

На правах рукописи

ОЛЕЙНИК Татьяна Николаевна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА ФИНАНСИРОВАНИЯ
ПОРТФЕЛЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
С УЧЁТОМ ИНФЛЯЦИИ**

**Специальность 05.13.18 - Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2007

Работа выполнена на кафедре вычислительной математики и кибернетики
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель	д-р физ.-мат. наук, проф. Бронштейн Ефим Михайлович
Официальные оппоненты	д-р физ.-мат. наук, проф. Житников Владимир Павлович канд. техн. наук Павлов Дмитрий Александрович
Ведущая организация	Институт проблем информатики РАН

Защита состоится 4 мая 2007 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Уфа- центр, ул. К. Маркса 12, УГАТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 21 марта 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

В.В. Миронов

Общая характеристика работы

Актуальность темы

В сентябре 2006 г., международное рейтинговое агентство Standard & Poor`s, которое считается самым консервативным в вопросе повышения рейтингов, повысило инвестиционный рейтинг России, отреагировав таким образом на выплату Россией долга Парижскому клубу кредиторов, а также на растущие показатели золотовалютных резервов и улучшение показателей бюджета.

S&P было последним из «тройки» (Moody's, Fitch и Standard & Poor`s) рейтинговым агентством, присвоившим России первую рейтинговую ступень в инвестиционной зоне. Произошло это 31 января 2005 г. и стало мощным толчком к росту фондового рынка во 2-й половине 2005 и начале 2006 гг. После этого было несколько повышений рейтингов уже в инвестиционной зоне всеми тремя агентствами.

Теперь Российская Федерация входит в перечень стран, перспективных с точки зрения инвестиций, предоставляемый международным инвестиционным банком «Lehman Brothers Aggregate», документация которого используется инвестирующими организациями в качестве основания для принятия решения.

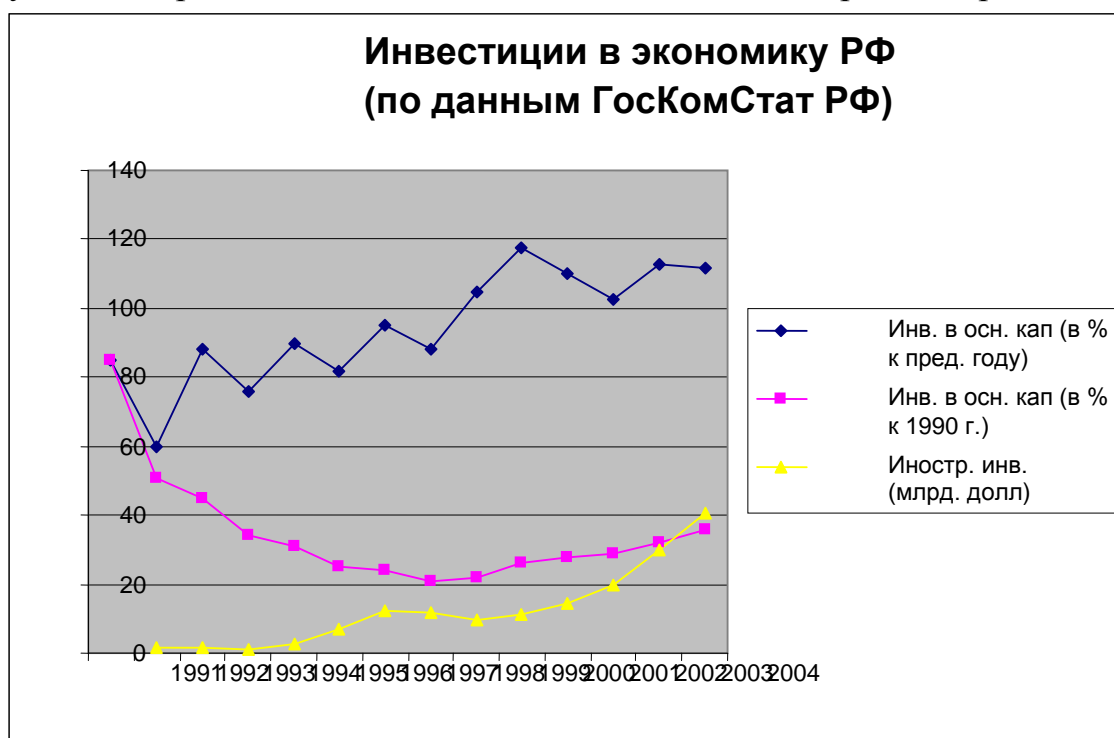


Рисунок 1. Инвестиции в экономику Российской Федерации (по данным ГосКомСтат РФ).

Однако, несмотря на явные улучшения инвестиционного климата России, из рисунка 1 видно, что инвестиции в основной капитал ещё далеко не достигли

дореформенного уровня 1990-го года. Несмотря на то, что в 2005 году РФ стала крупнейшим получателем иностранных инвестиций в Юго-Восточной Европе и СНГ, получив 26 млрд. долл. из 50 млрд. долл., вложенных в регион (по данным ЮНКСТАД), она по-прежнему значительно отстаёт от мировых лидеров – Китая (60,3 млрд. долл. инвестиций в 2005 г.), США (106 млрд. долл.) и Великобритании (219 млрд. долл.).

