В.М. Аньшин, И.В. Демкин, И.М. Никонов, И.Н. Царьков

Модели
управления портфелем проектов в условиях неопределенности

Издательский центр МАТИ

Москва 2007

Научное издание

Сведения об авторах:
Аньшин Валерий Михайлович, доктор экономических наук, профессор, заведующий; кафедрой управления проектами Государственного университета – Высшая школа экономики
Демкин Игорь Вячеславович – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового менеджмента «МАТИ» - Российского государственного университета им. К.Э.Циолковского, доцент кафедры управления проектами Государственного университета – Высшая школа экономики
Никонов Игорь Вячеславович, кандидат физико-математических наук, ассистент Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, доцент кафедры управления проектами Государственного университета – Высшая школа экономики
Царьков Игорь Николаевич, старший преподаватель кафедры управления проектами Государственного университета – Высшая школа экономики

В подготовке материалов отдельных глав принимали участие:
А.А. Агафонова, В.Д. Бархатов, Губайдуллина А.Р., Логинова О.С., Никулина О.С., Тодосиева Е.А.

Данная работа подготовлена при содействии Инновационной образовательной программы Государственного университета – Высшая школа экономики (проект № 06-05-0021)

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы разработки моделей управления портфелями проектов. Исследованы методологические аспекты портфельного управления, проанализированы существующие подходы и модели управления портфелями проектов, предложена система моделей селекции проектов и календарного распределения ресурсов.

Приведен обзор отечественных и в особенности зарубежных концепций и моделей. Реализован собственный взгляд авторов на проблему формирования портфеля проектов и рекомендован новый подход к ее решению. В работе проведен комплекс расчетов, иллюстрирующих прикладные возможности рекомендованных моделей.

Книга предназначена для научных работников, аспирантов, студентов, а также лиц, занятых управлением портфелем проектов в практической сфере.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ

Управление портфелем проектов – задача, актуальность которой заметно повышается в последнее время. Это связано с рядом обстоятельств.

Во-первых, усиление инвестиционной активности функционирующих в России компаний предъявляет повышенные требования к отбору проектов, включаемых в портфель инвестора.

Во-вторых, рост инновационной активности в ряде секторов экономики создает потребность в создании инструментария выбора проектов, которые соответствуют выбранной стратегии развития и способствуют росту конкурентоспособности компаний.

В-третьих, существующая в настоящее время методология портфельного управления реальными проектами, далека от совершенства, не обладает методологическим единством, а, кроме того, появляются новые идеи и подходы, нуждающиеся в обобщении и развитии.

Цель данного исследования – обобщение существующих модельных подходов к управлению портфелем проектов, их дальнейшее развитие и обобщение, создание системы моделей, ориентированных на практическое применение в проектно-ориентированных компаниях.

В данной работе проанализированы существующие подходы к определению проектов, портфелей и программ, проведена классификация моделей управления портфелем проектов (МУПП) по ряду признаков, исследованы наиболее интересные модельные построения, предложены подходы, позволяющие учесть реальные опционы, эффекты синергии и каннибализма в задачах селекции проектов и комплектность ресурсов при их распределении между проектами портфеля.

Проанализированные модели отражают отдельные существенные стороны портфельного управления:

- участие экспертов и балльную оценку ими отдельных проектов. Учет данного аспекта очень важен, ибо именно эксперты определяют первоначальное множество проектов и принимают заключительные решения по их включению в портфель;
- взаимозависимость проектов в портфеле. Это очень существенный момент, отражающий реальную ситуацию в бизнесе и создании новых продуктов и процессов;
- стратегическую ориентацию проектов. Без ее учета при формировании портфеля, последний не будет способствовать реализации стратегии, что приведет к образованию серьезных стратегических разрывов;
- способы распределения ресурсов между проектами портфеля с учетом ресурсных ограничений;
- неопределенность будущих параметров проектов, в том числе на основе моделей, построенных на базе теории нечетких множеств.

Проведение анализа существующих моделей позволило выявить их возможности и некоторые нерешенные проблемы, в частности, недостаточный учет реальных опционов, эффекта синергии или каннибализма проектов, комплектности ресурсов. С целью получения более адекватных практической ситуации результатов, предложена система моделей, предполагающая проведение двухэтапных расчетов, устраняющая в определенной мере перечисленные выше недостатки.

1. ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ

1.1. Содержание понятия «портфель проектов»

В теории управления проектами возникают следующие ключевые понятия – объекты управления: проект, программа, портфель. В данной работе мы будем полагать, что всё, связанное непосредственно с управлением проектом читателю хорошо известно.

Между понятиями программы (programme или program (США)) и портфеля[1] проектов часто делают значительные различия, подразумевая, что все проекты программы подчинены определенной стратегической цели, в то время как портфель может состоять из разных проектов с разными целями. Часто программу рассматривают как один большой проект (multiproject или macroproject). Но в отличие от проекта, программа не обязательно должна иметь дату завершения. Устоявшееся определение программы звучит так:

Программа – это ряд связанных друг с другом проектов, управление которыми координируется для достижения преимуществ и степени управляемости, недоступных при управлении ими по отдельности.

Такое определение программы предложил Фернс в 1991 году [1] и оно, по сути, означает, что программа должна производить некую добавочную стоимость. Это определение принято и в американском национальном стандарте по управлению проектами PMBoK ([10]), разработанного институтом PMI (Project Management Institute).

Дункан Фернс [1] выделяет три большие категории программ:

- Стратегические программы – группы проектов, возникшие в результате изменений миссии или стратегических целей компании и

[1] (англ.) portfolio

призванные осуществить эти изменения. Например, реорганизация, диверсификация бизнеса, слияние или поглощение и т.д.

- Программы, связанные с бизнес-циклом. Например, разработка сводного бюджета – программа, отдельными проектами которой являются разработка сводного бюджета на определенный период.
- Программы, подчиненные одной цели. Например, создание нового самолета.

Программы, связанные с бизнес-циклом являются ярким примером того, как можно операционную деятельность перевести с функциональных на проектные рельсы.

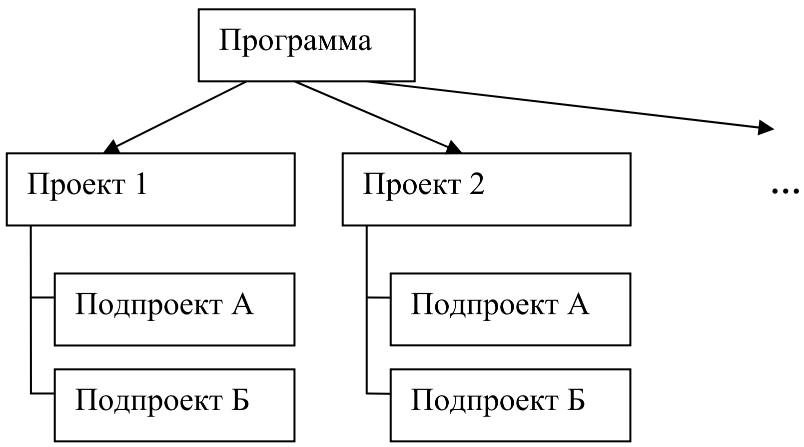

Рис. 1.1 Структура программы

Что касается портфеля проектов, то одно из его определений звучит так (PMBoK, [10]):

Портфель – это набор проектов или программ и других работ, объединенных вместе с целью эффективного управления данными работами для достижения стратегических целей.

Портфель представляет набор действующих программ, проектов, субпортфелей и других работ компании в определенный момент времени [PMI, 10]. Последовательность проектов называется **цепочкой проектов** и портфелем не является [6], но вполне может являться программой. Сам портфель может быть 2-хтипов: **независимые** одновременно идущие проекты (что и послужило поводом назвать их портфелем) и **сеть** (network) – набор связанных между собой проектов – некоторые проекты могут начаться только после завершения стадии других проектов и влиять на принятие решений по запуску следующих.

Используя линию, в качестве графического представления проекта, можно изобразить также программу и портфель проектов [3].

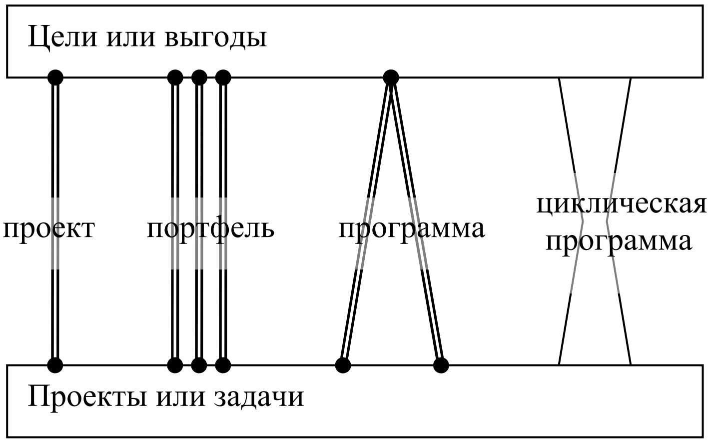

Рис. 1.1 Проекты, программы и портфели

Данное представление хорошо иллюстрирует разницу между проектами, программами и портфелями.

Управление программой, а затем и портфелем является естественным развитием проектного менеджмента. Но помимо названных различий, управление программой и портфелем отличается от управления проектом тем, что основной задачей проектного управления является «делать работу правильно», а управления программой и портфелям «делать правильные работы», что существенно расширяет круг проблем [4].

Институт PMI недавно (2004-2006) разработал два новых стандарта, которые являются дополнением к своду знаний PMBoK – это **стандарт по**

управлению программой и портфелем проектов. Естественно, оба этих стандарта основаны на процессной модели управления.

В стандарте по управлению портфелем выделяют две группы процессов группы процессов: выверки и согласования, мониторинга и контроля. Группа процессов выверки и согласования: включает процесс отбора содержания портфеля, в каких категориях и как компоненты будут оцениваться и отбираться (или не отбираться) для включения в портфель. Группа процессов мониторинга и контроля: включает периодическую проверку показателей исполнения на соответствие стратегическим целям компании.

Согласно стандарту OMP3 (PMI) выделяются три уровня зрелости компании, реализующей проектный подход:

1. управление проектами (PM3 = Project Management Maturity Model);
2. управление программами и проектами (P2M3 = Programme and Project Management Maturity Model);
3. управление портфелями, программами и проектами (P3M3 = Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model).

Подразумевается, что компания может перейти на новый уровень зрелости только после освоения предыдущего уровня, т.е. для того чтобы качественно управлять портфелем, необходимо сначала освоить управление проектом и программой.

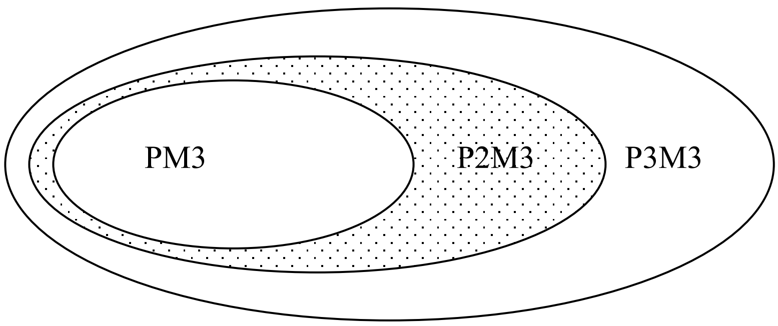

Рис. 1.2 Модели зрелости

Помимо указанных 3-х уровней, на каждом уровне предполагается 5 подуровней зрелости. Эти подуровни имеют одинаковое название для каждой модели:

- начальный процесс;
- повторяющийся процесс;
- определенный процесс;
- управляемый процесс;
- оптимальный процесс.

На подуровне «начальный процесс» происходит обособление проектной деятельности от основной деятельности, на следующем уровне «повторяющийся процесс» проектная деятельность стандартизируется на основе процессной модели, далее на уровне «определенный процесс» организация должна иметь собственные центрально контролируемые процессы и настраивать новые проекты (программы, портфели) под эти процессы. На следующем уровне «управляемый процесс» организация должна выработать показатели оценки эффективности проектов и активно управлять качеством. И на самой высокой ступени зрелости «оптимальный процесс», организация должна оптимизировать свои процессы.

Управление портфелем представляет собой более сложную задачу по сравнению с управлением программой. Это связано с тем, что программа имеет определенную цель, которая собственно и соединяет разрозненные проекты вместе, именно в этой цели и заключается тот самый эффект синергизма, о котором говорится в определении программы.

Все три типа программ, которые рассматривал Фернс (см. выше), имеют такие цели. Эти цели тесно связаны с показателями эффективности проектов, из которых состоит программа. Всё это позволяет провести декомпозицию цели программы, разбив её на такие подцели (за их реализацию будут отвечать подпрограммы или проекты), которые должны быть, безусловно выполнены для достижения цели программы. Например, для создания нового автомобиля необходимо сделать новый двигатель, новый кузов и т.д. Получается, что структура декомпозиции цели программы будет являться частью стратегии компании. Особенно хорошо это видно на программах связанных с бизнес циклом, т.к. в данном случае, если в компании применяется система сбалансированных показателей, то части взаимосвязанных показателей будут являться программами, а внутренние связи системы показателей – структурной декомпозицией программы.

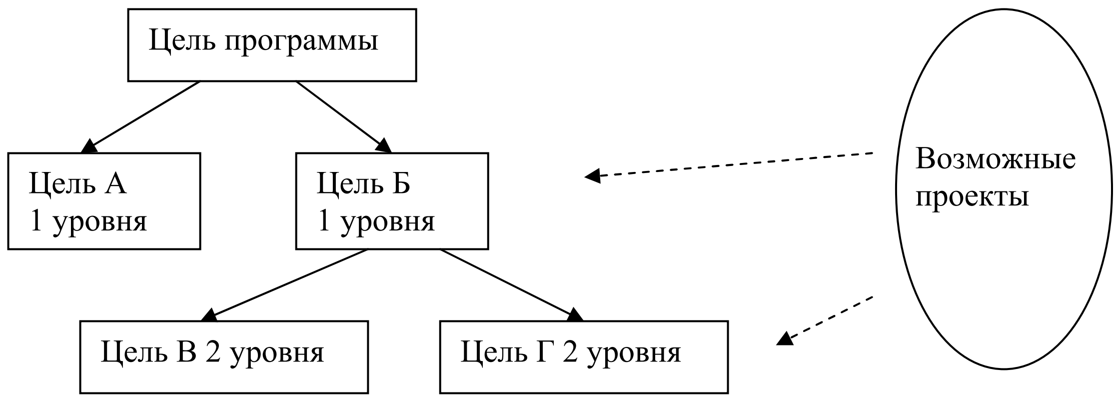

Рис. 1.3 Декомпозиция цели программы

В итоге, при выборе «правильных» проектов из которых будет состоять программа, их можно сперва отнести к декомпозированным частям программы и выбор проектов осуществлять уже в рамках каждой части, что значительно сократит возможное количество разных программ, которые будут из них получаться. Внутренние зависимости отдельных проектов внутри программы в данном случае будут только помогать выбору проектов, выравниванию и распределению ресурсов, т.к. любая зависимость сокращает множество решений, из которого придется выбирать.

В инновационных компаниях такая декомпозиция программ может соответствовать функциональной структуре, т.к. в этих случаях подразделения, как правило, специализируются на какой-нибудь стадии разработки продукта или на его отдельных характеристиках, что еще больше упрощает внедрение управления программой, т.к. позволяет делегировать часть ответственности и работ в подразделения.

Что касается управления портфелем программ и/или проектов, то внутренние проекты могут быть не связаны между собой. Это означает, что цели портфеля могут быть разные и даже противоречащие друг другу. Скорее всего, цели портфеля будут близки целям компании. В таких условиях группировки исходных проектов, из которых формируется портфель, по целевому принципу не даст таких преимуществ, как при группировке проектов относящихся к программе, т.к. отдельные проекты могут достигать несколько целей и при этом ухудшать другой целевой показатель. В этом случае, формирование портфеля из влияющих друг на друга проектов представляется более сложной задачей, чем формирование портфеля из независимых проектов.

Резюмируя, модели управления портфелем и программой по объекту применения могут классифицироваться следующим образом:

1. управление целевой программой;
2. управление программой, являющейся частью бизнес цикла;
3. управление портфелем независимых проектов;
4. управление портфелем зависимых проектов.

На наш взгляд следует разделить модели по управлению целевой программой и программой, являющейся частью бизнес цикла, поскольку последние, по сути, представляют собой операционную деятельность компании, которая ведется непрерывно и для которой больше подходят модели планирования деятельности компании (например, бюджетирование). Портфели зависимых проектов мы выделили в отдельную позицию, т.к. даже в теории управления портфелем независимых проектов существует много проблем и пробелов и характер этих проблем отличается от проблем управления зависимыми проектами.

В некотором роде, управление портфелем зависимых проектов является самой сложной и самой всеобъемлющей задачей управления компанией с помощью проектного подхода. К применению таких моделей следует подходить тогда, когда в компании управление проектами и программами уже сформировалось и достигло должного уровня зрелости (см. выше).

Если рассматривать инновационные компании, то для них основной задачей является внедрение управление программой, т.к. именно программы будут создавать добавленную стоимость будущих продуктов, конкурентные преимущества и т.д. На следующем этапе зрелости, компания начинает управлять портфелем программ, который должен обеспечить сбалансированное развитие программ во времени, чтобы обеспечить устойчивый рост в долгосрочной перспективе.

1.2. Технологии управления портфелем проектов

Управление портфелем проектов – комплексное понятие, которое включает в себя ряд ключевых проблем, решение которых обеспечивается технологиями управления портфелем.

В проектных организациях, одной из первых проблем, с которой сталкиваются проектные менеджеры, является проблема нехватки ресурсов. Собственно, эта проблема возникает даже при управлении одним проектом, т.к. от доступности ресурсов будут зависеть ключевые характеристики проекта: длительность, стоимость и качество. В данном случае ресурсы могут быть трех типов:

- трудовые;
- материальные;
- финансовые.

Технология, которая обеспечивает проекты ресурсами, называется **распределение (назначение или выравнивание) ресурсов**[2]. Точнее, существуют две технологии назначения ресурсов: одна используется на этапе формирования программы или портфеля, другая – на этапе исполнения (оперативное планирование). Последняя технология также называется устранением конфликтов между ресурсами. Нехватка ресурсов может заставить приостановить или даже прекратить исполнение проекта.

Подобные задачи возникают тогда, когда проекты портфеля или программы совместно используют общие ресурсы. Владельцем такой технологии в компании может являться проектный офис. Можно рассмотреть признак общих ресурсов, как портфелеобразующий, т.е. именно использование общих ресурсов может заставить перейти от модели управления отдельными проектами к модели управления портфелем проектов.

В условиях нехватки ресурсов возникает несколько моделей управления программами и портфелями проектов в компании:

- сильная матрица;
- сбалансированная матрица;
- слабая матрица.

Организационная матрица возникает потому, что с одной стороны (в столбцах) есть линейные функциональные подразделения компании, в которых сосредоточены ресурсы, а с другой стороны (в строках) есть проектные менеджеры, которые хотят распоряжаться этими ресурсами. Тем самым получается, что у каждого ресурса есть два начальника –

[2] (англ.) resource allocation/aligning

функциональный менеджер и менеджер проекта. Если из этих двоих главнее функциональный менеджер, то получаем слабую матрицу, если главнее проектный менеджер – сильную. Сбалансированная матрица означает, что им нужно договариваться между собой. Этот договор и будет точкой равновесия, в которой все останутся довольны.

Организационные структуры были исследованы более глубоко в работах [7,8,9], в которых выделяется шесть различных типов структур, начиная от чисто функциональной структуры (без проектов) и заканчивая чисто проектной структурой (без функциональной).

