376	2427	3536
в т.ч. целочисленных	8	16	32
бинарных	48	96	144
Время поиска оптимального решения ¹ , сек	1-5	60-...	900-...
Время решения без бинарных и целочисленных переменных, сек.	0,1	5	180
Минимальное время поиска первого допустимого целочисленного решения, сек.	0,6	10	600

¹ Время решения приведено для расчетов на компьютере, имеющем характеристики: процессор P-4, 2.66ГГц, ОЗУ 768 МБ.

Время поиска оптимального значения представлено в виде диапазона, так как он существенно изменяется в зависимости от функционала и параметров модели.

Отметим некоторые основные характеристики оптимального решения задачи при использовании в качестве целевого функционала накопленной прибыли:

1. При прочих равных условиях производство конечного продукта осуществляется по самому дешевому маршруту. При изменении стоимости маршрута выбираемый для производства в решении маршрут изменяется. При условии недостаточности объема наработки полуфабриката по «дешевому» маршруту для удовлетворения спроса на конечную продукцию, для дополнительной наработки выбирается более «дорогой» маршрут. Таким образом, в результате решения оптимизационной задачи выбирается наиболее выгодный с точки зрения накопленной прибыли (или другого заданного критерия) допустимый технологический маршрут.
2. Решение об объемах наработки полуфабрикатов на несколько периодов принимается исходя из соотношений стоимости подготовительно-заключительных операций при производстве данного полуфабриката в каждом из периодов и упущенной выгоды от замораживания средств в запасах. Таким образом, система обеспечивает поддержку принятия решений о наработке полуфабриката в счет потребности будущих периодов, с целью снижения удельных затрат.
3. При разовом увеличении спроса, которое приводит к необходимости сверхурочных работ, планируются сверхурочные работы; при постоянном увеличении спроса, начиная с определенно периода, вместо сверхурочных работ планируется увеличение численности. Это происходит, когда дополнительные затраты, связанные со сверхурочными работами, превышают затраты, связанные с обучением работников.
4. В случае, когда нет ограничений на обязательный выпуск продукции, вместо производства низкорентабельной продукции предлагается размещать средства на рынке капитала.
5. В случае недостатка собственных средств и невозможности привлечения заемных средств из производства исключаются даже рентабельные изделия, имеющие высокие показатели иммобилизации средств (длительный период погашения дебиторской задолженности или большую долю авансов по материалам, используемым для производства данных изделий).
6. При оценке возможности принятия обязательств по отгрузке дополнительных заказов на данные изделия устанавливается ограничение на непревышение накопленного спроса, тогда

результатом решений задачи является определение минимального срока изготовления дополнительных заказов

Основные планы ФХД, построенные на основе решения оптимизационной задачи, показали адекватность модели. Результатом моделирования стала возможность снижения затрат и заделов незавершенного производства в связи с более рациональным распределением программы производства по периодам по сравнению с существующими на ППФГознака планами. Экономический эффект, связанный со снижением затрат и уменьшением запасов полуфабрикатов составил порядка 170 тыс.руб. в квартал.

4. Определены методические подходы к использованию созданного инструментария с целью повышения эффективности системы планирования на предприятии защищенной полиграфии.

Итогом апробирования модели послужили методические подходы и рекомендации, касающиеся совершенствования системы текущего планирования и организации информационных потоков на ППФГознака.

Рекомендации, связанные с совершенствованием системы планирования:

1. Внедрить предлагаемую в диссертационном исследовании модель для целей тактического планирования ФХД. Модель целесообразно использовать при планировании на год с поквартальной разбивкой, при планировании на квартал - с ежемесячной разбивкой. Для отдельных расчетов модель может применяться для планирования на месяц с подекадной разбивкой.
2. Для планирования по изделиям, для которых характерен массовый тип производства, в модели не следует учитывать подготовительно-заключительные операции. При этом в нормы, связанные со штучным временем обработки, следует добавить время из нормативов на подготовительно-заключительные работы исходя из планируемой разбивки по периодам.
3. Для изделий, по которым принята стратегия позиционирования продукта «сборка на заказ», необходимо устанавливать дополнительные ограничения, связывающие объемы производства на операциях, где используются уникальная информация, исходя из сроков получения такой информации от заказчиков.
4. Функциональные обязанности различных служб в рамках существующей организационной структуры, связанные с подготовкой данных для модели и работой с моделью, целесообразно распределить следующим образом:

- служба главного технолога представляет технологическую информацию (технологические маршруты, нормы и нормативы расхода всех типов ресурсов);
- служба главного механика представляет информацию о возможности закупки и аренды оборудования, стоимости оборудования, срокам службы оборудования, периодах освоения капитальных вложений, графики планово-предупредительных ремонтов;
- служба коммерческого директора представляет данные по спросу на конечные продукты, стоимостные характеристики конечной продукции и материалов, распределение видов продукции и материалов по видам контрактов, целевые остатки готовой продукции на конец горизонта планирования;
- отдел управления персоналом представляет тарифные ставки и проценты начислений на заработную плату, информацию по стоимости обучения;
- отдел организации производства представляет информацию по длительности производственного цикла по промежуточным продуктам, целевые остатки полуфабрикатов на конец горизонта планирования;
- финансовый отдел представляет финансовые параметры по всем видам контрактов, процентные ставки по привлекаемым и размещаемым средствам;
- сбор и обработку всей необходимой информации, дополнительные расчеты для модели и непосредственную работу с моделью осуществляет экономический отдел.