Многие исследователи полагают, что относительно низкая инвестиционная привлекательность экономики Российской Федерации обусловлена недостаточной эффективностью инвестиций. Поэтому повышение эффективности инвестиций является актуальной задачей. Одним из направлений повышения эффективности инвестиций является сокращение общего срока финансирования инвестиционного портфеля.

Всё больше различных научных коллективов в России и за рубежом занимаются вопросами повышения эффективности инвестиционной деятельности, управления проектами и теорией календарного планирования (С.В. Севастьянов, И.В. Буркова, В.Н. Бурков, В.Н. Лившиц, П.Л. Виленский, С.А. Смоляк, Э.Х. Гимади, С.Н. Potts, D.B. Shmoys, K. Jansen, J.K. Lenstra).

Актуальность данной темы исследования подтверждается также тем, что в «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации», утверждённым Президиумом РАН РФ, включены темы: «1.1.7. Математическое моделирование», «7.2.6. Анализ нестационарных динамических макроэкономических процессов. Теория и методы экономико-математического моделирования».

Цель работы и задачи исследования

Целью работы является построение математической модели, разработка численных методов и программного продукта для решения задачи оптимизации графика финансирования инвестиционного портфеля, обеспечивающей повышение эффективности деятельности инвестора за счёт сокращения общего срока финансирования портфеля проектов. Для достижения данной цели должны быть решены следующие задачи:

1. Построить модель формирования графика финансирования портфеля взаимосвязанных инвестиционных проектов, минимизирующего общий срок его финансирования и учитывающего инфляцию.
2. Произвести сравнение и выбор критериев оценки эффективности инвестиционного проекта.
3. Разработать алгоритмы решения поставленной задачи.
4. Разработать программное обеспечение для исследования сравнительной эффективности разработанных алгоритмов.
5. Провести вычислительный эксперимент для выбора наиболее эффективного алгоритма.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Математическая модель формирования графика финансирования портфеля взаимосвязанных инвестиционных проектов, учитывающая ресурс-

ные ограничения и влияние инфляции, в которой минимизируется общий срок финансирования портфеля инвестиционных проектов.

2. Сравнительный анализ критериев оценки эффективности проектов для формирования приоритетного списка и статистические исследования качества решений, получаемых на их основе.

3. Обоснование NP-трудности поставленной задачи, основанное на интерпретации задачи с точки зрения теории графов, и двухэтапный алгоритм её решения, сочетающий численные методы «первого подходящего» и «ветвей и границ».

4. Программное обеспечение, реализующее предлагаемый алгоритм.

5. Результаты вычислительных экспериментов, показывающие, что для решения поставленной задачи предлагаемый алгоритм при небольшой размерности задачи даёт расписания, близкие к оптимальному, при существенной экономии вычислительных ресурсов пользователя. Также эксперименты показывают, что, как правило, предпочтительнее использовать первоначальную сортировку по модифицированному индексу рентабельности.

Научная новизна

1. Предложена математическая модель формирования расписания финансирования портфеля взаимосвязанных инвестиционных проектов, которая, в отличие от существующих задач календарного планирования, учитывает изменчивые ресурсные ограничения и влияние инфляции на процесс финансирования взаимосвязанных инвестиционных проектов, где в качестве критерия оптимизации принят общий срок финансирования портфеля.

2. Использованы показатели инвестиционных проектов (минимум средств для финансирования, модифицированный индекс рентабельности), не применявшиеся ранее при формировании портфелей.

3. Предложен алгоритм решения поставленной задачи, который совмещает два наиболее распространённых подхода к решению NP-полных задач. При этом с помощью метода «первого подходящего» (First Fit), удаётся получить эффективную оценку сверху в качестве входящих данных метода «ветвей и границ» (Branch-Bound). Особенностью поставленной задачи является то, что алгоритмы типа «первый подходящий» не обеспечивают оптимума ни при каком исходном упорядочивании проектов.

4. Вычислительный эксперимент позволил выделить наилучший приоритетный список из трёх рассмотренных. Показано, что ранжирование по убыванию модифицированного показателя рентабельности (Rent) является лучшим для алгоритма «первого подходящего» (First Fit).

Практическая значимость и внедрение результатов

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что предложенный алгоритм и реализованный на его основе программный продукт построения расписания финансирования инвестиционного портфеля внедрен в виде надстройки к уже существующей системе информационной под-

держки управления портфелем, используемой инвестором. Разработанное программное обеспечение позволяет пользователям строить близкое к оптимальному расписание финансирования портфеля при значительной экономии вычислительных ресурсов пользователя и проводить вычислительные эксперименты. Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать выводы о влиянии различных параметров внешней финансовой среды и характеристик проектов на качество и время вычисления получаемого решения.

Исследования проводились в рамках гранта РФФИ 04-06-80009 «Математическое моделирование инвестиционных проектов в реальных экономических условиях» (2004–2006 гг.).