С помощью матричной структуры можно решить задачи управления отдельными проектами в проектной организации, но если мы переходим на новую ступень развития и говорим уже об управлении программой (и затем портфелем и даже портфелями), то развитие проектов нельзя пускать на самотек, надеясь на то, что проектные менеджеры выполнят всю работу, т.к. от их работы будет зависеть будущее компании. В этом случае возникает задача **установления приоритетов проектов**[3], на основе которых будут распределяться ресурсы между проектами. В самом простом случае, эта технология выделяет ресурсы проектам с наибольшим приоритетом, а те проекты, которым ресурса не хватает – приостанавливает.

Но даже в случае успешного установления приоритетов, ограниченных ресурсов, как правило, не хватает, поэтому возникает задача **отбора проектов**[4] для формирования «правильного портфеля». Эта задача сама по себе достаточно сложная, т.к. помимо экономической эффективности отдельных проектов, необходимо также учитывать соответствие проектов выбранной стратегии. Поэтому одним из

---

[3] (англ.) prioritization
[4] (англ.) project selection

непременных условий для внедрения управления портфелем проектов является наличие в компании стратегического видения: миссии, целей и стратегии. Помимо наличия стратегии, требуется также вовлеченность топ-менеджеров и мастерство проектных команд [5].

Можно сказать, что при переходе к более зрелым моделям управления проектами в компании, к основным показателям проекта: стоимость, время и качество, добавляется еще один показатель – соответствие стратегии и треугольник превращается в тетраэдр.

Помимо выбора проектов на основе соответствия стратегии компании, есть еще проблема экономической оценки эффективности проекта. К настоящему времени разработано множество показателей эффективности: NPV, ECV, EVA, ROI, рентабельность и т.д. Все они обладают определенными недостатками, поэтому чтобы применять их для установления приоритетов проектов, необходимо найти оптимальное соотношение между ними.

Формирование правильного баланса[5] между стратегическими и тактическими целями компании является сложной и очень важной задачей для формирования «правильного портфеля». Особенно важна эта задача в инновационных компаниях, которые регулярно выводят на рынки новые продукты. Это касается и производственных компаний (автомобили, самолеты, компьютеры, сотовые телефоны и т.д.), и IT компаний по разработке программного обеспечения. Их всех объединяет необходимость разрабатывать сразу несколько поколений своей продукции, т.к. цикл разработки нового продукта может составлять до десяти лет и более, а новые продукты надо выпускать значительно чаще. Поэтому, такие компании по своей сути являются проектными (создание каждого поколения продукта – проект или программа). Но если в

[5] (англ.) balancing

производственных компаниях все-таки большая доля основной непроектной деятельности сосредоточена на заводах, выпускающих серийную продукцию, то работа IT компаний практически в чистом виде представлена проектной деятельностью, т.к. серийно выпускать продукцию в таких компаниях не представляет никакого труда.

В инновационных компаниях создание нового продукта является достаточно большим проектом, поэтому чаще всего его представляют программой, состоящей из множества проектов. Эти проекты могут быть нацелены за создание отдельных узлов продукта или реализацию его определенных функций, а могут представлять собой стадии: научно-исследовательскую, опытно-конструкторскую, производственную и т.д. Также оба способа можно комбинировать. Особенностью таких проектов (программ) является необходимость отслеживать статус их выполнения для принятия решений о прекращении, продолжении или приостановке реализации проекта (программы), что является очень важной задачей управления программой (портфелем) для повышения эффективности.

Следующая проблема управления программой и портфелем заключается в **учете риска**. Ведь если составить более эффективный с экономической точки зрения портфель, который бы прекрасно реализовывал стратегию компании, но обладал бы неприемлемым для компании риском, то возникает объективная необходимость в поиске менее эффективного портфеля, но с приемлемым для компании риском. Особенно остро эта проблема касается инновационных компаний, в которых начальные стадии разработки продукта имеют большую неопределенность и по времени и по затратам, а значит имеют большой риск. В случае, если компания не учитывает данное обстоятельство, то она оказывается подвержена высокому риску дефолта.

Таким образом, в работе системы управления программами и портфелями применяются следующие технологии [4,5,12]:

1. комплексная оценка эффективности проекта;
2. расчет риска проекта, программы и портфеля;
3. установление приоритетов (приоретизация);
4. выбор проектов из которых будет состоять программа или портфель (селекция);
5. распределение ресурсов между проектами и программами;
6. учет влияния проектов друг на друга;
7. выравнивание проектов программы или портфеля для обеспечения ресурсами (разработка календарного плана);
8. достижение сбалансированности портфеля (тактических и стратегических проектов, больших и малых, высоко и низкорисковых и т.д.);
9. принятие решений о продолжении, приостановлении или прекращении проекта.

2. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММАМИ И ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ

2.1. Необходимость и задачи моделирования портфеля проектов

Как было отмечено выше, управление портфелем проектов началось с эффективного использования общих ресурсов разными проектами. Тогда же были созданы матричные модели управления компанией. Принятие решений о распределении ресурсов было возложено на руководителей функциональных подразделений в случае слабой матрицы и на проектных менеджеров в случае сильной. Даже в случае сбалансированной матрицы, когда оба менеджера должны договориться между собой, их интересы могут быть отличными от стратегических интересов компании, т.к. они не принимают во внимание информацию обо всей деятельности компании.

Затем была разработана концепция проектного офиса, который должен повысить эффективность использования ресурсов для компании, а не для проектного и функционального менеджеров в отдельности. Сразу возник вопрос – как определить и учесть всю информацию для принятия таких решений, и какую технологию нужно при этом использовать.

Чтобы представить всю сложность и весь масштаб этой задачи, достаточно посмотреть на цели портфельного управления:

- повышение финансовой отдачи проектов или по-другому, стоимости портфеля (portfolio value);
- снижение риска портфеля;
- достижение большего соответствия стратегическим целям;
- эффективное распределение ресурсов между проектами портфеля;
- более качественный выбор проектов;
- расстановка правильных приоритетов для выполнения проектов;

- достижение сбалансированности портфеля.

Если рассматривать инновационные проекты, то в качестве отдельной задачи можно выделить повышение отдачи от научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (R&D = Research and Development).

Для того чтобы принимать решения, которые затронут такой круг проблем, необходимо оценить воздействие этих решений на стоимость портфеля и самой компании. Именно для этого, в первую очередь, нужна модель управления портфелем.

Любая модель имеет входы и выходы. На входы подается исходная информация:

- о возможных проектах (с зависимостями);
- о доступных ресурсах (ограничения);
- о критериях (цели);
- о прочих параметрах модели.

Модель должна реализовывать рассмотренные выше технологии. Собственно входы – это информация, необходимая для указанных технологий. Выходами модели являются:

- сбалансированный или оптимальный набор проектов, формирующих портфель;
- календарный план работы проектов;
- план загрузки ресурсов;
- решения о приостановке, продолжении и прекращении проектов;
- показатели эффективности и риска портфеля.

Конечно, лучше всего, когда модель ориентирована на формирование оптимального портфеля, но это не всегда возможно в связи со сложностью задачи (это будет показано далее), поэтому часто довольствуются около-оптимальным решением, которое иногда даже определяется на глаз. Такое решение мы будем называть *сбалансированным*.

Вообще, модели управления программой или портфелем должны либо формировать оптимальный портфель, либо представлять информацию в таком виде, который позволит менеджеру обоснованно сформировать сбалансированный портфель. Первая задача решается с помощью средств математического программирования, вторая – с помощью всевозможных диаграмм, раскрашенных в разноцветные краски, с фигурками и пузырьками (см. далее). Поскольку математическое программирование – набор сложных алгоритмов, представляющий собой некоторый «черный ящик» для портфельного менеджера, то желательно совмещать оба этих метода при формировании и пересмотре портфеля проектов.

Существует несколько способов построения такой модели.

Первый способ. Сначала решается глобальная задача формирования портфеля проектов (селекция) при заданных ограничениях на ресурсы. При этом зависимости ресурсов от времени не учитываются, не учитываются также и возможное распределение во времени процесса выполнения проектов портфеля. Затем, решается задача по формированию календарного плана выполнения проектов и только потом, решается задача выравнивания проектов с учетом доступности ресурсов. Причем, последняя задача решается в основном только в краткосрочном периоде. Время от времени весь этот цикл приходится проходить заново, по мере исполнения проектов. При этом периодически необходимо решать задачи пересмотра портфеля и календарного плана.

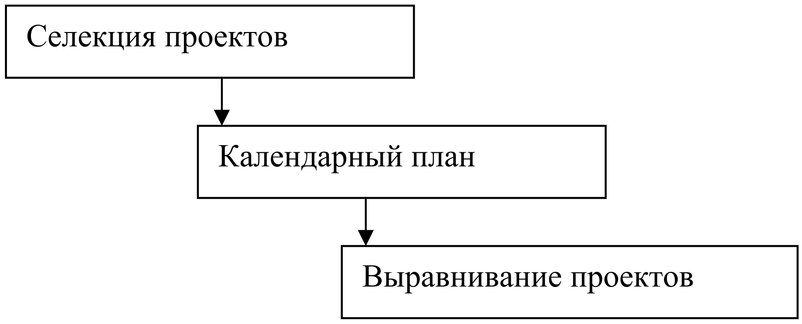

Рис. 2.1 Особенности модели первого типа

Второй способ. Селекция проектов происходит одновременно с построением календарного плана проектов. При этом выравнивание проектов относительно возможностей ресурсов происходит на втором этапе.

Третий способ. Все задачи решаются сразу. Такую модель, в принципе, можно придумать, но решить её не удается (нет алгоритмов или достаточного машинного времени для расчета). В этой связи модели третьего типа – дело отдаленного будущего.

Все приведенные задачи осуществляют оптимизацию портфеля, поэтому необходимо сформировать критерии, по которым один портфель оказывается предпочтительнее другого. Такие критерии приведены в следующем параграфе работы.

Профессорами маркетинга канадского университета McMaster University Р. Купером, С. Эджетом, Е. Кляйншмидтом в 2000 году были проведены научные исследования в области управления портфелем проектов [11]. В результате проведенных исследований ими были выявлены следующие основные проблемы, с которыми сталкивались компании, разрабатывающие новые продукты на основе управления портфелем проектов:

1. Слишком большое количество проектов преодолевают барьер на включение в список исполняемых проектов, т.к. на ранней стадии трудно оценить какой проект лучше, а какой хуже;
2. Требования ресурсов для нужд проектов значительно превышает предложение;
3. Недостаточность информации при принятии решения о приостановке, продолжении и прекращении проекта;
4. Слишком большое число маленьких проектов в портфеле и отсутствие крупных.

По мнению вышеназванных ученых эти проблемы вызваны:

а) недостаточностью информации для принятия решений;

б) разбалансированностью стратегических и тактических проектов;

в) несовершенством методов и моделей управления портфелем проектов.

Еще один важный вывод – портфельным менеджерам часто приходится принимать решения в условиях недостатка информации, поэтому это тоже должно быть учтено в модели.

Таблица 2.1

Использование инструментов PPM в компаниях [5], 2005 г.

	Элементы портфельного менеджмента	Уже используют (%)	Планируют использовать (%)
Общий взгляд	Имеют полное описание текущих и предполагаемых проектов	93	7
Финансовый анализ	Используют период окупаемости	93	0
	Используют ROI	85	3
	Используют NPV	68	16
	Используют IRR	65	18
	Используют EVA	31	28
	Используют реальные опционы	37	14

Анализ риска	Рассчитывают проект комплексно, включая технологические риски, денежные потоки и организационные изменения	92	8
	Расчет рыночных рисков и рисков окружающей среды	80	17
	Риск-менеджмент портфеля	62	35
Взаимосвязи проектов	Учет взаимосвязей проектов портфеля	84	-
	Рассмотрение узких мест выполнения	82	-
Ограничения	Учет бюджета и финансовых ограничений	91	9
	Учет возможности сотрудников реализовать проект	74	26
Категоризация, селекция, расчеты	Группировка проектов	47	-
	Приведение портфеля в соответствие стратегии	82	-
	Вовлеченность топ-менеджеров	91	-
	Регулярный отчет по портфелю	79	21
	Централизованное отслеживание выгод от проектов	50	41
Оптимизация	Сравнение результата проектов с первоначальными целями	68	32
	Анализ воздействия отдельных новых проектов на весь портфель	62	35
	Ежегодный (или чаще) пересмотр приоритетов проектов во всем портфеле	76	21
	Регулярный пересмотр портфеля	71	24
Специальное программное обеспечение		29	47

2.2. Критерии оптимизации портфеля

Как было рассмотрено в предыдущем параграфе, решать оптимизационные задачи необходимо в следующих основных случаях:

1. Селекция проектов;
2. Разработка календарного плана выполнения проектов;
3. Выравнивание проектов для оптимизации загрузки ресурсов.

Последние две задачи связаны с оптимальным использованием ограниченных или редких ресурсов и будут рассмотрены в следующих параграфах данной работы.

Проблема выбора подходящего критерия для задачи селекции проектов заключается в том, что этих критериев много, а для решения задачи оптимизации нужен только один. Действительно, если рассмотреть все значимые параметры проекта, то их можно сгруппировать следующим образом:

Таблица 2.2

Группа	Показатель
Финансовые показатели:	• NPV • IRR • Период окупаемости • Рентабельность • ECV • ROI • Сумма вложений в проект …
Экономические показатели:	• EVA[6] • Масштаб проекта • Соответствие стратегии компании • Рискованность • Перспективность …
Управленческие показатели:	• Процент выполнения проекта • Срочность выполнения проекта • Успешность проекта …

И это еще далеко не полный перечень показателей, которые могут быть действительно важны для принятия решения о включении проекта в портфель в каждом конкретном случае. Кроме того, значительное количество этих показателей трудно измерить. В таких случаях предлагается использовать методы балльной оценки, выставляемой

[6] Economic Value Added – экономическая добавленная стоимость

экспертами. Но и это еще не всё. Большинство таких показателей трудно поддаются расчету в виду нехватки информации. Например, в ходе оценки проектов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ часто используют метод реальных опционов (ROA). Но не всегда можно корректно оценить стоимость реального опциона, а решение о включении проекта в портфель всё равно принимать нужно. В связи с этим возник синтез теории нечетких множеств с методологией управления портфелем проектов.

Даже для оценки эффективности одного проекта нет единого показателя, на основании которого можно сделать вывод о выгодности проекта, поэтому оценка портфеля – задача, не имеющая однозначного решения.

С другой стороны, для того, чтобы сформировать оптимальный портфель, необходимо уметь сравнивать любые два набора проектов, чтобы можно было выбрать лучший. Данная процедура сравнения и является тем самым универсальным единственным критерием, в соответствии с которым будет осуществляться оптимизация.

Рассмотрим несколько возможных кандидатов на эту роль.

Критерий NPV[7]

В теории оценки эффективности инвестиционных проектов критерий NPV претендует на роль универсального критерия выгодности проекта.

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

где CF_i – денежный поток в i-м периоде от проекта, а r – ставка дисконтирования, которую в отсутствие риска можно назвать стоимостью капитала.

[7] Net Present Value – чистая текущая стоимость

При этом риск можно учитывать несколькими способами: увеличивая ставку дисконтирования или манипулируя денежным потоком проекта.

При этом недостатками метода NPV даже для оценки эффективности одного проекта являются:

- NPV не отражает длительность проекта;
- значение NPV зависит от нулевой точки отсчета и не может быть объективным при сравнении проектов, различающими моментами запуска.

Поэтому при принятии решения об инвестировании, используют и другие показатели оценки проекта. Однако в большинстве случаев, можно смело отбросить проекты, имеющие отрицательные значения NPV.

Если попробовать применить NPV для анализа портфеля, то получается следующее. Упорядочим все проекты по убыванию NPV. На оси *x* будем отмечать затраты на реализацию проекта, а на оси *y* значение NPV (см. Рис. 2.2). Сами проекты будут прямоугольниками с высотой равной NPV и шириной, равной затратам.

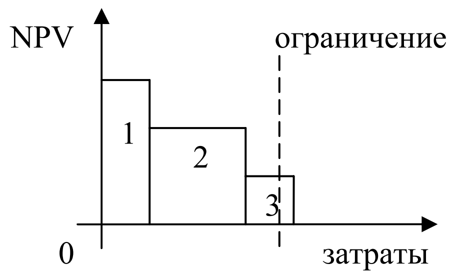

Рис. 2.2 Критерий NPV для формирования портфеля проектов

Если у нас есть ограничение на объем финансовых ресурсов, тогда необходимо реализовать все проекты, которые располагаются на графике левее этого ограничения, а те что правее – отбросить. Но возникает следующий вопрос. Если при таком выборе остаются «лишние» деньги, т.е. можно было потратить 5 млн.руб., а будет потрачено всего 4,5 млн.руб., то возможно, для повышения NPV портфеля стоит отказаться от какого-нибудь проекта с высоким NPV в пользу нескольких с меньшим, но которые позволят в конечном итоге потратить больше денег и получить большую отдачу.

При большом количестве проектов, такую задачу проще всего решить с помощью линейного программирования. При этом не нужно будет выстраивать проекты по убыванию NPV.

Пусть $C_1,\ldots,C_n$ – затраты на реализацию проектов $P_1,\ldots,P_n$ (переменные P_i принимают два значения: 0, если проект отклоняется и 1, если проект входи в портфель). $R_1,\ldots,R_n$ – соответствующие значения NPV для каждого проекта. C – доступный объем финансирования. Тогда задача формулируется так:

$$R_1 \cdot P_1 + R_2 \cdot P_2 + \ldots + R_n \cdot P_n \to \max,$$
$$C_1 \cdot P_1 + C_2 \cdot P_2 + \ldots + C_n \cdot P_n \le C$$

В результате решения (например, симплекс-методом), получаем набор проектов, из которых должен состоять портфель.

Данная модель может быть применена лишь при следующих дополнительных предположениях, ограничивающих область применения:

- проекты являются независимыми;
- проекты идут одновременно или каким-то образом фиксировано время начала каждого проекта, т.к. NPV каждого проекта необходимо рассчитывать на дату формирования портфеля проектов. Иначе, задачу по селекции необходимо совместить с задачей формирования календарного плана;
- проекты низкорискованные и, следовательно, значения параметров моделей поддаются прогнозированию;

- учитывается единственное ограничение на финансовый ресурс.

Мы рассмотрели простейшую задачу селекции проектов, основываясь на критерии максимизации NPV с одним ограничением. В принципе данную задачу можно расширить на любое другое количество ограничений, которые могут быть связаны с редкими ресурсами, рисками и другими параметрами.

Критерий ECV

Одной из модификаций чистой текущей стоимости NPV для оценки эффективности проектов разработки новых продуктов (NPD = New Product Development) является ожидаемая коммерческая стоимость проекта ECV (Expected Commercial Value of Project) [12].

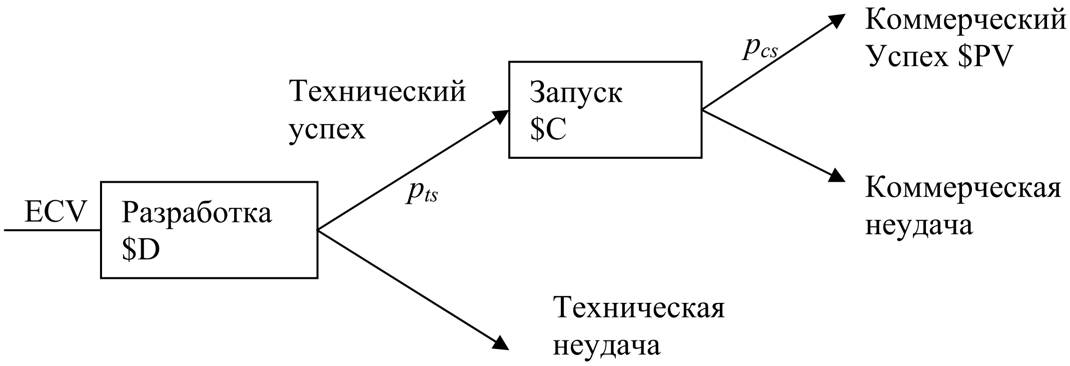

Рис. 2.3 Ожидаемая коммерческая стоимость

$$ECV = (PV * P_{cs} - C) * P_{ts} - D \qquad (2.1)$$

В данной формуле C – затраты на коммерческую реализацию проекта (капитальные затраты в оборудование и продвижение продукта), D – затраты на разработку продукта, P_{ts} – вероятность успеха разработки продукта, P_{cs} – вероятность коммерческого успеха проекта, PV – дисконтированные доходы от коммерческой реализации проекта.