Основные изменения, которые необходимо внести в информационную систему:

1. Изменить структуру технологической документации: дополнительно выделить промежуточные продукты и технологические маршруты их изготовления.
2. Создать и закрепить за соответствующими службами ведение следующих технологических справочников:
 - норм и нормативов расхода всех типов ресурсов на изготовление промежуточных продуктов;
 - норм расхода полуфабрикатов между стадиями с учетом производственно-технических отходов;
 - альтернативных технологических маршрутов для производства конечных продуктов;

- длительностей производственного цикла изготовления промежуточных продуктов;
3. Формализовать процедуру согласования с поставщиками минимальных и максимальных объемов закупки материалов.
 4. Сформировать и поддерживать в актуальном состоянии единую базу данных цен на материалы.
 5. Организовать процедуру определения всех затрат, связанных с обучением работников новым профессиям.
 6. Провести систематизацию и группировку финансовых параметров в разрезе контрактов по реализации конечных продуктов, покупке материалов и оборудования.

Приведенные рекомендации способствуют устранению существующих недостатков в системе текущего планирования ППФГознака. Рекомендуемые изменения позволят:

- существенно сократить продолжительность формирования планов;
- упростить иерархию системы планирования;
- обеспечить увязку всех планов в системе, что позволит при изменении ограничений в одном из планов автоматически получать изменения во всех планах;
- формировать программу производства в разрезе операций, что устранит некорректности при расчетах загрузки оборудования, численности, бюджетов и балансовых показателей;
- учитывать особенности организации полиграфического производства, что позволяет более рационально использовать трудовые и машинные ресурсы;
- унифицировать систему планирования и информационные потоки.

Помимо этого были сформулированы основные требования к модулям «Планирование производства», «Планирование финансов» системы класса ERP, планируемой к внедрению на ППФГознака.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

1. Разработана оригинальная динамическая модель текущей финансово-хозяйственной деятельности промышленного предприятия, имеющего сложную производственную структуру. В отличие от существующих модель ФХД

- позволяет учитывать особенности, характерные для предприятий, с серийным типом производства (многостадийность и многономенклатурность производства; возможность описания различных типов технологических сетей; учет альтернативных технологических маршрутов; выделение подготовительно-заключительных операций; распределение во времени материальных и финансовых потоков),
 - представляет формализованное описание взаимосвязей между материально-производственной и финансово-экономической подсистемами предприятия, адекватное (по степени декомпозиции) задаче разработки полного комплекса тактических планов финансово-хозяйственной деятельности предприятия.
2. На базе модели ФХД предложен подход к конструированию класса задач частично-целочисленного линейного программирования, с использованием авторского метода редукции нелинейных соотношений модели ФХД к линейным без предъявления дополнительных требований к исходным данным.
 3. Разработан инструментарий для решения поставленной задачи оптимизации и проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие адекватность и практическую применимость модели, на данных, характеризующих деятельность ППФГознака – одного из крупнейших полиграфических предприятий Европы.
 4. Сформулированы методические рекомендации по совершенствованию системы текущего планирования и организации информационной системы для использования модели и разработанного инструментария на ППФГознака с учетом выявленных недостатков в существующей системе планирования.

Результаты диссертационного исследования отражены в следующих публикациях:

1. Потапов Д.Б. Комплексная модель финансово-хозяйственной деятельности промышленного предприятия: общее описание, задача оптимизации, постановка вычислительных экспериментов [текст] / Д.Б.Потапов // Системы управления и информационные технологии. Москва-Воронеж, Научная книга, 2006, №3.1(25), с.178-182. 0.56 п.л.
2. Потапов Д.Б. Об одном подходе к моделированию деятельности промышленного предприятия: модель производственной подсистемы на примере технологии защищенной полиграфии [электронный ресурс] / Д.Б.Потапов // 1 электрон.опт.диск (CD-ROM). Третья международная конференция по проблемам управления (20 – 22 июня 2006 года):

Пленарные доклады и избранные труды. М.: Институт проблем управления, 2006, с.617-623. 0.44 п.л.

3. Потапов Д.Б. Модель промышленного предприятия на основе поточно-финансовой структуры [текст] / Д.Б.Потапов // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж, Научная книга, 2006, №5(30), с.566-575. 0.56 п.л.
4. Потапов Д.Б. Модель системы производственных объектов: постановка задачи оптимального управления [текст] / Д.Б.Потапов, И.Н.Шафранская // Равновесные модели экономики и энергетики. Труды Всероссийской конференции и секции Математической экономики XIII Байкальской международной школы-семинара "Методы оптимизации и их приложения", Иркутск, Байкал, 3-7 июля 2005 года: ИСЭМ СО РАН. 2005, с.212-218. 0.31 п.л. (авт. 0.16 п.л.)
5. Потапов Д.Б. Использование математической модели деятельности промышленного предприятия в качестве инструмента стратегического и оперативного планирования [текст] / Д.Б.Потапов, И.Н.Шафранская // Материалы Шестого всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий» Ч.1. – М.: Изд-во ЦЭМИ РАН, 2005, с.146-147. 0.06 п.л. (авт. 0.03 п.л.)
6. Потапов Д.Б. Математическое моделирование деятельности промышленного предприятия [текст] / Д.Б.Потапов // Сборник тезисов докладов VI Международного конгресса по математическому моделированию 20-26 ноября 2004 г., Нижний Новгород, Университет Нижнего Новгорода, с.431. 0.06 п.л.
7. Потапов Д.Б. Моделирование деятельности промышленного предприятия. Задача управления [текст] / Д.Б.Потапов // Экономическая кибернетика: математические и инструментальные методы анализа, прогнозирования и управления. Сборник статей. / Перм.ун-т. – Пермь, 2002, с.168-179. 0.69 п.л.

Подписано в печать 27.11.2006 г.

Формат 60x84 1/16. Бум.офс. Печать на ризографе.

Усл.печ.л. 1,6. Тираж 110 экз. Заказ № 501.

Типография Пермского университета.

614990. г.Пермь, ул.Букирева, 15