Разработанные алгоритм и программное обеспечение внедрены в компании «Бисот».

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на: Всероссийской молодёжной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления и обработки информации» (УГАТУ, 2003); V Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике (Санкт-Петербург, 2–8 мая 2005); Зимней школе–семинаре аспирантов УГАТУ, (Уфа, 2006); VII Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике (Кисловодск, 2-8 мая 2006); 18-ой международной конференции по системным исследованиям, информатике и кибернетике (Баден-Баден, 2006); 8-я Международной конференции "Компьютерные науки и информационные технологии" CSIT'2006 (Карлсруэ, Германия); Башкирско-Германском форуме молодых экономистов (Уфа-2006); Международной школе-семинаре имени академика С.Шаталина «Системное моделирование социально-экономических процессов» (Воронеж, 9–13 октября 2006); Международной научно-практической конференции «Разработка оценки эффективности и реализация инвестиционных и инновационных проектов» (Ташкент, 14–16 ноября 2006).

Публикации. Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 11 научных трудах, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, и статьи в 4 международных и 4 российских научных изданиях.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из 122 страницы машинописного текста, включающего введение, три главы, заключение, рисунки, таблицы и список литературы из 123 наименований.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассматриваются наиболее распространённые подходы к постановке и решению задач теории расписаний. Приводится содержательное описание задачи календарного планирования, возникающей в случае, если у инвестора не хватает средств для одновременного финансирования всех отобранных инвестиционных проектов. Проводится анализ существующих моделей задач теории расписаний и анализируется их соответствие описанной проблеме.

Были рассмотрены следующие задачи календарного планирования:

- задача мастера – задана для одного обслуживающего прибора;
- задача Джонсона – класс задач с двумя обслуживающими приборами;
- задача теории расписаний как задача частично-целочисленного линейного программирования;
- задачи ресурсного планирования комплексов работ;
- общая модель многостадийной обслуживающей системы (С.В. Севастьянов):
 - система открытого типа (общий случай задачи open shop);
 - задача job shop;
 - задача flow shop.

Анализ перечисленных моделей выявил три наиболее существенных отличия задач оптимизации сроков инвестирования от традиционных задач календарного планирования:

1. Отсутствие составляющей, аналогичной понятию «машины». Количество проектов, которые одновременно может профинансировать инвестор, определяется не неким фиксированным числом «машин», а сочетанием средств, которыми располагает инвестор, и средств, которые требуются для финансирования рассматриваемых проектов. Это сочетание не является статичным и принимает свои значения для каждого сочетания располагаемых в данный момент средств инвестора и финансируемых проектов.

2. Изменяемость «работ». Инфляция оказывает важное влияние на экономическую ситуацию в стране, поэтому необходимо делать пересчёт проектов в соответствии с неким инфляционным коэффициентом. Традиционная же модель теории расписаний не предусматривает изменения ресурсной составляющей рассматриваемых работ.

3. Возможное сочетание одно- и многостадийных проектов. В один и тот же портфель инвестор может отобрать как моно-, так и мульти- проекты. Рассмотренные модели не учитывают возможности такого сочетания.

Приведённые отличия говорят о том, что для применения теории расписаний к инвестиционной практике необходимо внести существенные коррективы в описанную ранее модель.

Во второй главе предлагается новый подход к моделированию инвестиционного процесса, описываются интегральные характеристики инвестиционного проекта, приводится постановка задачи календарного планирования, её

интерпретация с точки зрения теории графов, также сделан анализ сложности поставленной задачи.

Основные понятия

В предлагаемой модели время принимает дискретные значения $0, 1, 2, \dots$. Предусматривается возможность вложения в банк как альтернативного использования средств, через i обозначена банковская процентная ставка.

Также учитывается влияние инфляции. Реальная покупательная способность денег со временем падает. Темп инфляции r – доля, на которую ежегодно в среднем увеличиваются цены товаров и услуг.

Значения i, r могут меняться от года к году; в данной работе эти параметры предполагаются постоянными, в то же время, описанные алгоритмы применимы и в общем случае.

Под инвестиционным проектом (потоком платежей) понимается вектор $C = (c_0, c_1, \dots, c_l)$ произвольной размерности, обладающий следующими свойствами: первая ненулевая компонента C отрицательная, последняя ненулевая компонента C и сумма компонент $\sum_{i=0}^l c_i$ положительные, здесь l – длительность проекта. Значение c_i есть размер выплаты в момент i (далее считаем, что это начало года). Если $c_i > 0$, то средства поступают инвестору, если $c_i < 0$, то инвестор средства в проект вкладывает.

Характеристики проектов

Сравнение проектов осуществляется на основании интегральных числовых показателей, которые учитывают как сами потоки платежей, так и внешнюю финансовую ситуацию.