Осуществлять селекцию предлагается следующим образом. Сначала необходимо расставить приоритеты среди проектов. Для ранжирования проектов вычисляется ECV для каждого проекта, затем рассчитывается отношение ECV к ограниченным ресурсам (например, НИОКР). В результате больший приоритет получают проекты с большей ожидаемой коммерческой стоимостью на единицу ограниченного ресурса. Если такое отношение назвать эффективностью, то можно вычислить эффективность всего портфеля, а значит, использовать линейное программирование для селекции проектов.

К недостаткам данного критерия можно отнести:

1. проекты сравниваются с абсолютным критерием, а не между собой;
2. не учитываются ограничения ресурсов;
3. большие проекты (по затратам и времени) оказываются значимее небольших;
4. при выборе проектов не учитывается фактор времени.

Аналогичным способом можно расставлять приоритеты проектам с любым другим показателем, пересчитанным на единицу ограниченных ресурсов и также вычислять эффективность по параметру для всего портфеля.

Визуальные критерии

К визуальным методам относятся разнообразные диаграммы ([13,14]). Например, на оси x будем откладывать уровень риска, а на оси y значение NPV. Теперь все проекты можно расположить на плоскости, но не точками, а кругами (пузырьками), величина которых соответствует величине капиталовложений. Помимо этого, каждый проект-круг можно закрасить цветом, который будет соответствовать стадии реализации проекта.

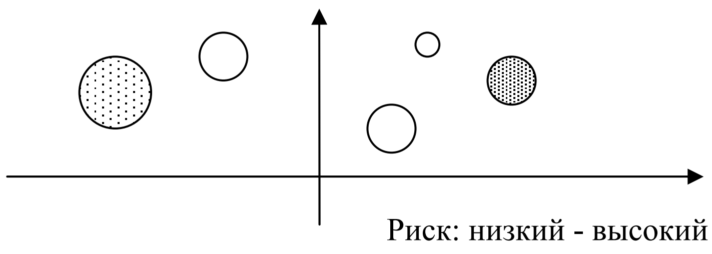

Рис. 2.4 Пузырьковая диаграмма (bubble diagram)

Данный метод позволяет частично исправить один из недостатков балльного метода – соотносить проекты друг с другом, а не только с абсолютным критерием. Кроме того, данный метод позволяет сбалансировать на глаз портфель по наличию проектов: крупных и маленьких, стратегических и тактических, низкорисковых и высокорисковых и т.д.

Мультикритериальная оптимизация

По результатам многих исследований, на сегодняшний день не существует самого лучшего метода селекции проектов, поэтому рекомендуется их комбинировать. Не стоит рассматривать исключительно финансовые показатели при формировании портфеля, не стоит ими и пренебрегать. Необходимо найти точку равновесия между высоко и низко рисковыми проектами, между стратегическими и тактическими, между прибыльными и менее прибыльными и т.п. Ситуация также осложняется тем, что иногда показатели, к которым необходимо стремиться, могут противоречить друг другу (например, снижение риска и увеличение доходности портфеля одновременно). Такие задачи называются многокритериальными (multicriteria). Для решения многокритериальных задач необходимо сбалансировать все целевые показатели, например, введением нового параметра, который и необходимо максимизировать или минимизировать (см. например, модель Радулеску ниже и параметр «склонность к риску»).

Если параметров больше, чем два, то, наверное, самым простым способом является построение нового параметра в качестве свертки исходных с некоторыми весами ([15,16]). Вес в данном случае, интерпретируется как значимость параметра в общей оценке портфеля.

При этом для неколичественных параметров вроде соответствия стратегии компании следует применять экспертные балльные оценки. В принципе, совсем не обязательно для количественных параметров использовать их непосредственные значения. Можно и для финансовых параметров разработать, например, 10-балльную шкалу и превращать значение количественного параметра в такую оценку. В результате, мы получим интегральную оценку для каждого проекта и для всего портфеля, что позволит нам решать задачи по максимизации этой оценки. Это так называемые балльные модели (scoring models). Модель, разработанная Радулеску, как раз и относится к этому классу моделей.

Свертка (нахождение средневзвешенной оценки, балльной или обычной) является самым простым средством для перевода многокритериальной задачи в однокритериальную, но таит в себе много опасностей. Преимущество данного метода заключается в том, что полученная в итоге оценка (целевая функция), является линейной относительно первоначальных критериев и не усложняет первоначальную задачу математического программирования. Серьезным недостатком сверток является опасность потери эффективных вариантов.

Вариант называется эффективным (паретооптимальным), если не существует другого варианта, который не хуже данного по всем критериям (мы считаем, что любые два варианта портфеля отличаются хотя бы по одному критерию).

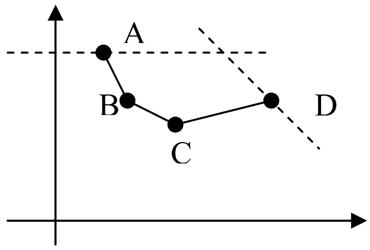

Рис. 2.5 Нарушение условий выпуклости для критериев свертки

На рисунке оси соответствуют 2-м критериям, из которых формируется 3-й с помощью взвешивания (свертки). Видно, что варианты B и C ни при каких обстоятельствах не будут выбраны, а будет выбран либо вариант A либо вариант D.

В последнее время большую популярность получил метод формирования комплексной оценки на основе построения иерархической структуры (дерева) критериев (AHP = Analytic Hierarchy Process). Идея в том, что все критерии организуются в определенную иерархическую структуру. На каждом уровне этой структуры происходит построение агрегированной оценки критериев предыдущего уровня. В случае, когда дерево бинарное, т.е. на каждом этапе происходит агрегирование только 2-х оценок, эксперту необходимо составить матрицу, которая будет ставить 2-м возможным значениям 2-х критериев комплексную оценку для агрегированного критерия (см. например, [15]).

Таблица 2.3

Пример построения комплексной оценки на основе AHP

Оценки показателей	1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	3
2	1	2	3	3	4
3	2	2	3	4	4
4	2	3	3	4	5
5	3	4	4	4	5

К недостаткам данного метода можно отнести большую трудоемкость в разработке таких парных оценок и, как следствие, возможность использования только в моделях балльной оценки.

2.3. Ограничения на ресурсы

Задача оптимизации программы и портфеля значительно усложняется, когда есть ограничения на ресурсы: финансовые, материальные и трудовые. Как правило, такие ограничения есть всегда. Иногда даже имеет смысл говорить об ограничениях по времени реализации портфеля.

2.4. Учет неопределенности и риска

Риск является очень важной составляющей портфеля, т.к. в конечном итоге именно реализация факторов риска определяет эффективность портфеля. Ведь известно, что не слишком большой процент реализуемых проектов является успешным. А если рассмотреть еще и инновационные компании, то в них заведомо предполагается, что большая часть проектов приведет к отрицательному результату.

Если рассмотреть чисто проектную организацию, операционная деятельность которой состоит только из проектов, то накопленная статистика по неудавшимся проектам уже может дать возможность оценить риск успешного завершения каждого нового проекта. Для того чтобы это сделать, достаточно разделить число успешных проектов на общее число проектов за какой-либо период, а еще лучше, проследить это соотношение в динамике. Даже на основе такой грубой оценки можно судить о приблизительной минимальной доходности каждого проекта, чтобы убытки от неудачных проектов были бы по абсолютной величине меньше доходов от удачных проектов.

Если развивать эту теорию дальше, то следует разделить проекты по объемам капиталовложений, периоду окупаемости, в компаниях, разрабатывающих новые продукты, разбить проекты на стадии (см. расчет ECV выше). Отметим, что качество учета риска сильно зависит от типа проектов портфеля.

Следующая возможность для учета риска – это имитационные модели. В основе данных моделей лежит метод Монте-Карло, согласно которому необходимо провести серию испытаний для нахождения риска портфеля. Несомненным достоинством моделей данного типа является их универсальность. Например, здесь представляется возможным оценить интегрированный риск портфеля проектов, включающий составляющие технологического, рыночного, финансового и др. рисков.

Основным недостатком данной модели является проведение множества испытаний, т.к. если при этом нахождение оптимального портфеля происходит практически перебором всех возможных вариантов, то время для расчета таких моделей возрастает многократно, и решение такой задачи при большом количестве исходных проектов не под силу даже современным компьютерам. Однако для сравнительно небольших портфелей проектов оптимизационную задачу решить удается.

3. АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ

3.1. Модель на основе процесса «стадия-ворота»

Эта модель управления портфелем (Stage-Gate™ process, [12]) разработана для улучшения управления портфелем инновационных проектов и активно применяется в большом количестве компаний (60% в США). Согласно этой модели проект по созданию нового продукта разбивается на стадии от НИОКР до коммерческой реализации продукта. Перед началом каждой стадии стоят ворота, через которые должен пройти проект. В воротах принимаются решения о судьбе проекта. Данная модель существует в двух вариантах.

Вариант 1. Преимущество ворот.

Воротами управляют менеджеры среднего звена и работают над каждым проектом индивидуально. Работа ворот состоит из 2-х частей. В первой части, проект анализируется на соответствие выбранным критериям с помощью портфельных инструментов (см. выше), что позволяет принять решение о прекращении или продолжении проекта (Go/Kill decision). Во второй части, если принято решение продолжать (или начинать) проект, происходит установка приоритета для проекта и выделение ресурсов для этого проекта (с помощью финансовых критериев или балльной оценки). Помимо этого, может быть принято решение о приостановке данного проекта из-за нехватки ресурсов. Эти действия определяются установленным приоритетом.

Для определения сбалансированности портфеля используются методы визуализации (см. выше). Сам портфель пересматривается, быть может, пару раз в году, в то время как ворота работают непрерывно. В результате такого осмотра необходимо ответить на следующие вопросы:

- сбалансированность проектов;
- выбраны «правильные проекты»;
- правильные приоритеты среди проектов.

Авторы модели утверждают, что если ворота работают хорошо, то корректировки портфеля будут незначительны и осуществляться будут не часто, а руководство может рассматривать только агрегированный портфель для контроля.

Вариант 2. Преимущество обзора портфеля

Философия данного подхода заключается в том, что каждый проект должен конкурировать друг с другом. Go/Kill decision решения принимаются при обзоре портфеля 2-4 раза в год. В результате получается более динамичный портфель. Данный подход часто используется в компаниях по разработке программного обеспечения (ПО) и электроники.

Согласно описанной выше классификации моделей, оба метода можно отнести к управлению программой в первую очередь, использованию смешанных инструментов для установки приоритетов (финансовые, балльные и визуальные), к визуальной оценке сбалансированности с использованием ограничений на ресурсы.

3.2. Модель формирования портфеля проектов К. и М. Радулеску

Исходное множество проектов делится на подмножества эквивалентных проектов. Проекты в данных подмножествах могут быть разной степени завершенности, стоимость проектов может быть различной и ресурсы могут использоваться на разных уровнях. Желательно найти портфель проектов из исходного множества конкурирующих проектов, которые содержат только один проект из каждого подмножества, удовлетворяющий всем ограничениям и требованиям для использования ресурсов, максимизирующий полезный результат и минимизирующий риск.

$F_1,\ldots,F_q$ – подмножества эквивалентных проектов из всех первоначальных проектов. Количество проектов в каждом подмножестве соответственно равно $n_1,\ldots,n_q$.

$F_k = \{P_{k,1},\ldots,P_{k,nk}\}$ – множество проектов в каждом подмножестве.

$n = n_1 + \ldots + n_q$ – количество всех исследуемых проектов

Все проекты в любом множестве F_k эквивалентны, поэтому необходимо выбрать из каждого подмножества только один проект.

Предположим, что проекты оцениваются m экспертами $E_1,\ldots,E_m$, которые ставят баллы каждому проекту. Разумеется, вместо экспертов можно взять m критериев.

Обозначим $a_{i,j,k}$ – баллы которые выставляет эксперт i проекту P_{jk}.

Допустим, что для проектов доступно k-ресурсов: $R_1,\ldots,R_k$.

Обозначим $b_{i,jk}$ – количество ресурса i, необходимое для реализации проекта P_{jk} .

Обозначим c_i – верхний предел доступного ресурса R_i.

Пусть $x = \{x_{ij}\}$ – решение данной проблемы, т.е. соответствующие проекты P_{ij}. Если $x= 0$, то проект отклоняется, если $x=1$ то это означает, что проект войдет в портфель.

Совокупный эффект от такого портфеля составит:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q} a_{i,jk}\cdot x_{jk} \tag{3.1}$$

Обозначим:

$$y_i = \sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q} a_{i,jk}\cdot x_{jk} \tag{3.2}$$

Легко заметить, что: y_i – есть общий балл, выставленный портфелю x экспертом E_i.

Определим риск портфеля, как вариацию баллов выставляемых экспертами. Тогда риск для портфеля x будет равен:

$$R(x)=\frac{\sum_{s=1}^{m}(y_s-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}y_i)^2}{m}=\frac{\sum_{s=1}^{m}\left(\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q}a_{s,jk}\cdot x_{jk}-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q}a_{i,jk}\cdot x_{jk}\right)^2}{m} \qquad (3.3)$$

Проблема формирования портфеля проектов – это многокритериальная оптимизационная проблема:

$$\max\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q}a_{i,jk}\cdot x_{jk}\right) \qquad (3.4)$$

$$\min(R(x))$$

с ограничениями:

$\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q}b_{s,jk}\cdot x_{jk}\le c_s$ и $\sum_{k=1}^{n_q}x_{ik}=1$ для любого $i = 1,...,q$

Обозначим $\theta\in[0,1]$ – предрасположенность эксперта к риску. Около нуля – эксперт предпочитает не рисковать, около единицы – напротив. Теперь можно трансформировать бикритериальную проблему, описанную выше, в однокритериальную с введенным коэффициентом предрасположенности к риску.

$$\min\left((1-\theta)\cdot R(x)-\theta\cdot\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q}a_{i,jk}\cdot x_{jk}\right) \qquad (3.5)$$

при тех же ограничениях.

Задача минимизации риска

Задача минимизации риска при эффекте от портфеля большего, чем M.

$$\min(R(x)) \qquad (3.6)$$

с теми же ограничениями, плюс еще одно ограничение:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q} a_{i,jk}\cdot x_{jk} \geq M \qquad (3.7)$$

Задача максимизации дохода

Обозначим r – максимальный риск портфеля, тогда:

$$\max\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{q}\sum_{k=1}^{n_q} a_{i,jk}\cdot x_{jk}\right) \qquad (3.8)$$

с теми же ограничениями плюс еще одно:

$$R(x) \leq r \qquad (3.9)$$

Все рассмотренные модели нелинейные (квадратические), поэтому их трудно решить аналитически. В этой связи разработаны и используются эвристические около-оптимальные решения (Hansen, 1979, Thiel and Voss, 1994).

Данная модель была реализована в программном пакете PROSEL (PROject analysis and SELection system) Институтом исследования информатики Бухареста и применяется в министерствах Румынии.

Согласно введенной классификации, данная модель нацелена на управление портфелем независимых проектов на базе экспертной балльной оценки с использованием инструментов нелинейного математического 0-1 программирования в условиях риска с ограничением на финансовые ресурсы.

3.3. Модель управления проектами отраслевого развития

В работе Буркова и Джавахадзе ([15]) рассматривается задача формирования программы развития отрасли в условиях ограниченности финансовых ресурсов. Эта задача включает формирование целей развития отрасли и программы (множества проектов развития), обеспечивающей достижение этих целей. Описывается методология и методы комплексной оценки программы развития и методы формирования оптимального плана реализации программы по критерию упущенной выгоды.

Цели для программы формируются из следующих групп:

1. рыночные цели;
2. производственные цели;
3. финансово-экономические;
4. социальные;
5. другие.

Каждый проект имеет следующие характеристики: затраты, сроки и эффект (вклад в достижение целей). По каждому критерию строится зависимость «затраты – эффект». Для ранжирования проектов используется показатель «эффективность», который определяется делением общего эффекта на затраты проекта.

Если для фиксированного уровня финансирования необходимо определить максимальный эффект – достаточно просто выстроить все проекты по эффективности и отобрать из верха списка те проекты, на которые хватит финансирования. Правда из-за неделимости проектов, могут возникать и другие варианты. В общем случае задача сформулирована в терминах целочисленного 0-1 программирования следующим образом:

Обозначим $x_i = 1$, если мероприятие i реализуется и $x_i = 0$ в противном случае. Объем финансирования равен R. Эффект от проекта равен a_i, затраты равны c_i. Задача:

$a_1x_1 + ... + a_kx_k \to \max$, при ограничении $c_1x_1 + ... + c_kx_k \le R$.

Для решения такой задачи предлагается применить метод динамического программирования ([15]).

Далее вводится в полученную модель риск. Пусть p_i – вероятность успеха i-го проекта. Данные риски предполагается определять экспертным путем. В случае независимости проектов программы, общий риск портфеля будет равен:

$Rs = 1 - p_1 \cdot \ldots \cdot p_k$

$H = 1 - Rs$ - надежность программы

Рассмотрим задачу выбора проектов портфеля, которые обеспечивают максимальный эффект при ограниченных ресурсах и риске не более заданной величины. Для решения этой задачи предлагается использовать РЭСТ-диаграммы (Риск, Эффективность, Стоимость). Для построения РЭСТ-диаграммы вводится следующая шкала измерения риска, которая названа логарифмической шкалой (кратко - L-шкалой) риска. L-шкала связана с исходной шкалой R(Q) соотношением:

$$L(Q) = \ln(1-R(Q))^{-1} \qquad (3.10)$$

Основное достоинство L-шкалы состоит в том, что L-риск программы, состоящей из множества проектов равен сумме L-рисков этих мероприятий, т.е.:

$$L = \sum_i l_i, \text{ где } l_i = -\ln(1-q_i) \qquad (3.11)$$

Для построения РЭСТ-диаграммы на плоскости необходимо построить систему координат, ось абсцисс которой соответствует L-риску, а ось ординат - затратам. Рассматривается множество всех проектов в очередности их номеров. Сначала рассматривается первый проект и строится точка x1 с координатами (l1 , s1), где l1 - величина l-риска проекта 1, а s1 - затраты на его реализацию. У точки x1 записывается номер координаты [0,0] точки, из которой она получена и величина эффекта a1 от первого проекта в случае его успешной реализации. Далее рассматривается второе мероприятие. Теперь строятся две точки - одна с координатами (l2, s2), а другая с координатами (l1 + l2, s1 + s2). У первой точки записывается координата точки [0, 0] и эффект a2, а у второй -

координата (l1, s1) и величина эффекта (a1 + a2). На третьем шаге рассматривается третье мероприятие и строится уже четыре точки. Это точка с координатами [l3, s3] и пометкой [0, 0], a3; точка с координатами [l1 + l3, s1 + s3] и пометкой (l1 , s1), (a1 + a3); точка с координатами [l2 + l3, s2 + s3] и пометкой (l2 , s2), (a2 + a3) и, наконец, точка с координатами [l1 + l2 + l3, s1 + s2 + s3] и пометкой (l1 + l2, s1 + s2), (a1 + a2 + a3). Аналогично рассматривается мероприятие 4 и т.д.

Определение. Точка [L1, S1] доминирует точку [L2, S2], если: 1) Число мероприятий, рассмотренных при построении первой точки меньше или равно числу мероприятий, рассмотренному при построении второй точки. 2) Имеют место условия

L1 <= L2; S1 <= S2; A1>=A2

(где L - величина L-риска, S - величина затрат, A - величина эффекта).

Все доминируемые точки можно исключить и в дальнейшем не учитывать при рассмотрении следующих мероприятий.