В работе используются следующие характеристики проектов:

$$- NPV(C, i) = \sum_{k=0}^l c_k * (1+i)^{-k} - \text{«чистый приведенный доход» проекта (Net Present Value), то есть дисконтированная суммарная прибыль по проекту;}$$

$$- MM(C, i) = - \min_q \sum_{k=0}^q c_k * (1+i)^{-k} - \text{минимум средств, необходимых для}$$

финансирования проекта;

$$- R(C, i) = \frac{NPV(C, i)}{MM(C, i)} - \text{модифицированный индекс рентабельности,}$$

смысл его заключается в дисконтированной отдаче на единицу средств, которые необходимо иметь для финансирования проекта.

Постановка задачи и математическая модель

Проекты могут иметь ограничения по сроку начала финансирования: U_i, V_i – натуральные числа, характеризующие соответственно минимально и максимально возможную даты начала финансирования.

Предполагается, что отобрано несколько проектов (портфель) $C_j = (c_{j0}, c_{j1}, \dots)$, где $j = 1, \dots, m$ – номер проекта в портфеле, а c_{ji} – i -ая выплата по j -ому проекту.

Пусть связь между сроками начал финансирования двух проектов выражается так – «финансирование проекта А может быть начато не ранее, чем через k лет после начала финансирования проекта В». Обозначим через k_{ba} – временной лаг, связывающий указанные проекты.

Пусть t_j – время начала финансирования проекта C_j . Из ограничений задачи следует, что

$$U_i \leq t_i \leq V_i. \quad (1)$$

Связи между проектами C_i и C_j будут выражены следующим образом

$$t_i + k_{ij} \leq t_j. \quad (2)$$

Общее время финансирования всего портфеля равно

$$T = \max_j \{t_j + l_j\}. \quad (3)$$

Через F_{-1} обозначен начальный капитал инвестора, $F_{-1} > 0$.

В каждый момент времени средства инвестора складываются из накопленного в банке остатка от предшествующего инвестиционного процесса и текущих выплат по проектам. Если F_h – средства на счете инвестора в момент времени h , то до платежей по проектам капитал инвестора равен $(1+i)*F_{h-1}$.

Пусть $P_h = \{j : t_j \leq h \leq t_j + l_j\}$ – множество проектов, финансируемых в момент времени h . Платеж по проекту j , осуществляемый в момент h , равен $c_{j,h-t_j}$. Поскольку стоимость денег (а, соответственно, и проектов) меняется со временем, то осуществляется коррекция проектов в соответствии с темпом инфляции. Платеж, с учетом влияния инфляции, будет равен $c_{j,h-t_j} * (1+r)^{t_j}$.

Задача выглядит следующим образом: требуется каждому проекту C_j поставить в соответствие такое время его начала t_j , удовлетворяющее ограничениям (1) и (2), чтобы в любой момент времени выполнялось условие неразорения :

$$F_h = (1+i)F_{h-1} + \sum_{j \in P_h} c_{j,h-t_j} (1+r)^{t_j} \geq 0 \quad (4)$$

при $h=0, 1, \dots, T$, а время финансирования всего портфеля было минимально, т.е.

$$T \rightarrow \min. \quad (5)$$

В случае, если ограничения (1) не заданы, поставленная задача всегда будет совместна, т.к. существует возможность накопления на банковском счете инвестора суммы, достаточной для финансирования любого количества проектов.

Интерпретация задачи с точки зрения теории графов

Совокупность проектов может быть удобно представлена в виде взвешенного ориентированного ациклического графа, вершинами которого являются проекты, наличие дуги (C_i, C_j) означает, что проект C_j должен начинаться после проекта C_i , вес дуги равен соответствующему временному лагу k_{ij} . Назовём

истокком вершину, имеющую только исходящие дуги. Будем считать, что вершины занумерованы таким образом, что наличие дуги (C_i, C_j) означает, что $i < j$. Такая нумерация вершин в подобных графах всегда существует.

В случае, если все проекты в портфеле связаны друг с другом, можно этот портфель представить в виду мульти-проекта (рисунок 2). Если начало финансирования проекта C_i , не зависит от срока начала проекта C_j , то будем говорить, что $k_{ji}=k_{ij}=0$.

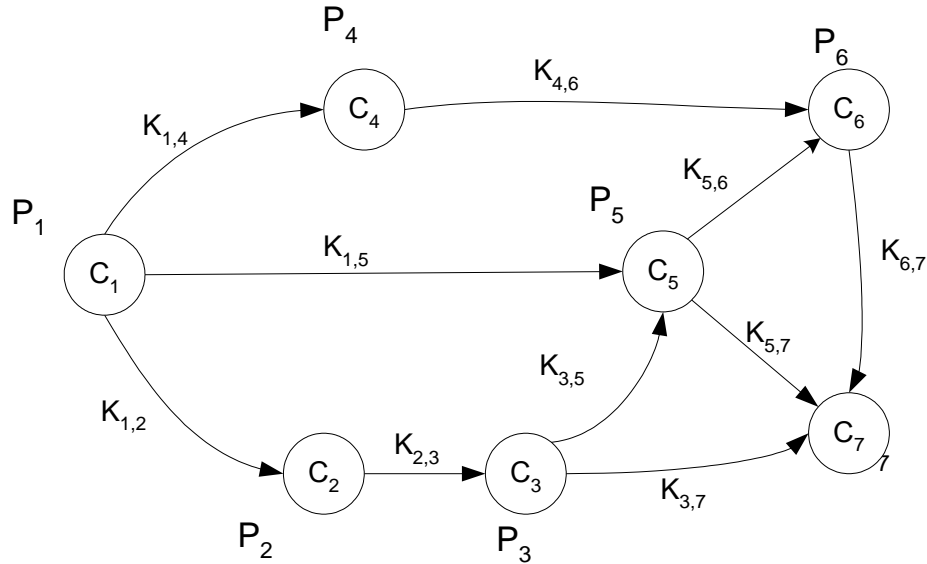


Рисунок 2. Мульти-проект, представленный в виде графа

Каждая вершина C_i имеет пометку P_i - минимально возможное время начала его финансирования. Для проекта (вершины), принятого к финансированию, $P_i=t_i$. Пометка вершины (проекта) P_i обладает следующими свойствами:

- 1) $P_i \geq 0$;
- 2) $P_i \in [U_i, V_i]$;
- 3) $P_j \geq P_i + k_{ij}$, $i \leq j$

При изменении пометки любой вершины производится пересчёт пометок всех вершин-наследников.

Целевая функция задачи будет выглядеть следующим образом:

$$\max\{P_i + l_i\} \rightarrow \min \quad (6)$$

при выполнении условия (4).

Анализ сложности

Рассмотрим частный случай поставленной массовой задачи.

Пусть в рассматриваемой экономике нулевая инфляция, все проекты состоят из одного, единичного платежа, инвестор располагает средствами, достаточными для финансирования всех проектов, и нет ограничений на срок начала финансирования проекта, то есть $r=0$, $F_{-1} \geq m$, $C_i=(-1)$, $U_i=0$, $V_i \rightarrow \infty$, $i=1,2,\dots,m$.

Если начало финансирования проекта C_i , не зависит от срока начала проекта C_j , то будем говорить, что $k_{ji}=k_{ij}=0$.

В этом случае, задача (4), (6) может быть сформулирована в виде следующей задачи распознавания.

Задача 1

Условие: Дан граф $G=(C, K)$, в котором C – множество вершин (проектов), K – множество дуг, соединяющих эти вершины, и Q – некая оценка длительности финансирования портфеля.

Вопрос: Верно ли, что G содержит гамильтонов путь такой, что $\max P_i + l_i \leq Q$?

Задача 1 является NP-полной. Поскольку она является частным случаем поставленной задачи, то вся массовая задача (4), (6) является NP-трудной.

В третьей главе описывается предлагаемый алгоритм решения поставленной задачи, приводится описание программы, реализующей этот алгоритм для частного случая задачи, и приводятся результаты вычислительного эксперимента, проведённого для приблизительной оценки качества решения, получаемого при использовании предлагаемого алгоритма.

Практическая необходимость решения NP-трудных задач привела к возникновению и развитию таких направлений исследования как:

- методы сокращения перебора вариантов при отыскании точного решения задачи (методы типа «ветви и границы»);

- нетрудоёмкие алгоритмы нахождения приближённого решения (куда, например, относятся различные «жадные» алгоритмы), - без каких-либо гарантий качества получаемых решений;

- алгоритмы полиномиальной трудоёмкости для нахождения приближённого решения с гарантированными оценками качества.

В работе было показано, что особенностью данной задачи является то, что с помощью эвристических алгоритмов решения типа первого подходящего (First Fit) в общем случае нельзя обеспечить оптимум ни при каком начальном упорядочивании.

Это можно объяснить с теоретической точки зрения тем, что, с увеличением длительности проекта, минимум средств необходимых для его финансирования растёт в арифметической прогрессии, а накопление денег на банковском счёте инвестора – в геометрической. Именно поэтому выбор наименьшего срока начала финансирования проекта не является оптимальной стратегией.

Можно привести наглядный пример. Пусть даны два проекта $(-10; -10; 20; -10; 23)$ и $(-10; 10; -20; 10; 20)$. Процентная ставка 10%, темп инфляции 5%, начальный капитал 18. При упорядочении (1,2) время начала первого проекта равно 1, а время начала второго проекта 4, а при упорядочении (2,1) – время начала второго проекта равно 0, а первого 4. Т.е. в обоих случаях время реализации портфеля равно 9 годам. В то же время, оба проекта можно начать в момент 3, тогда общее время реализации портфеля составит 8 лет.

Поэтому для решения задачи (1)-(5) был разработан подход, сочетающий в себе два популярных направления исследования практических решений NP-

полных задач - методов сокращения перебора вариантов при отыскании точного решения задачи и нетрудоёмких алгоритмов нахождения приближённого решения. Был предложен следующий порядок их применения:

1. Проекты упорядочиваются по одной из характеристик: NPV, MM, R, далее к ним применяется принцип «первый подходящий» (First Fit);

2. С помощью метода ветвей и границ находится квазиоптимальный вариант, т.е. наилучший среди тех, которые можно получить при всевозможных упорядочиваниях проектов с условием их запуска в минимально возможный момент времени (также учитываются ограничения, наложенные на срок начала финансирования проекта).