Если первое условие не выполняется, то есть число мероприятий, рассмотренных при построении первой точки, больше числа мероприятий, рассмотренных при построении второй точки, то будем говорить, что первая точка условно доминирует вторую. Условно доминируемую точку можно исключать из РЭСТ-диаграммы только после того, как на ее основе построена следующая точка.

Имея РЭСТ-диаграмму множества мероприятий нетрудно принимать решения о выборе оптимального пакета мероприятий при ограничениях на величину затрат и риска. Достаточно внутри допустимой области определить точку с максимальным эффектом.

3.4. Модель Бадри-Девиса селекции проектов

Данная модель была разработана для выбора проектов информационных систем в здравоохранении ([18]).

Пусть $x_1,\ldots,x_n$ – доступные проекты. Переменные принимают всего два значения: 0, если проект не входит в портфель и 1, если входит.

Выгоды. Пусть b_i – выгода от i-го проекта, тогда:

$\sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i + d_b^- - d_b^+ = BEN$ - максимальная выгода от портфеля (максимизировать),

где $d_b^{\pm}$ - возможные отклонения по выгоде.

$\sum_{i=1}^{n} r_i \cdot b_i \cdot x_i + d_r^- - d_r^+ = BEN^R$ - выгода от портфеля в условиях риска, где r_i – риск неудачи реализации i-го проекта; d_r - стандартное отклонение по инвестициям.

Затраты на компьютерное оборудование. Пусть h_i – затраты на оборудование, связанное с i-м проектом, тогда

$\sum_{i=1}^{n} h_i \cdot x_i + d_h^- - d_h^+ = HBUDG$ - общий бюджет на оборудование,

где $d_h^{\pm}$ - возможные отклонения по затратам.

Затраты на программное обеспечение. Пусть s_i – затраты на программное обеспечение, связанное с i-м проектом, тогда

$\sum_{i=1}^{n} s_i \cdot x_i + d_s^- - d_s^+ = SBUDG$ - общий бюджет на программное обеспечение,

где $d_s^{\pm}$ - возможные отклонения по затратам.

Прочие затраты. Пусть o_i – прочие затраты на реализацию i-го проекта, тогда:

$\sum_{i=1}^{n} o_i \cdot x_i + d_o^- - d_o^+ = OBUDG$ - прочие затраты портфеля, где $d_o^{\pm}$ - возможные отклонения по затратам.

Цели, ставятся для получения преимуществ 1) принимающих решений (*d*); 2) конечных пользователей (*u*).

$\sum_{i=1}^{n} pr_i^d \cdot x_i + d_{pr}^{d-} - d_{pr}^{d+} = PER^d$ - преимущество принимающего решение;

$\sum_{i=1}^{n} pr_i^u \cdot x_i + d_{pr}^{u-} - d_{pr}^{u+} = PER^u$ - преимущество конечного пользователя.

Взаимосвязи проектов. Пусть A_j – множество проектов от которых зависит может ли быть исполнен проект j. Таким образом, ограничения могут быть выражены так:

$\sum_{i \in A_j} x_i \geq \left| A_j \right| \cdot x_j$, где $|A_j|$ - количество проектов в множестве A_j.

Взаимоисключающие проекты задаются условием $x_i + x_j = 1$.

Ограничение на время исполнения.

$\sum_{i=1}^{n} t_i \cdot x_i + d_t^- - d_t^+ = 0$ - условие для минимизации времени, если надо просто ограничить время, то в правой части не ноль.

Ограничение на время обучения.

$\sum_{i=1}^{n} tt_i \cdot x_i + d_{tt}^- - d_{tt}^+ = 0$ - условие для минимизации времени, если надо просто ограничить время, то в правой части не ноль.

Дополнительные кадры (по категориям).

$\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot x_i + d_{mj}^- - d_{mj}^+ = ADDIT_j$ - общие затраты по привлечению кадров.

Целевая функция.

$$Z = P_1(d_b^+ + d_b^-) + P_2(d_h^+ + d_h^-) + P_3(d_s^+ + d_s^-) + P_4(d_o^+ + d_o^-) + P_5(d_r^+ + d_r^-)$$
$$+ P_6(d_{pr}^{d+} + d_{pr}^{d-}) + P_7(d_{pr}^{u+} + d_{pr}^{u-}) + P_8(d_t^+ + d_t^-) + P_2(d_{tt}^+ + d_{tt}^-) + P_{10}(d_m^+ + d_m^-)$$

Целевая функция должна быть минимизирована.

3.5. Оптимизационная модель формирования портфеля взаимосвязанных проектов

Данная модель, разработана Дикинсоном, Торнтон и Грэйвом [37].

Определение взаимозависимостей проектов портфеля

Матрица взаимозависимостей проектов представляет собой квадратную матрицу размерности

n_px n_p, где n_p – количество проектов. Такая матрица может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{n_p} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{n_p 1} & \cdots & \cdots & d_{n_p n_p} \end{pmatrix}$$

Каждый элемент матрицы, d_{ij}, может принимать значения от 0 до 1 в зависимости от степени связи проектов. Значение коэффициента d_{ij} показывает уровень зависимости проекта i от проекта j. Если коэффициент принимает значение 0, то реализация проекта i не зависит от успешной реализации проекта j. Значение 1, напротив, означает, что проекты i и j зависимы и успешность реализации одного проекта напрямую зависит от реализации другого проекта, другими словами, оба проекта должны быть включены в портфель. Значения коэффициентов матрицы определяются экспертным путем.

После того, как матрица взаимозависимости сформирована, необходимо определить, каким образом, получаемый в процессе осуществления проектной деятельности доход, распределяется между зависимыми проектами. Для этого вводится новый параметр модели M_i , который показывает долю ожидаемого дохода в случае реализации проекта i, в то время как зависимые проекты не будут финансироваться. Например, если доля ожидаемого дохода по проекту i равна M_i= 0,85, проект i будет реализован в одиночку, а также ожидаемая выручка от реализации проекта i и зависимых проектов равна 10000 ед.ст., то ожидаемый доход портфеля в этом случае будет равен 85000 ед.ст.

Оставшаяся часть дохода от реализации проекта i и зависимых проектов в количестве 1-M_i распределяется между зависимыми проектами пропорционально значениям коэффициентов взаимосвязи d_{ij}. Доли дохода, приходящиеся на зависимые проекты, могут быть отражены в модели коэффициентами W_{ij} следующим образом:

$$W_{ij} = (1-M_i) \times \frac{d_{ij}}{\sum_{\alpha=1}^{n_p} d_{i\alpha}} \qquad (3.12)$$

В целях лучшего понимания взаимозависимости проектов введем двоичные переменные, показывающие финансируется ли в момент времени t проект i ($z_{it}=1$) или нет ($z_{it}=0$). Тогда общая доля дохода, полученная от реализации всех зависимых от i проектов в момент времени t D_i, определяется следующим образом:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n_p} Z_{jt} W_{ij} \qquad (3.13)$$

Например, проект 1 зависит от проектов 2 и 3 с одинаковым коэффициентом взаимозависимости 0,2. Предположим, что M_1=0.8, а ожидаемая выручка от реализации проекта 1 и зависимых с ним проектов равна 100000 ед. ст.

Если проект 1 начали финансировать, а проекты 2 и 3 нет, то ожидаемый доход от проекта 1 будет равен $0,8 \cdot 100000 = 80000$ ед. ст. Оставшиеся 20% (1-M_1) потенциальной выручки от проекта 1 распределяются между проектами 2 и 3 в случае их финансирования в равной степени. Следовательно, если проекты 1 и 2 будут реализованы, то ожидаемый доход от их реализации будет равен $80000 + 0,5 \cdot 20000 = 90000$ ед.ст.

Построение оптимизационной модели

Оптимизационная модель построена на базе оптимизационной программы в Excel. Целевой функцией модели является максимизация чистой приведенной стоимости (NPV) портфеля проектов при условии ограничений по бюджету и сбалансированности портфеля.

Под сбалансированностью портфеля в данном случае понимается ограничение по требуемому числу проектов в портфеле и количеству проектов, соответствующих стратегическим целям компании. В модели используется матрица взаимозависимостей проектов, для определения доходов, полученных от реализации проектов портфеля.

Помимо матрицы взаимозависимостей и долей доходов для каждого проекта, имеющего взаимозависимости с другими проектами, необходимо определить другие параметры модели и переменные.

Соотношения на финансирование проектов

Продолжительность проектов может варьироваться от 0 до года n_t. Год, в который проект начал получать финансирование (т.е. проект был запущен), моделируется с помощью матрицы булевых переменных X_{it}, где $X_{ik} = 1$, если проект i планируется начать в год $t = k$ и $X_{ik} = 0$, в противном случае. В модели предполагается, что проект может быть начат только один раз и финансируется на протяжении всего времени. Это возможно при выполнении следующих очевидных соотношений для каждого проекта i:

$$\sum_{t=0}^{n_t} X_{it} \leq 1 \qquad (3.14)$$

Портфельные издержки

В финансовой модели используются общие годовые издержки, которые включают в себя издержки по привлечению капитала, издержки на внедрение и поддержание проектов. Предполагается, что издержки не зависят от года, в который проект был запущен (другими словами, издержки не изменятся в зависимости от того, в какой период времени мы начнем проект). Издержки проекта для первоначального портфеля описаны в матрице C_{it}, где каждый элемент представляет собой постепенно нарастающие издержки проекта i в календарный год t. Как только проект стартовал, предполагается, что он будет финансироваться на протяжении всего времени. Таким образом, матрица издержек может быть представлена в виде:

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1i} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{t1} & \cdots & \cdots & C_{ti} \end{pmatrix}.$$

Доход портфеля

Данная модель также включает в себя доход от каждого проекта по годам, однако, доход, формируемый проектом, зависит от года, в который начат проект. Значение каждого элемента в матрице доходов R_{it} представляет собой общий проектный доход от проекта i в календарный год t. Матрица дохода портфеля будет выглядеть следующим образом:

$$
\begin{pmatrix}
R_{11} & \cdots & \cdots & R_{1i} \\
\vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\
\vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\
R_{t1} & \cdots & \cdots & R_{ti}
\end{pmatrix}.
$$

Вероятность успеха проекта

В данной модели вероятность успеха, P_i, присваивается каждому проекту на основе эмпирических данных и экспертных оценок. Далее проекты ранжируются в зависимости от вероятности успеха.

Стратегические цели

Эмпирическим путем каждому проекту присваивается только одна стратегическая цель. Соответствие стратегических целей проектам описано в матрице N_{im}, элементы которой бинарные величины, где i представляет собой проект, а m – стратегическую цель. В данной модели, проект может соответствовать только одной стратегической цели, хотя в реальности возможна ситуация с несколькими целями. Матрица соответствия стратегическим целям будет выглядеть следующим образом:

$$
\begin{pmatrix}
N_{11} & \cdots & N_{i1} \\
\vdots & \cdots & \vdots \\
N_{1m} & \cdots & N_{im}
\end{pmatrix}.
$$

Промежуточные вычисления

Чистый эффект D_{it} от проекта i, полученный в календарном году t, вычисляется на основе нормализованной матрицы взаимозависимостей W_{it}.

Для оценки такого эффекта необходимо ввести промежуточную бинарную переменную Y_{it}, которая показывает, финансируется ли проект i в момент времени t (Y_{it}=1) или нет (Y_{it}=0). Мы предположили, что если проект был запущен, то он будет финансироваться на протяжении всего времени его реализации. Этого можно добиться следующими соотношениями:

$$Y_{it} = \sum_{\beta=1}^{t} X_{i\beta}, t = 1, 2, ..., n_i, \text{ где:} \qquad (3.15)$$

n_i - продолжительность в годах реализации проекта *i*.

Тогда чистый доход от реализации только зависимых от *i* проектов без учета вероятности их успеха можно определить по следующей формуле:

$$D_{it} = \sum_{j=1}^{n_p} W_{ij} Y_{jt} \qquad (3.16)$$

Основные ограничения модели

После того, как все переменные введены, необходимо определить ограничения. В модели используется три вида ограничений:

- по бюджету;
- по количеству проектов в портфеле;
- по количеству проектов соответствующих стратегическим целям компании.

Под бюджетом B_t понимается максимальное количество средств, выделенных для реализации проектов портфеля в каждый календарный год *t*. Совокупные издержки проектов портфеля в каждый год не могут превышать располагаемый бюджет. Поэтому можно записать следующие бюджетные соотношения:

$$\sum_{i=1}^{n_p} C_{it} Y_{it} - B_t \le 0, \forall t = 1, ..., n \qquad (3.17)$$

Здесь n - продолжительность расчетного периода портфеля.

Второй вид ограничений связан с максимальным количеством проектов Q_t, реализуемых в данный год *t*, которое определяется экспертным путем. Это ограничение записывается в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^{n_p} Y_{it} - Q_t \le 0, \forall t = 1,...,n \qquad (3.18)$$

Последний вид ограничений устанавливает количество проектов M_m, которые должны соответствовать стратегическим целям программы. Эмпирическим путем определяется, какие цели должны присутствовать в сформированном портфеле, определив минимальное количество проектов, соответствующих каждой цели. Это ограничение записывается в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^{n_p} N_{im} Y_{it} - M_m \ge 0, \forall t = 1,...,n \qquad (3.19)$$

Целевая функция модели

Модель осуществляет отбор проектов для финансирования в каждый календарный год на основе максимизации NPV портфеля при условии выполнения бюджетного и количественных ограничений.

Выручка, относящаяся к каждому проекту, зависит от вероятности успеха P_i и эффекта матрицы взаимозависимостей M_i и D_i. В нижеприведенной функции фактор дисконтирования для каждого календарного года t представлен как F_t. Также для упрощения вычислений в модели не учитывается фактор инфляции. В этих условиях целевая функция записывается следующим образом:

$$\max \sum_{t=0}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_p} Y_{it} R_{it} F_t P_i (M_i + D_{it}) - \sum_{t=0}^{n_t} \sum_{i=1}^{n_p} Y_{it} C_{it} F_t \qquad (3.20)$$

Несомненными достоинствами модели являются:

- учет взаимозависимости проектов портфеля;
- балансировка портфеля в соответствии со стратегическими целями компании;

- учет факторов неопределенности через вероятности успеха проектов.

К недостаткам модели, которые приводят к сужению области ее практического применения, можно отнести:

- проекты в модели представлены неделимыми единицами. Однако в инновационных продуктовых проектах можно выделить этапы работ, например «научные исследования», «опытно-конструкторские работы», «технологическая подготовка производства», «серийное производство и реализация продукции». Повышение привлекательности данной модели может быть достигнуто выделением таких этапов с оценкой вероятности успеха последних;
- в модели не учитывается влияние объема выделенных ресурсов на продолжительности проектов. В действительности такое влияние существенно. Перераспределяя ограниченные ресурсы по проектам портфеля, можно существенно снизить как ожидаемые продолжительности проектов, так и показатели изменчивости;
- в модели не учитываются возможности использования финансового рычага и привлечения заемных средств на различных условиях;
- риски в модели учитываются с использованием лишь вероятностей успеха (неудачи) проекта. Однако, нет каких либо оценок возможного ущерба в конкретные периоды времени. Это, в свою очередь, может привести к высокой вероятности банкротства компании в отдельные периоды;
- условие финансирования модели предполагает, что если отдельный проект был запущен, то он будет финансироваться на протяжении всего времени его реализации вплоть до конца

расчетного периода. Однако для многих проектов данное ограничение не выполняется в виду того, что часть из них будут завершены раньше окончания расчетного периода;

- доход, полученный от реализации зависимых проектов, распределяется между ними согласно коэффициентам взаимозависимости d_{ij}, которые оцениваются экспертно. Однако экспертам оценить значения таких коэффициентов достаточно проблематично в виду следующих моментов:
  - доходы по проектам могут существенно различаться в различные моменты времени;
  - денежные потоки и доходы по зависимым проектам компании, скорее всего, будут коррелировать друг с другом, а также зависеть от момента запуска таких проектов. Причем для зависимых проектов возможно появление синергетического эффекта или, в ряде случаев, эффекта каннибализма. В последнем случае совокупный доход зависимых проектов будет отличаться от суммы доходов таких проектов, реализуемых по отдельности;
  - на денежные потоки проектов в большинстве случаев будут оказывать влияние потоки проектов конкурентов. Завоевав долю рынка, конкуренты могут существенно снизить доходы проектов компании.

3.6. Модели распределения ресурсов между проектами портфеля

Модель эффективного управления портфелем проектов предполагает эффективное распределение ресурсов. Последнее влечет за собой как повышение эффективности, так и сокращение сроков реализации проектов портфеля. В свою очередь, сокращая сроки завершения инновационных проектов портфеля, компания усиливает (сохраняет, в случае если другие компании предложат к этому времени похожие решения) конкурентные преимущества.

Распределение ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности

Распределение ресурсов по проектам (этапам проектов) во многих случаях приводит к изменению продолжительности проектов, как на уровне ожидаемых величин, так и параметров распределения. Решению данной проблемы посвящено достаточно много работ.

Метод PERT [21], разработанный в середине 20-ого века, стал первой попыткой рассмотрения неопределенности в расчетах проектного расписания, и учитывал в себе неопределенность продолжительности работ. Техника предлагала оценку распределения вероятностей общей продолжительности проекта (этапов проекта). На основе полученных оценок можно прогнозировать сроки завершения этапов проекта с желаемой вероятностью. Модели, построенные на основе методологии GERT [21], позволяют учитывать технологическую неопределенность выполнения основных операций этапов инновационных проектов, параллельность и логическую взаимосвязь выполнения комплекса операций. В основе методологии GERT лежат принципы и инструменты построения стохастических сетевых моделей и метод статистических испытаний Монте-Карло[22].

С 1950-х годов многие авторы дополнили PERT, используя упомянутый метод статистических испытаний Монте-Карло [23,24] . Некоторые из этих дополнений включали моделирование корреляции между продолжительностями задач [25] и предлагали решения в том случае, когда возникал конфликт из-за распределения ресурсов [26].

Например, Голенко-Гинзбург и Гоник разработали эвристические процедуры, устраняющие конфликты в распределении ограниченных не потребляемых ресурсов [26]. Общая идея алгоритма заключается в перераспределении существующих не потребляемых ресурсов среди операций проекта в соответствии с приоритетом каждой из них. Приоритет представляет собой соответствие вкладу операции в продолжительность проекта. Он зависит от произведения ожидаемой продолжительности операции на вероятность того, что операция окажется критической. Данная вероятность, в свою очередь, легко рассчитывается с помощью имитационного моделирования.

Они исследовали модели инновационных проектов, основанные на стохастических сетевых графах со случайными продолжительностями операций без циклов. Исследуемые модели предполагали структурное сходство с моделями вида PERT, но предполагали различные функции распределения продолжительностей операций проекта. Сущность разработанных Голенко-Гинзбургом и Гоником процедур состоит в следующем. Если в какой-то определенный момент времени можно начать выполнять несколько работ, но доступных ресурсов недостаточно, проводится отбор среди возможных операций с целью выбрать те из них, которые обеспечены имеющимися ресурсами и имеют наивысший приоритет. Это, в принципе, соответствует стратегии принятия решений проект-менеджерами. Проект-менеджер всеми силами старается сначала осуществлять те работы, которые, будучи выполненными, оказывают наибольший эффект на уменьшение ожидаемой длительности проекта. Только затем менеджмент занимается прочими работами.

Однако во всех рассматриваемых выше методах и моделях предполагается, что функция плотности распределения продолжительности каждой операции параметрически не зависит от объемов выделяемых ресурсов. Однако, во многих случаях, такое допущение неоправданно. Кроме того, планирование распределения ресурсов в условиях неопределенности при фиксированных ресурсах – это оптимизационная проблема, и ее эффективное решение на основе использования лишь одного аппарата имитационного моделирования не может быть получено[27].

Ван Дорп и Даффи [25] предложили метод, позволяющий смоделировать и количественно оценить положительную зависимость между вероятностными распределениями параметров операций. Достоинство рассматриваемого метода состояло в том, что, обладая несомненной теоретической обоснованностью, он представлял собой сравнительно малотрудоемкий способ получения информации о статистической зависимости переменных. Авторы показали, что предположение о статистической независимости параметров операций проектов, т.е. допущение, что частные распределения отдельных операций полностью определяют многопараметрическое распределение для графика проекта в целом, далеко не всегда допустимо. Во многих же случаях такое предположение ведет к недооценке общей неопределенности в графике проекта, что, в свою очередь, ведет к принятию неверных управленческих решений.

Для установления полного многопараметрического распределения Ван Дорп и Даффи разделяют моделирование частных распределений и эффектов положительной зависимости. Под последними понимается формы зависимости, когда для больших значений одного частного распределения обнаруживается связь с большими значениями другого частного распределения. Частные распределения получаются на основе практического опыта менеджмента проекта в виде параметров треугольного или бета-распределений. Ван Дорп и Даффи предложили метод установления эффектов положительной зависимости.

Процедура построения результирующего многопараметрического распределения состоит из двух шагов:

- установление предположений о независимости некоторого числа случайных переменных;
- установление совместного распределения зависимых случайных переменных.

На первом шаге выявляются общие факторы риска, являющиеся источником статистической зависимости параметров некоторых операций проекта. Например, в качестве общих факторов риска могут выступать погодные условия, которые, в ряде случаев, могут оказывать похожее влияние на продолжительность выполнения одновременно нескольких операций проекта, например на продолжительность операций, выполняемых на открытой местности. Риск поломки технологического оборудования, отключение источников энергии, сбои при транспортировке и хранении продукции также можно в некоторых случаях отнести к общим факторам риска.

На практике для выявления влияния общих факторов риска менеджеры проектов применяют метод брейнсторминга [25]. Согласно данному методу наборы операций проектов разделяют на непересекающиеся подмножества Ai таким образом, чтобы случайные параметры операций в каждом подмножестве зависели преимущественно от единственного общего риск-фактора Fi . Набор операций подмножества Ai называется риск-группой с общим риск-фактором Fi. Риск-группы формализуются с помощью диаграмм зависимости. Пример диаграмм зависимости представлен на Рис. 3.1.

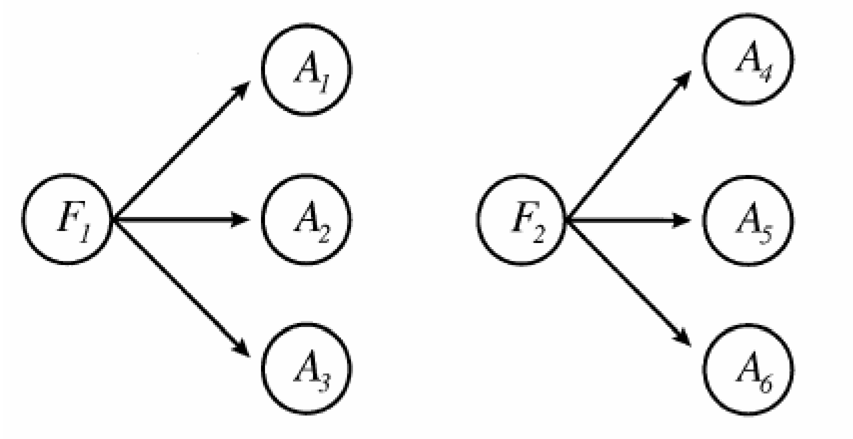

Рис 3.1 Пример диаграмм зависимости

Здесь: А – неопределенности, связанные с длительностями операций 1-6, F – общие факторы риска. Длительности операций А1, А2, А3 независимы при конкретном значении общих факторов риска F1. Значения общих факторов риска F независимы между собой.

На втором шаге устанавливаются совместные распределения Ai для каждой риск-группы с общим риск-фактором Fi . Совместное распределение (и, следовательно, статистическая зависимость) между Fi и Ai – это двумерное распределение. Одним из распространенных методов моделирования двумерного распределения с известными частными распределениями является метод Copula [10]. Согласно данному методу, совместное распределение Fi и Ai с известными частными распределениями однозначно определяется через связанное с ними распределение Copula (двумерное распределение с частными равномерными распределениями на [0,1]). Авторы предлагают дополнить метод Copula расчетом показателя степени зависимости (по сути, это доля, в которой общий риск-фактор объясняет «поведение» длительности операции, зависимой от этого фактора). Расчет значения показателя степени зависимости производится по специальной формуле.

Ван Дорп и Даффи рассмотрели пример влияния общих факторов риска на продолжительности операций инновационного проекта по разработке современных кораблей. Ими было сделано предположение, что единственным источником неопределенности продолжительности операций проекта являются указания о конструкторском или технологическом изменении. К числу последних относятся изменения в требованиях собственников, недостаточная разработанность инструкций, проблемы с передачей информации поставщику оборудования и т.п. Для моделирования неопределенности отдельно по каждой продолжительности операции ими было использовано треугольное распределение, параметры которого оценивались экспертно. Степени зависимости продолжительности операций задавались в рассматриваемом примере следующим образом. Операции с областью неопределенности (разностью между максимальным и минимальным значениями) менее 10 дней задавались значениями степени зависимости, равными 50%. Операции с областью неопределенности более 10 дней задавались значениями степени зависимости, равными 75%.

Ван Дорп и Даффи сравнивали результаты распределений продолжительности проекта, полученные в двух случаях:
продолжительности проекта не зависят друг от друга;
продолжительности проекта определяются в той или иной степени влиянием общих факторов риска.

В ходе проведенных исследований ими получены следующие заключения:

- математические ожидания времени окончания проекта в обоих случаях примерно одинаковы;
- показатели риска времени завершения проекта оказались выше во втором случае (случай учета влияния на продолжительности

операций общих факторов риска). В рассматриваемом примере проект с 95% вероятностью завершится менее чем за 159.3 дня в сравнении с 151.2 дня в случае предположения независимостей продолжительностей операций (увеличение показателя риска на 5,4%).

По результатам проведенных Ван Дорпом и Даффи исследований можно сделать вывод о недооценке риска продолжительности проекта традиционными подходами, используя стандартные процедуры типа PERT, которые не учитывают влияние общих факторов риска.

В 70-х годах Берт [29] начал исследовать проблему влияния распределения ограниченных ресурсов между операциями проектов на параметры распределения вероятностей продолжительности проектов (ожидаемые значения и дисперсию). Он разработал модель, которая рассматривала лишь равномерное либо симметричное треугольное распределение для продолжительности операций проекта. Назначение дополнительных ресурсов на операции могло бы сдвинуть правую конечную точку их распределения влево. Его модель предусматривала механизм выявления тех работ, для которых назначение дополнительных ресурсов приводило к определенному эффекту на уровне ожидаемых величин и вариации продолжительности этих операций. Процедура Берта ограничивалась выявлением параллельных последовательностей операций проекта (путей) и назначением единственного не возобновляемого ресурса (например, общего бюджета) на данные операции. Он ввел следующие основные правила распределения ограниченных не возобновляемых ресурсов:

- Статическое распределение. В этом случае бюджет распределяется между всеми путями таким образом, чтобы уравнять время выполнения каждого из них. Принятое решение неизменно на протяжении всего проекта;

- Динамическое распределение. Выделение ресурсов на первую операцию каждого из путей выполняется в соответствие со статическим распределением. Однако по мере выполнения операций первоначальное решение пересматривается, с тем, чтобы с учетом информации о фактическом времени выполнения уже закончившихся операций уравнять ожидаемое оставшееся время выполнения каждого из путей.

Берт использовал методологию имитационного моделирования для оценки значений параметров распределений продолжительности проекта для каждого из изучаемых правил распределения ресурсов. Основным результатом его работы являлся вывод о том, что использование методов динамического распределения ресурсов в проектах является более предпочтительным в виду большего сокращения ожидаемых значений и дисперсий продолжительностей проектов. Данный вывод относится к проектам, которые содержат относительно большое количество операций на разных путях сетевого графа либо к проектам, продолжительность операций, по которым, сильно варьируется.

Несмотря на несомненную важность проведенного Бертом анализа, его модель не позволяет определять эффективные варианты распределения ограниченных ресурсов по проектам портфеля. Здесь речь идет только об эффективности использования ограниченного числа правил распределения потребляемых ресурсов.

Герчик [30] также изучал проблему назначения ресурсов операциям проекта. При этом он исследовал возможности назначения большего количества единственного ограниченного ресурса операциям, что приводило к уменьшению дисперсии продолжительности без влияния на ее ожидаемую величину. Его задачей было создание методики назначения единственного ресурса (например, бюджета) для двух работ в такой последовательности, чтобы минимизировать дисперсию общей продолжительности проекта.

Оздамар и Алания [31] изучали проекты разработки программного обеспечения и использовали модель с нечеткими границами продолжительности, чтобы таким образом моделировать неопределенность в сроках выполнения работ проекта. Они рассматривали некий ресурс (названный «консультант»), который можно назначать операциям проекта так, чтобы сдвигать величины продолжительности задач в меньшую сторону. Они предложили механизм преобразования возможных назначений ресурса в дискретный набор «режимов» выполнения операций (с различной функцией продолжительности для каждого режима), и нашли эвристическое решение проблемы календарного планирования в условиях ограниченных ресурсов, отражающих доступное время консультанта.

В работе Лью, Чена и Янга [32] используется теория нечетких множеств с целью представления неопределенности продолжительности операций, и получения зависимости между характеристиками расплывчатой продолжительности операции и ее стоимости. Ими разработан эвристический алгоритм согласования общей стоимости проекта и его продолжительности.

Диапазон времени выполнения операции проекта авторами условно разделен на три основных участка:

- Критическое время;
- Расчетное время;
- Перекрывающееся время.

Операция, происходящая в расчетное время, может протекать в нормальном режиме. Операция, происходящая в критическое время, должна выполняться в интенсивном режиме, то есть требуется большее количество усилий с целью максимального сокращения времени операции. Для того чтобы операция завершилась в кратчайший срок, необходимо вложить в нее больше ресурсов. Поэтому цена операции в интенсивном режиме обычно выше, чем в нормальном режиме. Если длительность операции попадает в перекрывающийся участок, то операция может выполняться как в нормальном, так и в критическом режиме.

Предполагается также, что расчетные и критические прямые издержки, необходимые для выполнения операции соответственно в нормальном и критическом режимах, известны и имеют четкую стоимость. Основываясь на принципе минимизации издержек, операция, чья продолжительность лежит в перекрывающемся интервале, представляется в нормальном режиме.

Лью, Ченом и Янгом была построена следующая модель распределения ресурсов на операции:

$$\min{}^{\alpha} C_T = \sum_{\forall\, i} {}^{\alpha}C_{d_i} \qquad (3.21)$$

$$^{\alpha}T = \max_i \{^{\alpha}t_i + ^{\alpha}d_i \,|\, i := 1,2,...,n\} \qquad (3.22)$$

$$^{\alpha}t_j - ^{\alpha}t_i - ^{\alpha}d_i \geq 0, \forall j \in S_i \qquad (3.23)$$

$$^{\alpha}t_i, ^{\alpha}d_i \geq 0, ^{\alpha}M_{\mathrm{i}} \leq ^{\alpha}d_i \leq ^{\alpha}N_{\mathrm{i}}, i := 1,2,...,n \qquad (3.24)$$

где: $^{\alpha}C_T$ -совокупные прямые издержки на проект на уровне риска α;

$^{\alpha}T$ - продолжительность проекта на уровне риска α;

$^{\alpha}t_i, ^{\alpha}t_j$ - время начала операций i и j на уровне риска α соответственно;

α^{d_i} – продолжительность операции i на уровне риска α;

Si – множество операций следующих за i;

$^{\alpha}C_{d_i}$ - прямые издержки операции i при продолжительности α^{d_i};

${}^{\alpha}M_i$ - критическая продолжительность операции i на уровне риска α;

${}^{\alpha}N_i$ - расчетная продолжительность операции i на уровне риска α;
n – общее количество операций.

В предлагаемой модели уровень приемлемого риска α определяется исходя из директивно установленного минимального времени завершения проекта.

Равенство (3.21) модели отображает вычисление суммарных прямых издержек, которые являются целевой функцией. Равенство (3.22) предназначено для вычисления продолжительности нечеткого проекта. Равенство (3.23) означает, что различие во времени начала двух соединенных узлов должно быть, по крайней мере, также велико, как и продолжительность соединяющей операции. Равенство (3.24) ограничивает продолжительность каждой операции интервалом между критическим и расчетным временем.

Авторами был разработан эвристический алгоритм, состоящий из следующих четырех блоков:

- Блок создания длительности операции,
- Блок определения продолжительности проекта,
- Блок компромиссного соотношения между временем и затратами,
- Блок выхода.

Первый блок предназначен для генерации продолжительностей отдельных операций.

В блоке определения продолжительности проекта определяются оптимистические и пессимистические границы длительности проекта, основываясь на продолжительности каждой операции и отношениях предшествующих операций.

Третий блок, основан на выбранной длительности проекта в оптимистических и пессимистических границах. Минимальные прямые издержки на проект оцениваются в блоке компромиссного соотношения между временем и затратами.

Процесс от блока 1 к блоку 3 будет повторяться до тех пор, пока величины продолжительности проектов в возможных цепях и все уровни α (от 0 до 1) не будут проверены.

В последнем блоке выхода все прямые издержки проекта и их соответствующие продолжительности и уровни α собираются для дальнейшего построения графиков и анализа данных.

Несомненным достоинством работы Лью, Чена и Янга является использование теории нечетких множеств в моделировании распределения ресурсов по операциям проекта. Это, в какой то мере, решает центральную проблему управления портфелями проектов, которая состоит в недостаточности информации, необходимой для получения оценок исходных параметров моделей либо в высоких затратах на ее получение.

Гутияр, Штраус и Вагнер [33] также изучали проблему согласования с использованием оптимизационной модели на основе расширенного варианта метода PERT. Они создали программу целочисленных вычислений с целью согласования стоимости и продолжительности проекта.

Однако, ни работы Лью, Чена и Янга, ни Гутияр, Штрауса и Вагнера не отражают напрямую ограничения по ресурсам и эффекты влияния распределения различных видов ресурсов на продолжительности операций проектов.

К настоящему времени существует небольшое количество наработок по проблеме планирования графика работ для нескольких проектов, использующих один пул ресурсов. Подавляющее большинство из них базируется на использовании правил назначения приоритета, разработанных в работах Куртиса и Дэвиса [34]. Расширения для мультипроектной среды достигаются за счет того, что проекты считаются независимыми и связанными только через ограниченные ресурсы. Целевая функция в моделях таких задач включает показатели каждого из проектов (как правило, применяется свертка критериев на основе использования весовых коэффициентов). При этом в числе ограничений присутствуют зависимости, отражающие логические связи между операциями проектов. Логические связи между проектами портфеля отражаются в моделях введением фиктивных операций старта и конца [27,34-36].

В большинстве вышерассмотренных работ имеют место ограничения на применение лишь одного вида ресурса и другие специфичные допущения о том, как дополнительное количество ресурсов, назначаемых на операции проектов, оказывает влияние на ожидаемую величину и дисперсию продолжительностей операций.

Исключением здесь является модель, разработанная Нозиком, Турнквистом и Нинксингом [27]. В данной работе делается попытка учесть влияние числа различных видов ресурсов, назначаемых на операции проектов портфеля, на характеристики продолжительностей выполнения операций. Целевой функцией данной модели является минимизация взвешенного срока завершения всех проектов портфеля. В качестве весовых коэффициентов выступают относительные приоритеты скорейшего завершения проектов портфеля, получаемые экспертным путем. Остановимся подробнее на рассмотрении особенностей данной модели.

Модель эффективного распределения ресурсов в условиях неопределенности

Исходные данные модели

В расчетном периоде, составляющем Т ед. времени, предприятию необходимо завершить незавершенные проекты (этапы), а также ряд новых проектов, включенных ранее в портфель эффективных проектов. В дальнейшем будем рассматривать портфель, составленный из незавершенных проектов и проектов, подлежащих обязательному выполнению в расчетном периоде.

Экспертами оценены относительные приоритеты скорейшего окончания каждого проекта портфеля V_i, i - порядковый номер проекта портфеля. V_i назовем весами проектов.

Для выполнения этапов (операций) проектов требуются различные виды ресурсов, а именно:

- материальные;
- трудовые;
- финансовые и др.

Объемы доступных ресурсов каждого вида в каждый момент времени расчетного периода фиксированы.

Продолжительность выполнения этапа (операции) любого проекта зависит от реализации случайных факторов риска, с одной стороны, и объема выделяемых ресурсов каждого вида, с другой стороны.

Нозик, Турнквист и Нинхинг предлагают модель, которая позволяет распределить ограниченные ресурсы на операции проектов портфеля, одновременно выбирая моменты начала выполнения проектов, таким образом, чтобы минимизировать взвешенный срок окончания всех проектов портфеля (в качестве весов выбираются относительные важности проектов).

При этом необходимо учитывать:

- факторы риска, оказывающие влияние на продолжительность операций проектов;
- объемы доступных ресурсов каждого вида;
- зависимости продолжительности операций от объемов выделяемых ресурсов;
- необходимость завершения всех проектов портфеля в расчетном периоде.

Введение переменных и основных соотношений модели

Предположим, что имеется L не влияющих друг на друга проектов. Обозначим число операций в проекте l, как n_l. Пронумеруем все операции всех проектов портфеля последовательно, начиная с единицы. Тогда будем иметь $N = \sum_{l=1}^{L} n_l$ отдельных подлежащих выполнению операций. В качестве примера возьмем портфель, включающий один незавершенный проект (этапы 2,3 не завершены и должны быть выполнены друг за другом) и 2-а вновь выполняемых проекта (каждый из них включает 3-и последовательно выполняемых этапа). Пронумеруем все этапы (операции) портфеля, используя сквозную нумерацию, как показано в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Проект1		Проект2			Проект3		
Этап 2	Этап 3	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 1	Этап 2	Этап 3
1	2	3	4	5	6	7	8

Таким образом, в примере портфель состоит из 3-х проектов, включающих 8 операций.

Для каждого проекта портфеля введем фиктивные операции, не требующие ресурсов и времени, означающие завершение проекта (в примере это операции с номерами 9,10,11).

Расчетный период составляет Т лет. Объемы доступных ресурсов каждого вида k в каждый момент времени t расчетного периода Т известны и составляют H_{kt}.

Разработчики модели полагают, что увеличение объема ресурса, назначаемого на j-ую операцию проекта, смещает распределение вероятностей продолжительности этой операции влево. Ими было сделано предположение о том, что ожидаемое значение продолжительности любой операции проекта D_j зависит от объемов выделяемых ресурсов следующим образом:

$$D_j = D_{0j} \cdot \prod_k (S_{jk})^{\lambda_{jk}}, \qquad (3.25)$$

где: $\lambda_{jk}, (-1 < \lambda_{jk} \le 0)$ - оцениваемая экспертами эластичность продолжительности j-ой операции по объему используемого k-ого ресурса;

D_{0j} - ожидаемая продолжительность операции j при минимальном выделении ресурсов каждого вида.

Определение эластичности было заимствовано из экономики и означает, что при 1% увеличении ресурса S_{jk} вызовет уменьшение величины ожидаемой продолжительности на величину λ_{jk}. Как показали проведенные разработчиками модели исследования, экспертов не пугают вопросы следующего вида: «Если вам необходимо увеличить численность людей с конкретными компетенциями на 10%, то на какой процент при этом снизится ожидаемая продолжительность?». Практикующие руководители проектов часто мыслят в терминах процентных изменений и эластичности ими могут быть легко интерпретированы.

Обозначим кумулятивную функцию распределения продолжительности j-ой операции, как $F_j(t)$. Тогда, если j-ая операция начинается в момент t_1, то вероятность ее завершения к моменту t_2 равна $F_j(t_2 - t_1)$. Соответственно вероятность активности операции к моменту t_2 (при условии ее начале в момент t_1) равна $1 - F_j(t_2 - t_1)$.