Сложность предложенного алгоритма имеет порядок $n!$. Сложность точного решения имеет порядок k^n , где k – оценка сверху максимальной длительности финансирования портфеля, n – число проектов.

На основе этого алгоритма был создан программный продукт для случая, когда не заданы ограничения (1) и (2), то есть проекты не имеют никаких предустановленных ограничений на срок начала финансирования.

Вычислительный эксперимент

Ввод данных | Промежуточные результаты | Статистика

Проекты: Начальный капитал: 81

Платеж\Год	0	1	2	3	4	5
1	-96	-25	48	16	74	49
2	-43	-11	18	-3	-37	45
3	-29	-77	-49	95	16	62
4	-42	-82	45	93	21	-76
5	-26	27	84	-100	-66	34
6	-90	51	-20	55	-26	82
7	-81	66	86	-37	-47	-8

Характеристики:

NPV	MM	Rent
28,61	118,73	24,1
17,61	65,65	26,83
36,06	139,5	25,85
11,86	116,55	10,18
7,25	52,24	13,88
18,83	90	20,92
12,87	81	15,88

Расписания:

Платеж\Алг.	ПП(NPV)	ПП(MM)	ПП(Rent)	ВиГр
Длина	22	21	22	20
1	13	14	13	7
2	0	2	0	13
3	9	9	9	12
4	15	7	15	10
5	2	0	2	12
6	6	13	6	2
7	4	1	4	0

Рисунок 3. Экранная форма программы

На базе этого программного продукта был проведён ряд вычислительных экспериментов для исследования качества получаемого решения.

1. Был проведен вычислительный эксперимент для оценки качества решений, полученных эвристическим алгоритмом, в сравнении с оптимальным (методом полного перебора). Использовались следующие исходные данные:

- длина проектов – 8 лет;
- количество проектов в портфеле – 8;
- процентная ставка – 0,1;
- темп инфляции – 0,08;
- начальный капитал – 200;
- границы выплат – (-100; 100).

Было проведено 200 экспериментов, проекты генерировались случайно, в соответствии с равномерным законом распределения. Средние значения целевой функции приведены в таблице 1, среднее время работы алгоритма приведено в таблице 2.

Таблица 1.

	Первоначальная сортировка по NPV	Первоначальная сортировка по MM	Первоначальная сортировка по R
1 этап (алгоритм первого подходящего)	1,14	1,10	1,08
2 этап (алгоритм ветвей и границ)	1,04	1,04	1,04
Точное решение	1	1	1

За единицу в этой таблице принято оптимальное значение целевой функции.

Таблица 2.

	Среднее время работы алгоритма
1 этап	0,03 сек.
2 этап	45 сек.
Точное решение	14 мин.

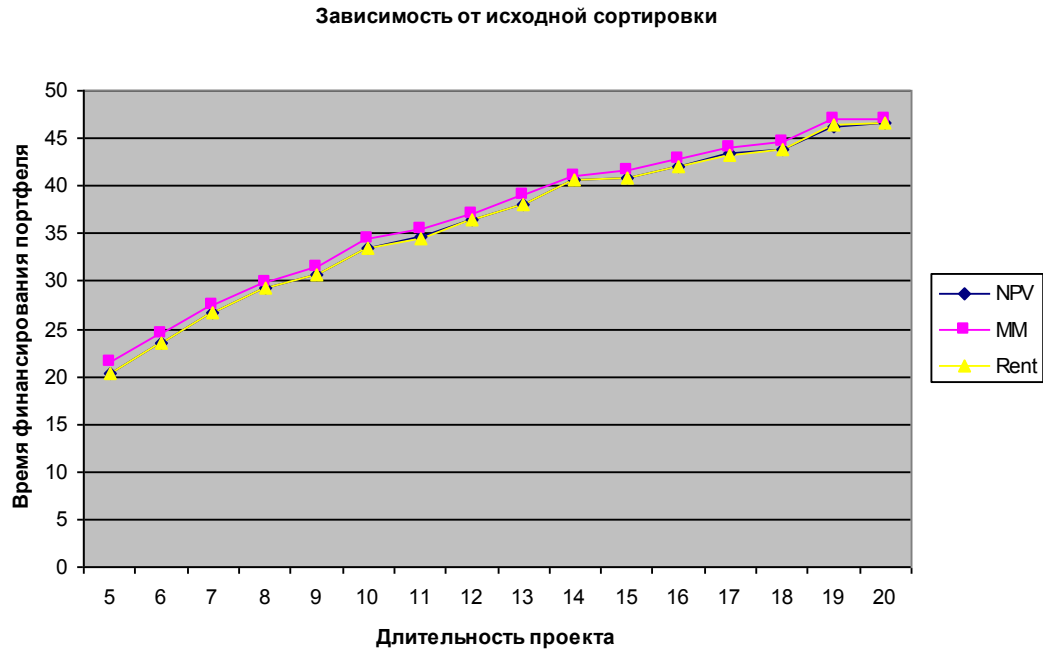
Видно, что предлагаемый алгоритм даёт решение, близкое к оптимальному, при значительной экономии вычислительных ресурсов.