Вводятся следующие переменные модели:

$$B_{jt} = \begin{cases} 1, если\_начало\_j-ой\_операции\_запланировано\_на\_период\_t \\ 0, в\_противном\_случае \end{cases}$$

Кроме этого, в данной модели используются рассмотренные переменные S_{jk}.

Целевая функция модели

Целевая функция модели – минимизация взвешенного срока завершения всех проектов портфеля:

$$\min \sum_{l=1}^{L} V_l \cdot \sum_{t=1}^{T} t \cdot B_{j_l t}, \qquad (3.26)$$

где $j_l \in I$ - множество фиктивных операций портфеля проектов.

При практическом применении модели возможно отсутствие допустимых вариантов решений (например, при явной недостаточности имеющихся в распоряжении ресурсов). Поэтому разработчиками модели предлагается также дополнить целевую функцию штрафными санкциями за перерасход ресурсов каждого вида. В этом случае представляется возможным получить оценки дефицитности ресурсов.

Ограничения модели

Во-первых, необходимо обеспечить единственность и обязательность выполнения каждой операции портфеля в течение расчетного периода. Этого можно добиться следующим образом:

$$B_{j1}+B_{j2}+...+B_{jT}=1, \forall j=1,...,N \qquad (3.27)$$

Во-вторых, необходимо обеспечить требуемую хронологическая последовательность выполнения ряда операций проектов (например, очередность выполнения этапов проектов). Так, например, если начало j-ой операции должно быть запланировано не ранее конца i-ой операции, то должно выполняться условие:

$$\sum_{t=1}^{T} t \cdot B_{it} + E(D_j) \leq \sum_{t=1}^{T} t \cdot B_{jt}, \qquad (3.28)$$

где: $E(D_j)$ -математическое ожидание продолжительности j-ой операции D_j.

В условиях рассматриваемого примера, включающего 3-и инновационных проекта, необходимо записать восемь подобных неравенств, а именно:

- пять неравенств предназначены для связи начала выполнения каждого этапа проекта с окончанием предыдущего этапа (предполагаем, что каждый этап проекта может быть запущен лишь после завершения предыдущего этапа);
- три неравенства предназначены для связи начала выполнения фиктивных операций с окончанием последних этапов проектов.

В-третьих, должны соблюдаться ограничения на имеющиеся объемы доступных ресурсов каждого вида в каждый момент времени. Разработчики модели предлагают ограничивать в каждый момент времени ожидаемые объемы требуемых ресурсов. Такие ограничения могут быть записаны для каждого вида ресурса k в следующем виде:

$$\sum_{j=1}^{N} S_{jk} P_{jt} \le H_{kt}, \forall t=1,...,T; \forall k \qquad (3.29)$$

где:

S_{jk}, H_{kt} - совокупный объем ресурса вида k, выделяемый на операцию j и имеющийся запас ресурса вида k в момент времени t соответственно.

P_{jt} - полная вероятность активности j-ой операции в период t.

Формула в левой части неравенства (3.29) показывает ожидаемую величину требуемого уровня ресурсов вида k на выполнение всех операций портфеля проектов в период t.

Полная вероятность активности j-ой операции в период t может быть вычислена на основе известной кумулятивной функции распределения вероятностей продолжительности операции $F_j(t)$ по формуле:

$$P_{jt} = \sum_{\tau=1}^{t} B_{j\tau}(1-F_j(t-\tau)), \forall t=1,...,T; \forall j=1,...,N \qquad (3.30)$$

В расчетах не учитываются взаимосвязи фиктивных операций в виду того, что последние не требуют ресурсов.

Разработанная Нозиком, Турнквистом и Нинхингом модель вида (3.25)-(3.30) содержит ряд предположений. К их числу можно отнести следующие предположения:

- необходимые для выполнения очередной операции проекта ресурсы выделяются единожды. В процессе выполнения операции ресурсы не могут быть выделены дополнительно;

- эластичности продолжительности операции постоянны и не зависят ни от объема выделяемых ресурсов, ни от продолжительности операции;
- в модели предполагается, что дополнительное выделение ресурсов на операцию не оказывает влияния на форму функции распределения вероятностей ее продолжительности, а приводит лишь к снижению ожидаемой величины;
- структура необходимых операций любого проекта должна быть полностью определена, все составляющие проект операции должны быть выполнены в течение расчетного периода. Однако на практике часть операций инновационных проектов подлежит выполнению лишь при условии успешного окончания предыдущих операций в жизненном цикле, т.е. будут выполняться с некоторой условной вероятностью;
- в модели ведется учет требуемого расхода каждого вида ресурса лишь на уровне математического ожидания. Это не может создать у менеджеров высокий уровень уверенности в том, что имеющегося запаса доступных ресурсов будет достаточно для выполнения всех операций проекта в виду возможно значительного разброса значений уровней требуемых ресурсов относительно средних величин;
- выделение лишь одного вида ресурса на операции проектов портфеля не всегда приводит к снижению продолжительности операций. Как показали проведенные исследования для снижения продолжительности операции, в большинстве случаев, требуется одновременное выделение ресурсов нескольких видов. Например, для выполнения этапов ряда инновационных проектов требуется обеспечить необходимое соотношение между объемами ресурсов разных видов.

4. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ К ЗАДАЧЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ

4.1.Основные понятия теории нечётких множеств

Проблема формирования портфеля проектов относится к задачам оптимизации в условиях неопределённости. Как правило, для решения подобных задач привлекается аппарат теории вероятности. Однако в ряде ситуаций, применение теории вероятностей представляется недостаточно корректным и обоснованным. Причиной этому является недостаток имеющихся данных, не позволяющий с достаточной степенью уверенности установить адекватность выбранной для описания ситуации вероятностной модели. Если в задаче формирования портфеля инвестиций в ценные бумаги к услугам аналитика предоставляются массивы котировок финансовых инструментов, охватывающие месяцы и годы и позволяющие использовать всю мощь статистического анализа, то при рассмотрении реальных инвестиций основным, но весьма ограниченным источником информации о риске являются экспертные оценки. В таких условиях появляется потребность в других, отличных от вероятностного, подходах к оценке имеющейся неопределённости. Один из таких подходов основан на применении теории нечётких множеств.

Нечёткие множества были определены Л. Заде в 1965 году, как формальный аппарат для обработки высказываний естественного языка. Эта теория позволяет фразам «риск проекта довольно велик» или «доход проекта намного превысит 150000 руб.», которые могут возникнуть в результате экспертной оценки, придать конкретный математический смысл. Таким образом, появляется возможность свести качественные экспертные оценки к количественным, числовым (правда, нечётким). С другой стороны, нечёткие множества предоставляют эксперту большую гибкость при оценивании численных показателей. Например, при ответе на вопрос, каким будет ожидаемый доход от проекта, эксперт может указать пессимистическую $d_{песс}$, оптимистическую $d_{опт}$ и наиболее вероятную $d_{вер}$ оценки, и полученную информацию можно объединить в виде нечёткого треугольного числа $D=(d_{песс},d_{вер},d_{опт})$. Далее остаётся только воспользоваться найденными нечёткими численными показателями в задачах сравнения объектов и оптимизации.

Применительно к проблеме формирования портфеля проектов с привлечением теории нечётких множеств мы сталкиваемся с двумя задачами:

- получение оценок показателей проекта в виде нечётких чисел;
- формирование оптимального портфеля на основе полученных нечётких оценок.

Обеим упомянутым задачам посвящена обширная литература. Так, в работах [1,2,3,4] строятся нечёткие финансовые показатели проекта (NPV и IRR). Ряд работ посвящен многокритериальной нечёткой оценке проекта [5,6,7,8] , большое внимание уделяется формированию оценки из многих критериев при помощи нечёткого аналога аналитического иерархического процесса [9,10,11,12]. В серии статей Карлссона и Фуллера, а также их коллег развивается подход к оцениванию проекта посредством реальных опционов [13,14,15] Оптимизация портфеля проектов в условиях нечёткости разбирается в статьях [16,17,18,19].

Зафиксируем произвольное множество *X*. **Нечёткое множество** *A* задаётся посредством **функции принадлежности** $\mu_A : X \to [0,1]$. Значение $\mu_A(x)$ есть число, лежащее между 0 и 1, показывающее степень принадлежности элемента x нечёткому множеству A. Равенство $\mu_A(x)=1$ означает, что x **точно принадлежит** множеству A; равенство $\mu_A(x)=0$ говорит о том, что x **точно не принадлежит** множеству A. Так, для обычного множества $Y \subset X$ функция принадлежности имеет вид $\mu_Y(x)=\begin{cases}0, & x \in Y;\\ 1, & x \notin Y\end{cases}$ и принимает в качестве значений только 0 и 1. Нечёткие множества отличаются от обычных множеств тем, что допускают промежуточные степени принадлежности, например, $\mu_A(x)=0{,}5$.

Далее мы будем предполагать, что нечёткое множество A **нормировано**, т.е. существует такой элемент x, что $\mu_A(x)=1$.

Если A и B – два нечётких множества, тогда функции принадлежности

$$\mu_{A\cup B}(x)=\max(\mu_A(x),\mu_B(x)), \quad (4.1)$$

$$\mu_{A\cap B}(x)=\min(\mu_A(x),\mu_B(x)), \quad (4.2)$$

$$\mu_{\overline{A}}(x)=1-\mu_A(x) \quad (4.3)$$

по определению задают результат операций объединения $A\cup B$, пересечения $A\cap B$ и дополнения $\overline{A}$ на нечётких множествах.

Для любого числа $\alpha, 0<\alpha\le 1,$ **α-срезом** нечёткого множества A называется подмножество $A^\alpha=\{x\in X \mid \mu_A(x)\ge\alpha\}$. 1-срез называют **ядром** нечёткого множества A. Заметим, что нечёткое множество однозначно восстанавливается по своим срезам.

Когда X=$\boldsymbol{R}$ – множество вещественных чисел, говорят о **нечётких числах**. Для практических вычислений удобно работать с нечёткими числами специального вида: треугольными и трапециевидными.

Трапециевидное число имеет функцию принадлежности, задаваемую формулой $\mu_A(x)=\begin{cases} 0, & x<a_1 \quad \text{или} \quad x>a_4 \\ \dfrac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1\le x<a_2 \\ 1, & a_2\le x\le a_3 \\ \dfrac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3<x\le a_4 \end{cases}$, где $a_1\le a_2\le a_3\le a_4$. (4.4)

Оно обычно обозначается, как $A=(a_1,a_2,a_3,a_4)$. В случае $a_2=a_3$ мы получаем **треугольное число** (см. Рис. 4.1). Для треугольных чисел будем использовать обозначение $A=(a_1,a_2,a_4)$.

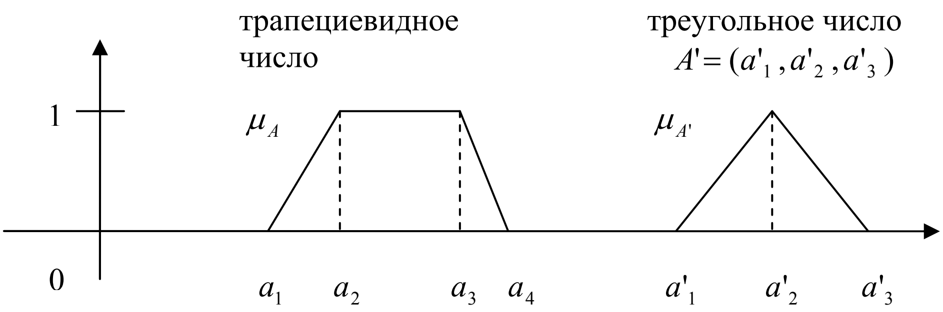

Рис. 4.1. Трапециевидное и треугольное числа

4.2. Операции над нечёткими числами

Нечёткие числа можно складывать, вычитать, умножать и делить, как и обычные числа. Операции на нечётких числах определяются посредством следующего **принципа расширения**:

Пусть $c=f(a,b)$ – произвольная числовая функция, например, функция сложения, $f(a,b)=a+b$. Тогда значение $C=f(A,B)$ этой функции на нечётких числах A и B имеет функцию принадлежности, вычисляемую по следующей формуле:

$$\mu_C(x)=\sup_{(x,y):z=f(x,y)}\min(\mu_A(x),\mu_B(y)). \qquad (4.5)$$

В этом случае α-срезы нечёткого множества C имеют вид:

$$C^{\alpha} = \left\{ c = f(a,b) \middle| \; a \in A^{\alpha}, b \in B^{\alpha} \right\}. \qquad (4.6)$$

Применяя принцип расширения к арифметическим операциям и трапециевидным нечётким числам, мы получим следующие правила сложения и вычитания:

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) + (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4), \qquad (4.7)$$

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) - (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1). \qquad (4.8)$$

Произведение и частное трапециевидных чисел уже не будут трапециевидными, но будут криволинейно трапециевидными. В данном случае можно написать приближённые равенства:

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) \cdot (b_1, b_2, b_3, b_4) \approx (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4), \qquad (4.9)$$

$$(a_1, a_2, a_3, a_4) / (b_1, b_2, b_3, b_4) \approx (a_1 / b_4, a_2 / b_3, a_3 / b_2, a_4 / b_1) \qquad (4.10)$$

Здесь предполагается, что нечёткие числа положительны, т.е. $a_1 \geq 0, b_1 > 0$.

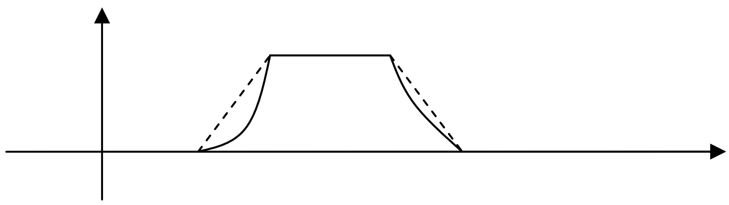

Рис. 4.2 Криволинейное трапециевидное нечёткое число

С нечётким трапециевидным числом $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ можно связать две числовые характеристики: среднее значение $E(A)$ и дисперсию $Var(A)$,– вычисляемые по формулам

$$E(A) = \frac{a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4}{6}, \qquad (4.11)$$

$$Var(A) = \frac{(a_4 - a_1)^2 + 2(a_4 - a_1)(a_3 - a_2) + 3(a_3 - a_2)^2}{24}. \qquad (4.12)$$

Данные формулы имеют место, если функцию принадлежности интерпретировать как (ненормированную) плотность вероятностного распределения и рассмотреть математическое ожидание и дисперсию соответствующей случайной величины.

4.3. Интерпретация нечётких множеств: теория возможности

Для того чтобы применение теории в приложениях оказалось полезным, необходимо иметь содержательную интерпретацию нечётких множеств и нечётких чисел. Пусть А – нечёткое число и μ_A – её функция принадлежности. Тогда значение $\mu_A(x)$ показывает правдоподобность того, что **действительное** значение величины *A* равно *x*. Л. Заде [20] показал, что такая трактовка неопределённости, связанной с нечётким числом, не является вероятностной. Возникает новая теория, работающая с неопределённостью, которую Заде назвал **теорией возможностей** [21,22]. Таким образом, $\mu_A(x)$ показывает **возможность** того, что нечёткая величина *A* принимает значение *x*.

Чтобы продемонстрировать различия между теорией вероятности и теорией возможности, приведём пример из работы Заде [20]. Некто Ганс на завтрак ест яичницу из нескольких яиц. Обозначим через А количество яиц, которое Ганс ест утром. Мы можем интерпретировать А как нечёткое число и связать с ним функцию принадлежности $\mu_A(x)$. С другой стороны, можно считать А случайной величиной, тогда $p_A(x)$ обозначает вероятность того, что за завтраком будет съедено x яиц. Распределения возможностей и вероятностей образуют следующую таблицу.

Таблица 4.1.

x	1	2	3	4	5	6	7	8
$\mu_A(x)$	1	1	1	1	0,8	0,6	0,4	0,2
$p_A(x)$	0,1	0,8	0,1	0	0	0	0	0

Из таблицы видно, что высокий уровень возможности не означает высокую вероятность события, однако, если событие невозможно, то оно невероятно. Пример показывает, что теория возможностей более грубо оценивает ситуацию. Поэтому она более устойчиво работает в тех случаях, когда информации о том, что происходит, немного.

В рамках теории возможностей каждому событию E сопоставляется определённое число $Pos(E)$, лежащее между 0 и 1,– **возможность** события. Возможность удовлетворяет следующему свойству [19]: для любых двух событий E_1, E_2

$$Pos(E_1 \cup E_2) = \max(Pos(E_1), Pos(E_2)), \tag{4.13}$$

$$Pos(E_1 \cap E_2) = \min(Pos(E_1), Pos(E_2)). \tag{4.14}$$

Рассмотрим в качестве примера нечёткое число A и событие $E = \{A \in Y\}$, Y – некоторое множество чисел. Если $Y = \{y\}$ состоит из одной точки, то: $Pos(A = y) = \mu_A(y)$. В общем случае возможность $Pos(E)$ вычисляется, если представить Y как объединение точек:

$$Pos(A \in Y) = Pos(\bigcup_{y \in Y} \{A = y\}) = \max_{y \in Y} Pos(A = y) = \max_{y \in Y} \mu_A(y). \tag{4.15}$$

Таким образом, возможность события определяется возможностью наиболее благоприятного исхода для данного события. Формулу (4.15) можно обобщить на случай, когда Y – нечёткое множество с функцией принадлежности $\mu_Y(x)$:

$$Pos(A \in Y) = \max_{y} \min(\mu_A(y), \mu_Y(y)). \tag{4.16}$$

Теория возможностей даёт средство для оценки нечётких ограничений. Пусть A –нечёткое число, B – нечёткое число, представляющее некоторое ограничение. Фиксируем некоторый уровень достоверности $\gamma, 0 < \gamma < 1$. Будем говорить, что число A **удовлетворяет**

ограничению B **с уровнем достоверности** γ [22], если выполнено соотношение $Pos(A \in \overline{B}) < 1 - \gamma$. Это условие эквивалентно следующему неравенству:

$$N_A(B) \equiv \min_y \max(1 - \mu_A(y), \mu_B(y)) > \gamma \,. \qquad (4.17)$$

Число $N_A(B)$ называется **степенью удовлетворения** условию B.

Рассмотрим два частных случая ограничений, которые используются при решении задач формирования портфеля проектов:

1) $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ – трапециевидное число, а B имеет вид бюджетного ограничения (см. рис.): $B = (0,0,b_3,b_4)$, то условие $N_A(B) \ge \gamma$ эквивалентно следующему неравенству [15]:

$$(1-\gamma)a_3 + \gamma a_4 \le \gamma b_3 + (1-\gamma)b_4 \,. \qquad (4.18)$$

Такого рода условие появляется, например, когда нужно сравнить количество потребляемых ресурсов A с имеющимся объёмом ресурсов, выделяемых в рамках бюджета B. При этом b_3 есть наиболее вероятное значение бюджета, а b_4 – его максимально возможное значение.

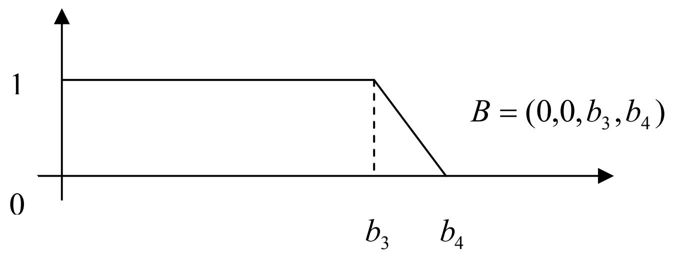

Рис. 4.3 Бюджетное ограничение

2) $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, $B = (b, b, \infty, \infty)$. Тогда $N_A(B) \ge \gamma$ равносильно

$$\gamma a_1 + (1-\gamma)a_2 \ge b \qquad (4.19)$$

Выполнение условия (4.19) означает, что нечёткое число A оценивается снизу (чётким) числом b. Эта оценка ниже будет использоваться при нахождении максимума в семействе нечётких чисел.