2. Был проведён эксперимент, в котором анализировалось влияние, как продолжительности исходных проектов, так и их числа на качество и время приближенного решения задачи, полученного эвристическим алгоритмом.

В частности рассматривались портфели из 5-20 случайных проектов с длительностью 10 лет каждый и портфели из 10 проектов с длительностью от 5 до 20 года. В каждом случае проводилось 250 экспериментов. Сравнивались как значения целевой функции, так и время вычислений. Приведем соответствующие результаты.

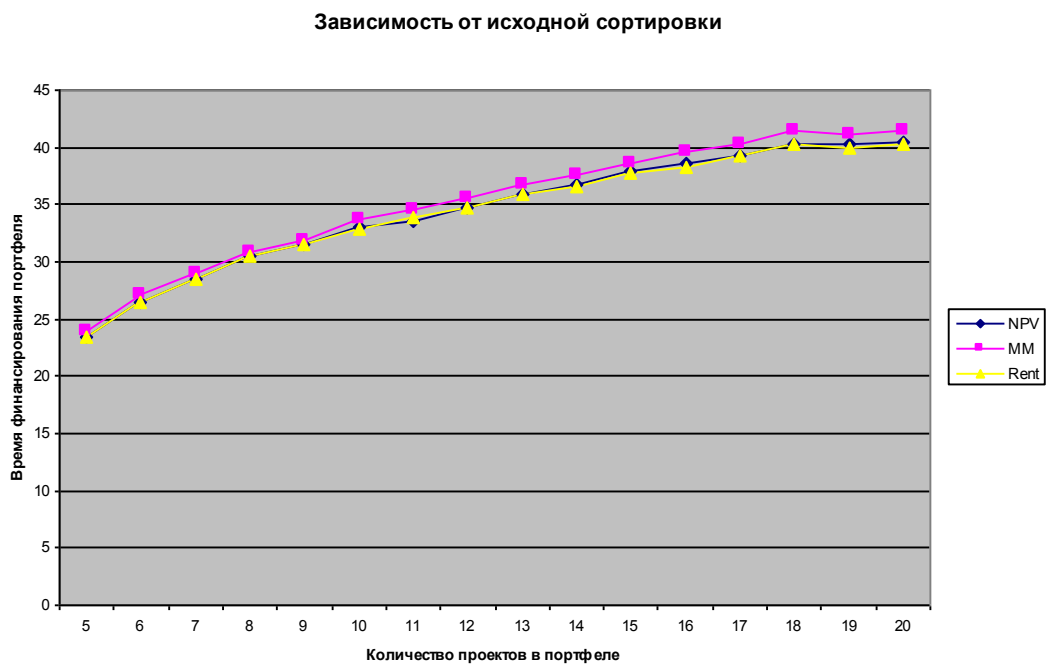
Результаты исследования зависимости качества решения, предлагаемого алгоритмом «первый подходящий», от исходной сортировки сведены в график 1. Число проектов в портфеле фиксировано – 10, длительность проекта меняется.

График 1.



На графике 2 приведено исследования для фиксированной длительности проекта. Все проекты делятся 10 лет. Количество проектов в портфеле меняется.

График 2.



На графике 3 приведена зависимость времени решения задачи методом «первый подходящий» при начальной сортировке по *Rent* от её начальной размерности. По очереди фиксировались длительность проекта и количество проектов в портфеле на уровне 10. Значение второго параметра менялось соответственно от 5 до 20.

График 3.



В таблицах 3 и 4 приведены время и результаты решения задачи методом «первый подходящий» (при разных начальных сортировках) и методом ветвей и границ.

Таблица 3. Результат, получаемый при фиксированной длительности проекта (5 лет).

Количество проектов в портфеле	Результат решения (NPV)	Результат решения (MM)	Результат решения (Rent)	Результат решения (метод ветвей и границ)
5 проектов	13,644	14,376	13,76	10,832
6 проектов	16,044	16,732	16,188	13,324
7 проектов	17,188	17,724	17,208	15,14
8 проектов	18,344	19,308	18,536	15,444
9 проектов	20,8	21,6	20,6	18,6

Под результатом решения здесь понимается средняя длина получаемого портфеля.

Таблица 4. Время работы алгоритма, получаемое при фиксированной длительности проекта (5 лет), мс.

Количество проектов в портфеле	Время решения (NPV)	Время решения (MM)	Время решения (Rent)	Время решения (метод ветвей и границ)
5 проектов	1,6	2,86	1,736	35,068
6 проектов	2,336	3,624	3,144	268,388
7 проектов	4,372	4,168	3,944	1801,344
8 проектов	6,248	6,08	6,516	5950,612
9 проектов	9	5,8	9,6	37083,6

На основе проведённых вычислительных экспериментов были сделаны следующие выводы:

1. Как правило, предпочтительнее использовать первоначальную сортировку по модифицированному индексу рентабельности (таблица 1).

2. Использование для решения поставленной задачи алгоритмов типа первого подходящего даёт расписания, близкие к оптимальному при небольшой размерности задачи, при существенной экономии вычислительных ресурсов пользователя (таблица 2, 3).

3. Увеличение числа проектов в большей мере удлиняет процесс решения задачи, нежели рост их продолжительности.

Основные выводы и результаты работы

1. Построена математическая модель формирования расписания финансирования портфеля взаимосвязанных инвестиционных проектов, которая учитывает специфические ресурсные ограничения моделируемой области и учитывает влияние инфляционного коэффициента, что является новым. В задаче минимизируется общий срок финансирования портфеля инвестиционных проектов. Выполняется условие неразорения инвестора. Данная задача учитывает особенности моделируемой области и позволяет производить оптимизацию по критерию, удобному для инвестора.

2. Произведён выбор новых критериев оценки эффективности проекта. Приводится обоснование выбора и статистически исследовано качество решения, полученного на их основе. Эксперименты показывают, что, как правило, предпочтительнее использовать первоначальную сортировку по модифицированному индексу рентабельности.

3. Проведен анализ сложности поставленной задачи. С помощью интерпретации задачи с точки зрения теории графов, установлена её NP- труд-

ность и на этой основе предложен двухэтапный алгоритм решения, сочетающий метод «первого подходящего» и метод «ветвей и границ». Особенностью поставленной задачи является то, что алгоритмы типа первого подходящего не обеспечивают оптимума ни при каком исходном упорядочивании проектов.

4. Разработано программное обеспечение, реализующее предложенный алгоритм. Программный продукт апробирован в двух компаниях, которые отметили, что он соответствует требованиям, предъявляемым инвесторами.

5. Результаты экспериментов показывают, что для решения поставленной задачи предлагаемый алгоритм на основе алгоритмов типа первого подходящего и ветвей и границ даёт расписания, близкие к оптимальному (при небольшой размерности задачи), при существенной экономии вычислительных ресурсов пользователя. Так, длина расписания, получаемого с помощью предлагаемого метода, на 4% больше длины расписания, полученного с помощью точного метода, при этом время работы программы, реализующей предлагаемый метод, в 18.6 раз меньше времени работы, реализующий точный метод (эксперимент проводился для портфеля, состоящего из 8 инвестиционных проектов, длительностью по 8 лет каждый).

Публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК

1. Одна задача календарного планирования процесса инвестиций / Е.М. Бронштейн, Т.Н. Олейник // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2005. Т.12, № 1. С. 112.

2. Оптимизация графика финансирования инвестиционных проектов / Т.Н. Олейник // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2006. Т.13, № 4. С. 693–694.

3. Об одной задаче календарного планирования / Т.Н. Олейник // Вестник УГАТУ : науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2006. Т.8, № 2 (18). С. 64–66.

4. Задача календарного планирования портфеля инвестиционных проектов / Е.М. Бронштейн, Т.Н. Олейник // Информационные технологии. 2007. №3. С. 70–73.

Прочие публикации

5. Задача финансирования ряда проектов с нефиксированным сроком их начала за минимальное время / Т.Н. Олейник // Интеллектуальные системы управления и обработки информации : матер. всерос. молодёжн. науч.-техн. конф. Уфа : УГАТУ, 2003. С. 119.

6. Некоторые оптимизационные задачи теории инвестиций / Е.М. Бронштейн, Т.Н. Олейник, Г.З. Латыпова // 18-я междунар. конф. по сис-

темным исследованиям, информатике и кибернетике : матер. конф. Загреб, 2006. С. 18–21. Статья на англ. яз.

7. Задача календарного планирования портфеля инвестиционных проектов / Т.Н. Олейник // Интеллектуальные системы обработки информации и управления : сб. статей рег. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых учёных. Уфа, 2006. Т. 1. С. 131–135.

8. Дискретная задача формирования оптимального расписания финансирования портфеля инвестиционных проектов / Т.Н. Олейник // CSIT'2006. 8-я междунар. конф. по информатике и информационным технологиям : сб. статей. Карлсруэ, Германия, 2006. Т. 2. С. 35–37. Статья на англ. яз.

9. Оптимальное календарное планирование финансирования инвестиционных проектов / Т.Н. Олейник // «Круглый стол» по информационным технологиям и математическим методам исследований в экономике : сб. статей. Уфа, 2006. С. 129–135. Статья на англ. яз.

10. Задача календарного планирования портфеля инвестиционных проектов / Т.Н. Олейник // Системное моделирование социально-экономических процессов : матер. междунар. шк.-сем. им. акад. С. Шаталина. ЦЭМИ РАН, 2006. С. 63–69.

11. Оптимальные календарные графики инвестиций / Е.М. Бронштейн, Т.Н. Олейник // Разработка оценки эффективности и реализация инвестиционных и инновационных проектов : матер. междунар. науч.-практ. конф. Ташкент, 2006. С. 99–100.

Диссертант

Т.Н. Олейник

Олейник Татьяна Николаевна

ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА ФИНАНСИРОВАНИЯ
ПОРТФЕЛЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
С УЧЁТОМ ИНФЛЯЦИИ

Специальность 05.13.18 - Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 20.03.2007 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 105

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12