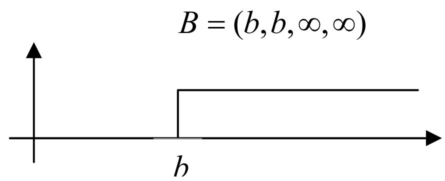

Рис. 4.4 Нечёткое ограничение при оценке снизу

4.4. Оценка проектов на основе теории нечетких множеств

4.4.1 Оценивание денежного потока проекта

Общепризнанными показателями, характеризующими инвестиционный проект, служат такие величины, как чистый дисконтированный доход NPV, внутренняя норма доходности IRR, срок окупаемости и т.д. При вычислении каждого из этих показателей денежный поток проекта предполагается известным. Однако на практике, как правило, невозможно получить точную оценку потока проекта. В этом случае удобно использовать нечёткие числа, параметры которых могут быть оценены экспертами.

Пусть денежный поток проекта задаётся как набор трапециевидных нечётких чисел $C_t = (c_{t1}, c_{t2}, c_{t3}, c_{t4})$, $t = 0, 1, 2, 3, \ldots, T$. Число c_{t1} интерпретируется как наименьшее возможное значение потока в момент времени t, поток ни при каких обстоятельствах не может опускаться ниже этого значения, c_{t4} – наибольшее возможное значение, а числа c_{t2} и c_{t3} образуют интервал, в пределах которого, скорее всего, будет находиться значение денежного потока. Довольно часто для оценки используют треугольные нечёткие числа $C_t = (c_{t1}, c_{t2} = c_{t3}, c_{t4})$, при этом число c_{t1} есть пессимистическая, c_{t4} – оптимистическая, а c_{t2} – наиболее вероятная оценка денежного потока проекта.

Аналогичным образом, ставка дисконтирования также представляется в виде нечёткого числа $r = (r_1, r_2, r_3, r_4)$.

Чтобы найти выражение для нечёткого NPV, нужно, как и в обычном случае, суммировать (нечёткие) дисконтированные значения для всех компонент денежного потока:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} PV(C_t) \tag{4.20}$$

В свою очередь, дисконтированное значение $PV(C_t)$ получается применением принципа расширения к классической формуле $PV(C_t) = \frac{C_t}{(1+r)^t}$. В итоге получаем дисконтированный чистый денежный поток в момент t [2]:

$$PV(C_t) = \left(\frac{\max(c_{t1},0)}{(1+r_4)^t} + \frac{\min(c_{t1},0)}{(1+r_1)^t}, \frac{\max(c_{t2},0)}{(1+r_3)^t} + \frac{\min(c_{t2},0)}{(1+r_2)^t}, \right.$$

$$\left. \frac{\max(c_{t3},0)}{(1+r_2)^t} + \frac{\min(c_{t3},0)}{(1+r_3)^t}, \frac{\max(c_{t4},0)}{(1+r_1)^t} + \frac{\min(c_{t4},0)}{(1+r_4)^t} \right) \tag{4.21}$$

Подставляя полученное выражение в предыдущую формулу (20), нетрудно получить формулу для чистой текущей стоимости проекта:

$$NPV = (\sum_{t=0}^{T} d_{t1}, \sum_{t=0}^{T} d_{t2}, \sum_{t=0}^{T} d_{t3}, \sum_{t=0}^{T} d_{t4}), \tag{4.22}$$

где $PV(C_t) = (d_{t1}, d_{t2}, d_{t3}, d_{t4})$.

Пример оценки денежного потока проекта

Пусть значения параметров денежного потока проекта заданы таблицей 4.2.

Таблица 4.2

Параметры денежного потока проекта

t	0	1	2	3	4

C_t	(-1200,-1000, -900,-800)	(-700,-500, -450,-300)	(150,180, 220,250)	(1800,1900, 2100,2200)	(2700, 3000, 3000,3400)

Ставку дисконтирования положим равной $r = (0.1, 0.2, 0.2, 0.3)$.

Тогда: $PV(C_0) = C_0$,

$$PV(C_1) = (\frac{-700}{1.1}, \frac{-500}{1.2}, \frac{-450}{1.2}, \frac{-300}{1.3}) = (\text{-636.4,-416.7,-375,-230.8}).$$

Результаты вычислений дисконтированных чистых денежных потоков представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Дисконтированные чистые денежные потоки проекта

t	0	1	2	3	4
PV	(-1200,-1000, -900,-800)	(-636.4,-416.7, -375,-230.8)	(88.8,125, 152.8,206.6)	(819.3,1099.5, 1215.3,1652.9)	(945.3,1446.8, 1446.8,2322.2)

Вычисляем NPV, суммируя нечёткие числа таблицы:

$$NPV = PV(C_0) + PV(C_1) + PV(C_2) + PV(C_3) + PV(C_4) = (17, 1254.6, 1539.8, 3151).$$

Внутренняя норма доходности проекта с нечётким денежным потоком вычисляется по формуле:

$$IRR = (irr_1, irr_2, irr_3, irr_4), \qquad (4.23)$$

где irr_k, $k = 1,2,3,4,$ – внутренняя норма доходности проекта с (чётким) денежным потоком $c_{0k}, c_{1k}, \ldots, c_{Tk}$, таким образом, irr_k есть корень уравнения

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{c_{tk}}{(1 + irr_k)^t} = 0 \qquad (4.24)$$

В нашем примере вычисления дают ответ: *IRR* = (32%, 46%, 54%, 68%).

Точно так же срок окупаемости представляется в виде трапециевидного числа

$$PP = (p_1, p_2, p_3, p_4), \qquad (4.25)$$

где p_k – срок окупаемости проекта с потоком $c_{0k}, c_{1k}, \ldots, c_{Tk}$. Таким образом,

$$p_k = \min_p \left\{ p : \sum_{t=0}^{[p]} d_{tk} + (p - [p]) d_{[p]+1,k} \geq 0 \right\}, \qquad (4.26)$$

где $[p]$ - целая часть числа p и $PV(C_t) = (d_{t1}, d_{t2}, d_{t3}, d_{t4})$.

В приведённом выше примере срок окупаемости равен PP = (3.35, 3.77, 4.13, 4.98).

4.4.2. Оценка эффективности инновационных проектов на основе составных опционов и нечетких множеств

Рассмотрим инновационный проект, имеющий 3 фазы (например, НИР, ОКР, запуск в производство и производство продукции). Предполагается, что инвестиционные затраты производятся преимущественно в начале каждой фазы, их дисконтированное значение равно C_1, C_2, C_3 соответственно. Пусть S обозначает дисконтированный доход, приведенный к началу 3-ей фазы проекта. Считается, что C_1, C_2, C_3, S – нечёткие числа, полученные экспертным путем. Пусть T_1, T_2 --- срок завершения первой и второй фазы, r – ставка дисконтирования.

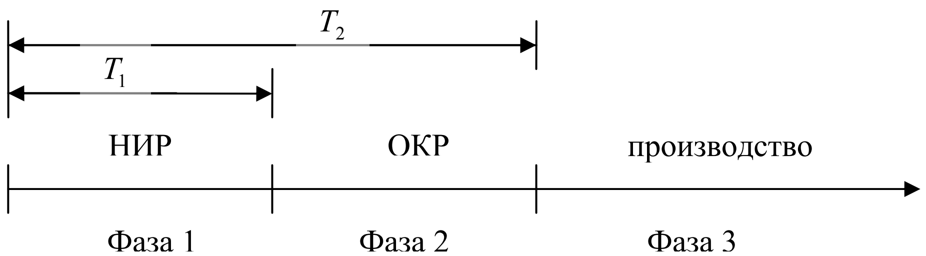

Рис. 4.5 Фазы инновационного проекта

Оценка эффективности проекта как нечёткого составного опциона основывается на работах Геске [23]. Переход к формулам, пригодным для нечётких множеств, осуществляется с помощью принципа расширения, упомянутого выше. В данном случае применение данного принципа приводит к следующим выражениям. Оценка чистой текущей стоимости проекта NPV может быть получена по формуле:

$$V = Se^{-\delta T_2} M(a_1, b_1; \sqrt{T_1/T_2}) - C_3 e^{-rT_2} M(a_2, b_2; \sqrt{T_1/T_2}) - C_2 e^{-rT_1} N(a_2), \quad (4.27)$$

где:

$$a_1 = \frac{\ln[E(S)/S^c] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_1}{\sigma\sqrt{T_1}}, \qquad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1}, \quad (4.28)$$

$$b_1 = \frac{\ln[E(S)/E(C_3)] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_2}{\sigma\sqrt{T_2}}, \quad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2}, \quad (4.29)$$

$\sigma = \dfrac{\sqrt{Var(S)}}{E(S)}$ – волатильность доходности проекта,

(4.30)

$\delta = \dfrac{E(C_1)}{E(S)}$ – дивиденд, (4.31)

$N(a)$ -- функция стандартного нормального распределения, $M(a,b;\rho)$ – кумулятивная функция двойного нормального распределения с коэффициентом корреляции ρ (то есть кумулятивная функция пары стандартных нормально распределенных случайных величин, корреляция между которыми равна ρ), а критическое значение проекта S^c есть корень следующего уравнения:

$$S^c e^{-\delta(T_2 - T_1)} N(c_1) - E(C_3) e^{-r(T_2 - T_1)} N(c_2) - E(C_2) = 0, \quad (4.32)$$

где:

$$c_1 = \frac{\ln[S^c / E(C_3)] + (r - \delta + \sigma^2/2)(T_2 - T_1)}{\sigma\sqrt{T_2 - T_1}}, \quad (4.33)$$

$$c_2 = c_1 - \sigma\sqrt{T_2 - T_1}. \quad (4.34)$$

Значение S^c находится приближённо численными методами (например, методом Ньютона-Рафсона).

Заметим, что в формулах (4.28), (4.29), (4.32), (4.33) для проведения вычислений нечёткие переменные были заменены на их средние значения. Благодаря этому операции над нечёткими числами сводятся лишь к сложению, вычитанию и умножению.

Геске в [23] предложил формулу для вычисления цены опциона на покупку акции, предполагая, что акция, в свою очередь, является опционом на участие в дележе средств, полученных в момент после продажи имущества фирмы при её ликвидации и выплаты долгов. Выводится формула Геске при тех же предположениях, что и формула Блэка-Шоулза, т.е. считается, что рынок безарбитражный и совершенный и что стоимость фирмы меняется в соответствие с геометрическим броуновским движением. В этих условиях стоимость европейского колл-опциона вычисляется по формуле:

$$V = S \cdot M(a_1, b_1; \sqrt{T_1/T_2}) - C_3 e^{-rT_2} M(a_2, b_2; \sqrt{T_1/T_2}) - C_2 e^{-rT_1} N(a_2),$$

где:

$$a_1 = \frac{\ln[S/S^c] + (r + \sigma^2/2)T_1}{\sigma\sqrt{T_1}}, \qquad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1},$$

$$b_1 = \frac{\ln[S/C_3] + (r + \sigma^2/2)T_2}{\sigma\sqrt{T_2}}, \qquad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2},$$

а S^c есть корень уравнения $S^c N(c_1) - C_3 e^{-r(T_2 - T_1)} N(c_2) - C_2 = 0$,

где $c_1 = \dfrac{\ln[S^c/C_3] + (r + \sigma^2/2)(T_2 - T_1)}{\sigma\sqrt{T_2 - T_1}}, \qquad c_2 = c_1 - \sigma\sqrt{T_2 - T_1}$.

Здесь V есть стоимость опциона, S интерпретируется как текущая стоимость фирмы, C_2 -- размер долга, выплачиваемого при ликвидации фирмы, C_3 -- цена исполнения опциона, T_1 -- время исполнения опциона, T_2 -

- время ликвидации фирмы, r -- безрисковая ставка, σ -- волатильность стоимости фирмы.

Перлиц, Песке и Шранк [24] дали формуле сложных опционов другую интерпретацию, рассмотрев ее в контексте реальных опционов. При этом они получили оценку для стоимости исследовательского проекта, проходящего 3 фазы. Предположим, что мы находимся в условиях, описанных в начале данного параграфа с тем отличием, что оценки для затрат и дохода C_1, C_2, C_3, S представляют собой обычные (чёткие) числа. Тогда оценка проекта производится по формуле

$$V = Se^{-\delta T_2} M(a_1, b_1; \sqrt{T_1/T_2}) - C_3 e^{-rT_2} M(a_2, b_2; \sqrt{T_1/T_2}) - C_2 e^{-rT_1} N(a_2),$$

где:

$$a_1 = \frac{\ln[S/S^c] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_1}{\sigma\sqrt{T_1}}, \quad a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1},$$

$$b_1 = \frac{\ln[S/C_3] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_2}{\sigma\sqrt{T_2}}, \quad b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2},$$

а S^c есть корень уравнения $S^c e^{-\delta(T_2 - T_1)} N(c_1) - E(C_3) e^{-r(T_2 - T_1)} N(c_2) - E(C_2) = 0$,

причём $c_1 = \dfrac{\ln[S^c/C_3] + (r - \delta + \sigma^2/2)(T_2 - T_1)}{\sigma\sqrt{T_2 - T_1}}, \qquad c_2 = c_1 - \sigma\sqrt{T_2 - T_1}$.

Дивиденд δ рассчитывается как $\delta = \dfrac{C_1}{S}$.

Сравнение с формулами (4.27)-(4.34) показывает, какие изменения нужно внести при переходе к нечётким оценкам затрат и дохода проекта.

Пример оценки инновационного проекта

Пусть $C_1 = (40{,}50{,}60), C_2 = (280{,}300{,}320), C_3 = (630{,}700{,}770)$, $S = (2000{,}2500{,}3000)$, представляющие собой оценки денежного потока проекта посредством треугольных нечётких чисел. Положим $T_1 = 3, T_2 = 5, r = 5\%$. Тогда:

$E(S) = 2500$, $Var(S) = 41666{,}7$, $E(C_3) = 700$, $Var(C_3) = 816{,}7$, $E(C_1) = 50$. Откуда $\sigma = 0{,}082$, $\delta = 0{,}02$. Критическое значение приблизительно равно $S^c = 971{,}47$. Следовательно, имеем $a_1 = 7{,}39, a_2 = 7{,}25, b_1 = 7{,}89, b_2 = 7{,}7$. В итоге получаем следующую оценку проекта $V = (934.57, 1458.72, 1982.87)$.

С другой стороны, чистая текущая стоимость проекта, оцененная традиционным методом дисконтированных денежных потоков, равна $NPV = S - C_1 - C_2 - C_3 = (850, 1450, 2050)$. Вычисленная методом составных опционов оценка оказалась достаточно близкой к оценке, полученной при помощи реальных опционов: нижняя граница соответствующего треугольного числа отличается на 10%, наиболее возможное значение – на 0,5%, верхняя граница – на 3%.

4.4.3. Оценивание качественных показателей проекта при помощи нечётких множеств

При оценке инвестиционного проекта, наряду с такими его числовыми характеристиками проекта, как NPV, используются качественные показатели. В качестве примера таких показателей можно назвать инновативность проекта, соответствие проекта стратегическим целям компании, экологичность проекта, влияние на репутацию фирмы и т.д. Качественные показатели обычно выражаются в виде балльной оценки, проставляемой одним или несколькими экспертами. В дальнейшем балльная шкала переводится в числовую. Числа, полученные по разным показателям одного проекта, агрегируются в один числовой показатель, и данная общая оценка используется в процессе ранжирования проектов.

Появление нечётких множеств позволило сделать процедуру перехода от балльной шкалы к числовой более гибкой и адекватной мышлению человека-эксперта. Рассмотрим в качестве примера 5-балльную шкалу качественных оценок проекта: «очень плохо», «плохо», «средне», «хорошо», «очень хорошо». Каждому из баллов сопоставим трапециевидное нечёткое число в соответствии с таблицей. Это число будет считаться нечёткой оценкой показателя.

Таблица 4.4

Балл	очень плохо	плохо	средне	хорошо	очень хорошо
Оценка	(0, 0, 0.1, 0.3)	(0.1,0.3,0.3, 0.5)	(0.3,0.5,0.5, 0.7)	(0.5,0.7,0.7, 0.9)	(0.7, 0.9, 1, 1)

На графике нарисованы функции принадлежности данных нечётких чисел.

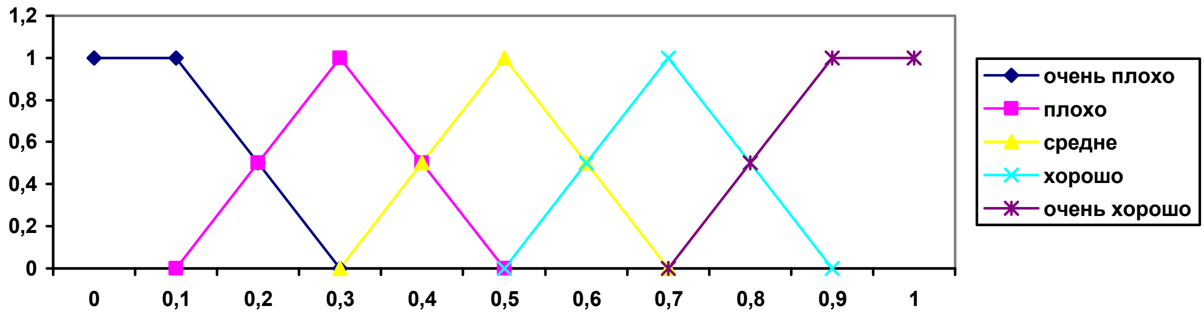

Рис. 4.6 Функции принадлежности оценок балльной шкалы

Как видно, нечёткие числа зацеплены друг за друга. Это отражает тот факт, что нет резкого разделения между соседними оценками, и переход от одной балльной оценки к другой происходит постепенно. Результатом оценивания качественного показателя проекта является нечёткое число, лежащее на отрезке от 0 до 1.

В случае, когда при оценивании проекта рассматривается несколько показателей, как качественных, так и количественных, появляется необходимость в сведении набора полученных оценок к одной общей (интегральной) оценки. Процесс сведения предполагает выполнение следующих действий:

1) Нахождение относительного веса для каждого показателя;
2) Оценивание каждого показателя проекта нечётким числом;
3) Нормировка количественных показателей;
4) Агрегирование нечётких оценок проекта с заданными весами и получение общей оценки проекта.

Нахождение весов для показателей является наиболее важным и содержательным этапом. На этом шаге исследователь решает, какие показатели являются более приоритетными по сравнению с остальными, что, в конечном итоге, определяет вид решения.

Стандартным методом построения весов является аналитический иерархический процесс, предложенный Саати [25]. Схема метода Саати заключается в следующем. Для каждой пары показателей i и j экспертами оценивается число a_{ij}, которое показывает, насколько первый показатель превосходит второй. Считается, что в идеальной ситуации выполняется равенство $a_{ij} = \frac{\alpha_i}{\alpha_j}$, где α_i, α_j – веса факторов i и j соответственно. На практике, однако, можно добиться лишь приближенного выполнения равенств. Саати в статье [25] предложил алгоритм, как раз позволяющий по коэффициентам a_{ij} приближенно найти набор весов α_i.

В работах [9,10,11,12] конструкция Саати была перенесена на случай нечетких множеств. В данной ситуации коэффициент сравнительного превосходства a_{ij} считается нечетким числом. Как правило, это коэффициент берется из нечеткой балльной шкалы, например, заданной таблицей 4. Веса показателей α_i, получающиеся в результате обобщенного процесса Саати, также будут нечеткими числами.

Целью нормировки является приведение количественного показателя к нечёткому числу, лежащему на интервале от 0 до 1. Если $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$

– нечёткое значение количественного показателя для конкретного проекта, а возможные значения показателя для всех проектов ограничены сверху числом N, то после нормировки показатель проекта будет равен

$$\overline{A} = (\frac{a_1}{N}, \frac{a_2}{N}, \frac{a_3}{N}, \frac{a_4}{N}). \qquad (4.35)$$

Пусть параметры проекта оцениваются нечёткими числами $X_1, X_2, \ldots, X_n$ и $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$, $\alpha_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1$,– соответствующие веса показателей. Тогда общая оценка проекта будет равна $X = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i X_i$. Если значения показателей являются трапециевидными нечёткими числами: $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4})$, $i = 1,2,\ldots,n$, то

$$X = \left(\sum_{i=1}^{n} \alpha_i x_{i1}, \sum_{i=1}^{n} \alpha_i x_{i2}, \sum_{i=1}^{n} \alpha_i x_{i3}, \sum_{i=1}^{n} \alpha_i x_{i4}, \right). \qquad (4.36)$$

Пример оценивания качественных показателей проекта

Предположим, что проект оценивается двумя показателями: чистой текущей стоимостью NPV и степенью соответствия стратегическим целям компании S. Чистая современная стоимость проекта оценивается как $NPV = (150,200,220,250)$ тыс.р., при этом NPV типичных проектов, реализуемых компанией, не превосходят 400 тыс.р. Степень соответствия проекта стратегии компании эксперты оценивают как «хорошую». Вес показателя NPV равен 0.4, стратегического показателя – 0.6.

В этом случае нормированная оценка первого показателя равна $X_1 = \overline{NPV} = \left(\frac{150}{400}, \frac{200}{400}, \frac{220}{400}, \frac{250}{400} \right) = (0.375, 0.5, 0.55, 0.625)$. Значение второго показателя равно $X_2 = S = (0.5, 0.7, 0.7, 0.9)$.

Общая оценка проекта равна

$X = (0.4 \cdot 0.375 + 0.6 \cdot 0.5,\ 0.4 \cdot 0.5 + 0.6 \cdot 0.7,\ 0.4 \cdot 0.55 + 0.6 \cdot 0.7,\ 0.4 \cdot 0.625 + 0.6 \cdot 0.9) =$
$= (0.45,\ 0.62,\ 0.64,\ 0.79).$

4.4.4. Ранжирование проектов

После того, как каждый проект получил общую оценку в виде трапецевидного нечёткого числа, можно упорядочить проекты в соответствии с приписанным им рейтингом. Для сравнения нечётких чисел имеется несколько различных методов [2]:

1) Метод Чью-Парка. Фиксируется параметр w. Каждому трапецевидному числу $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ ставится в соответствие (чёткое) число

$$cp(A) = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4} + w\frac{a_2 + a_3}{2}. \tag{4.37}$$

Упорядочение производится по возрастанию величин $cp(A)$.

2) Метод Чанга. Трапецевидные числа $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ упорядочиваются по возрастанию величин

$$ch(A) = \frac{a_3^2 + a_3 a_4 + a_4^2 - a_1^2 - a_1 a_2 - a_2^2}{6}. \tag{4.38}$$

3) Метод Кауфмана-Гупты. Вычисляются три следующие величины:

$$\mathrm{kg}_1(A) = \frac{a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4}{6},\quad \mathrm{kg}_2(A) = \frac{a_3 + a_4}{2},\quad \mathrm{kg}_3(A) = a_4 - a_1 \tag{4.39}$$

Полагаем, что $A \ge B$, если $\mathrm{kg}_1(A) > \mathrm{kg}_1(B)$, или $\mathrm{kg}_1(A) = \mathrm{kg}_1(B)$ и $\mathrm{kg}_2(A) > \mathrm{kg}_2(B)$, или $\mathrm{kg}_1(A) = \mathrm{kg}_1(B)$, $\mathrm{kg}_2(A) = \mathrm{kg}_2(B)$ и $\mathrm{kg}_3(A) > \mathrm{kg}_3(B)$.

4) Метод Джейна. Метод задаёт порядок в наборе нечётких чисел $A_1, A_2, \ldots, A_n$. Пусть возможные значения чисел из данного набора лежат на промежутке от b_1 до b_2. Тогда нечёткое число $B = (b_1, b_2, \infty, \infty)$ можно рассматривать как нечёткое множество «больших чисел». Для

каждого A_i рассматривается степень, в которой число A_i является «большим»:

$$Pos(A_i \in B) = \max_x \min(\mu_{A_i}(x), \mu_B(x)) \quad (4.40)$$

Набор $A_1, A_2, \dots, A_n$ упорядочивается по возрастанию величин $Pos(A_i \in B)$.

5) Метод Дюбуа-Прада. Как и в предыдущем методе, рассматривается набор нечётких чисел $A_1, A_2, \dots, A_n$. Каждому числу A_i отвечает его степень доминирования над остальными числами:

$$PD(A_i) = Pos(A_i \geq \max_{j \neq i} A_j) = \min_{j \neq i} \max_{x,y} \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{A_j}(y)). \quad (4.41)$$

Числа упорядочиваются по возрастанию величин $PD(A_i)$.

Рассмотренные методы сравнения в общем случае могут давать разные результаты [2].

Пример ранжирования проектов

Пример. Пусть имеется три проекта, оцененные числами $A_1 = (3,5,5,9)$, $A_2 = (3,7,7,8)$, $A_3 = (1,6,6,10)$. По методу Чью-Парка с параметром $w = 1$ имеем:

$cp(A_1) = 10.5 < cp(A_3) = 11.75 < cp(A_2) = 13.25$. Наилучшим является второй проект, далее следуют третий и первый проекты.

Метод Чанга приводит к следующему результату $ch(A_2) = 15 < ch(A_1) = 17 < ch(A_3) = 25.5$, то есть второй проект оказывается наихудшим.

По методу Кауфмана-Гупты получаем:

$kg_1(A_1) = 5.33 < kg_1(A_3) = 5.83 < kg_1(A_2) = 6.5$, что совпадает с результатом метода Чью-Парка.

В методе Джейна определим множество больших чисел как $B = (0,10,\infty,\infty)$. Тогда

$Pos(A_1 \in B) = 6.43 < Pos(A_3 \in B) = 7.14 < Pos(A_2 \in B) = 7.27$. Порядок совпадает с порядком Чью-Парка.

Применение метода Дюбуа-Прада даёт следующие неравенства:

$PD(A_1) = 0.75 < PD(A_3) = 0.875 < PD(A_2) = 1$. Это приводит к следующему ранжируемому списку: « проект 1< проект 3< проект 2».

4.5. Задача формирования портфеля проектов

Оптимизационные задачи (и в том числе, задачи линейного программирования) естественно возникают при решении проблемы оптимального выбора портфеля проектов в условиях ограниченности ресурсов. Если же проекты оцениваются с использованием нечётких множеств, мы имеем дело с задачей нечёткого линейного программирования, при этом нечёткой является целевая функция. Однако ограничения задачи также могут быть нечёткими, если заранее определить точное количество доступных либо необходимых для реализации проекта ресурсов не представляется возможным. Пример такой модели разобран в работе [15].

Пусть имеется n проектов, из которых нужно сформировать портфель. Каждому проекту отвечает булева переменная модели x_i, i – номер проекта, принимающая значения 0 и 1. Полагаем $x_i = 1$, если i-ый проект включен в портфель, и $x_i = 0$ в противном случае.

С каждым проектом связывается следующий набор показателей:

V_i -- ценность проекта,

C_{it} -- затраты на i-ый проект на стадии t,

R_{ikt} -- количество специалистов направления j, необходимых i-ому проекту на стадии t,

$$SI_{ij} = \begin{cases} 1, & \textit{если } i-\textit{ый проект соответствует } j-\textit{ой стратегической цели}, \\ 0, & \textit{в противном случае} \end{cases}$$

$$PR_{pq} = \begin{cases} 1, & \begin{array}{l} \textit{если } p-\textit{ый проект связан с проектом } q \textit{ отношением импликации (т.е.} \\ \textit{если проект } q \textit{ включаем в портфель, то проект } p \textit{ необходимо включить} \\ \textit{в портфель}), \end{array} \\ 0, & \textit{в противном случае} \end{cases}$$

Показатели C_{it}, R_{ikt}, V_i являются нечёткими числами. Предполагается, что проекты, включённые в портфель, синхронно проходят все стадии.

Следующие показатели описывают количество ресурсов, выделенное для данного портфеля, они также задаются в виде нечётких чисел:

B_t -- бюджет портфеля на стадии *t*,

R_{kt} -- количество специалистов направления *j*, доступных на стадии *t*,

S_j^U -- максимальный совокупный бюджет, который можно потратить на достижение стратегической цели *j*,

S_j^L -- минимальный совокупный бюджет, который необходимо потратить на достижение стратегической цели *j*.

Модель формирования портфеля проектов представляется как нечёткая задача целочисленного линейного программирования (4.42)-(4.48):

$$\sum_{i=1}^{n} V_i x_i \to \max, \tag{4.42}$$

$$\sum_{i=1}^{n} C_{it} x_i \le B_t \quad \forall t, \tag{4.43}$$

$$\sum_{i=1}^{n} R_{ikt} x_i \le R_{kt} \quad \forall k, t, \tag{4.44}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{T} RI_{ij} C_{it} x_i \le S_j^U \quad \forall j, \tag{4.45}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{T} RI_{ij} C_{it} x_i \ge S_j^L \quad \forall j, \tag{4.46}$$

$$PR_{pq}(x_q - x_p) \le 0 \quad \forall p,q\,, \tag{4.47}$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i\,. \tag{4.48}$$

Таким образом, целевой функцией модели является совокупная ценность портфеля проектов. Модель содержит нечёткие ограничения трёх видов: бюджетные ограничения, ограничения на человеческие ресурсы и стратегические ограничения. Стратегические ограничения показывают, какая пропорция между стратегическими целями должна соблюдаться при распределении финансовых ресурсов портфеля. Единственное чёткое ограничение (4.47), основанное на использовании логической операции импликации, гарантирует включение в портфель вместе с выбранным проектом всех проектов, от которых он зависит.

Заметим, что модель сформулирована не полностью (или нечётко), поскольку не указано, как можно сравнивать между собой нечёткие числа при проверке ограничений модели и как устанавливать оптимальность портфеля проектов. Одним из возможных путей решения данной проблемы является использование степени удовлетворения условию, введённой в предыдущем параграфе.

Фиксируем уровни достоверности $\lambda_B, \lambda_R, \lambda_S, \gamma$ для ограничений на бюджет, персонал, стратегии и для целевой функции соответственно. Рассмотрим следующую систему соотношений:

$$\max v$$

$$N_{\sum V_i x_i}(v, v, \infty, \infty) \ge \gamma \tag{4.49}$$

$$N_{\sum C_{it} x_i}(B_t) \ge \lambda_B \quad \forall t \tag{4.50}$$

$$N_{\sum R_{ikt} x_i}(R_{kt}) \ge \lambda_R \quad \forall k,t \tag{4.51}$$

$$N_{\sum SI_{ij} C_{it} x_i}(S_j^U) \ge \lambda_S \quad \forall j \tag{4.52}$$

$$N_{-\sum SI_{ij} C_{it} x_i}(-S_j^L) \ge \lambda_S \quad \forall j \tag{4.53}$$

$$PR_{pq}(x_q - x_p) \leq 0 \quad \forall p,q \qquad (4.54)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \qquad (4.55)$$

Если все нечёткие числа, входящие в модель, являются трапециевидными, то мы приходим к задаче (чёткого) целочисленного линейного программирования, для решения которой можно использовать стандартные методы.

Пример модели формирования портфеля проектов

Пусть необходимо сформировать портфель из 5-ти независимых проектов. Из них проекты 1,2,3 отвечают первой стратегической цели, а проекты 4,5 – второй стратегической цели. Требуемые для реализации ресурсы представлены в следующих таблицах. Данные задаются в виде треугольных и трапециевидных чисел.

Таблица 4.5

Дисконтированные затраты на проект

Номер проекта	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3
1	(15,20,25)	(60,80,90,110)	(150,200,250,300)
2	(15,30,45)	(100,120,130,150)	(150,300,400,550)
3	(30,40,50)	(170,200,220,250)	(420,500,600,680)
4	(40,50,60)	(80,100,120,160)	(310,400,500,590)
5	(30,60,70,80),	(90,120,150)	(330,400,500,570)

Таблица 4.6

Требуемое количество специалистов

Номер проекта	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3
1	(7.5,10,12.5)	(8,12,16)	(15,20,25)
2	(7.5,10,12.5)	(15,20,25)	(22.5,30,47.5)
3	(15,20,25)	(22.5,30,47.5)	(45,60,75)
4	(15,20,25)	(42.75, 65, 76.25)	(37.5, 50, 62.5)
5	(15,20,25)	(45,60,75)	(36.25, 55, 63.75)

Таблица 4.7

Дисконтированный доход от проекта

Номер проекта	Доход
1	(700,800,1000,1100)
2	(900,1000,1200,1300)
3	(1400,1700,2000,2500)

4	(1050,1500,2200,2650)
5	(1500,2000,2500,2600)

Стадии 1 и 2 завершаются в момент $T_1 = 3$ и $T_2 = 6$ соответственно. Ставка дисконтирования равна $r = 5\%$.

Ресурсы, выделяемые портфелю, определяются с использованием трапециевидных чисел, представленных в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Выделяемые ресурсы

Тип ресурса	Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3
Бюджет	(0,0,150,185)	(0,0,400,450)	(0,0,1250,1500)
Специалисты	(0,0,50,70)	(0,0,150,190)	(0,0,135,185)

Менеджерами были определены следующие требования к портфелю проектов и уровням достоверности. Расходы на первую стратегическую цель должны составлять 20-80% выделенного бюджета, на вторую цель – 20-60%. Уровень достоверности по целевой функции равен $\gamma = 0.95$, по бюджетным ограничениям -- $\lambda_B = 0.99$, по персоналу -- $\lambda_R = 0.9$, по стратегическим целям -- $\lambda_S = 0.85$.

Применяя формулу нечётких составных опционов, получим следующие оценки проектов.

Таблица 4.9

Оценки проектов

Номер проекта	Оценка
1	(295.701,437.471,658.152,799.922)
2	(227.596,440.833,693.329,906.566)
3	(513.663,862.8,1218.14,1567.28)
4	(343.157,806.032,1487.69,1967.72)
5	(714.806,1214.54,1710.68,2210.41)

При установленных уровнях достоверности задача формирования портфеля является следующей задачей линейного программирования:

$$302.79\,x_1 + 238.258\,x_2 + 531.12\,x_3 + 366.301\,x_4 + 739.793\,x_5 \to \max,$$
$$24.95\,x_1 + 44.85\,x_2 + 49.9\,x_3 + 59.9\,x_4 + 79.9\,x_5 \le 150.35,$$

$$109.8\,x_1 + 149.8\,x_2 + 249.7\,x_3 + 159.6\,x_4 + 149.7\,x_5 \le 400.5,$$
$$299.5\,x_1 + 548.5\,x_2 + 679.2\,x_3 + 589.1\,x_4 + 569.3\,x_5 \le 1252.5,$$
$$12.25\,x_1 + 12.25\,x_2 + 24.5\,x_3 + 24.5\,x_4 + 24.5\,x_5 \le 52,$$
$$24.5\,x_1 + 36.75\,x_2 + 73.5\,x_3 + 61.25\,x_4 + 67.375\,x_5 \le 140,$$
$$14.7\,x_1 + 24.5\,x_2 + 36.75\,x_3 + 79.625\,x_4 + 73.5\,x_5 \le 154,$$
$$423.75\,x_1 + 717.25\,x_2 + 962.\,x_3 \le 1480.2,$$
$$789.\,x_4 + 783.5\,x_5 \le 1110.15,$$
$$371.25\,x_1 + 587.75\,x_2 + 878.\,x_3 \ge 416.95,$$
$$691.\,x_4 + 706.5\,x_5 \ge 416.95,$$
$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i,$$

Решение данной задачи линейного программирования есть $x_1 = x_3 = x_4 = 0,\, x_2 = x_5 = 1$. Это означает, что в портфель нужно включить второй и пятый проекты. Оценка портфеля равна $v = 978.051$.

Уровни достоверности $\lambda_B, \lambda_R, \lambda_S$ задают жёсткость ограничений и, вообще говоря, могут влиять на содержание портфеля. Например, если в предыдущим примере ослаблять бюджетное ограничение, снижая λ_B и оставляя другие показатели неизменными, то при $\lambda_B \le 0.673$ к портфелю добавляется проект 1.

Показатель γ определяет вид целевой функции и также оказывает влияние на состав портфеля и его оценку v. В предыдущем примере положим $\lambda_B = \lambda_R = \lambda_S = 0.9$ и будем варьировать уровень достоверности γ. Получаем следующую зависимость оценки проекта от уровня достоверности.

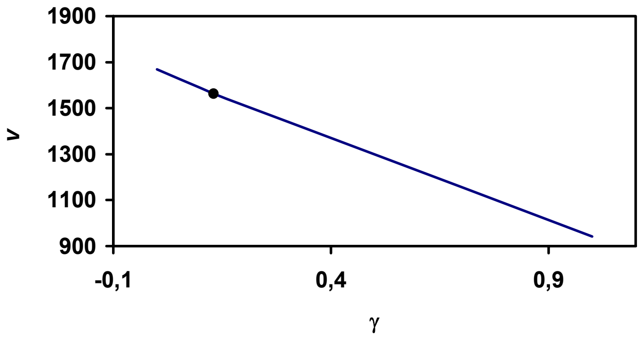

Рис. 4.7 Зависимость стоимости портфеля от уровня достоверности

Зависимость является кусочно-линейной, излом происходит в точке $\gamma = 0.13$. При $\gamma < 0.13$ в портфель входят проекты 3 и 4, при $\gamma > 0.13$ портфель состоит из проектов 2 и 5.

Выводы по главе 4

Применение теории нечётких множеств открывает новые методы и возможности для решения задач оценивания проектов и формирования оптимального портфеля проектов. Во-первых, нечёткие множества позволяют учитывать качественные характеристики проектов, преобразуя их в численный вид. Во-вторых, применительно к количественным характеристикам проекта, таким как NPV, теория предоставляет средства для работы с неопределённостью даже в тех случаях, когда имеющейся информации недостаточно, чтобы делать статистические выводы с необходимым уровнем достоверности. С другой стороны, развит богатый аппарат для перехода от нечётких оценок к обычным числам, что обеспечивает возможность формирования портфеля проектов на основе их нечётких оценок путём ранжирования проектов или решения соответствующей задачи математического программирования. Гибкость и мощность методов теории нечётких множеств позволяют рассматривать их как перспективное и эффективное средство для решения различных задач управления портфелем проектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центральными задачами управления портфелями проектов являются следующие основные задачи:

- формирование эффективного портфеля проектов;
- эффективное распределение ограниченных ресурсов по операциям портфеля проектов;
- составление эффективного календарного графика выполнения проектов портфеля.

Очевидно, что результаты, полученные при решении отдельных частных задач без учета особенностей остальных, могут значительно различаться. Например, сформированный портфель проектов, максимизирующий определенный финансовый показатель, может не быть обеспеченным необходимыми ресурсами. Кроме того, риск такого портфеля может оказаться неприемлемым для компании. Однако и комплексного решения всех перечисленных задач в настоящее время не существует. Это объясняется их высокой сложностью, многовариантностью, наличием факторов неопределенности и др. особенностями. В этой связи представляет интерес анализ мирового опыта решения отдельных частных задач управления портфелями проектов.

Существующие на сегодняшний день модели формирования портфеля проектов в определенной степени учитывают следующие основные ограничения:

- обеспечение соответствия портфеля основным стратегическим целям компании;
- обеспечение необходимых взаимосвязей и взаимозависимостей проектов портфеля (эффекты синергии и каннибализма);

- обеспечение достаточности выделяемого бюджета на финансирование инвестиционных затрат по проектам портфеля.

Кроме того, в ходе решения данной задачи многие модели учитывают влияние факторов неопределенности.

Однако, имеющиеся модели формирования портфеля проектов предназначены для поиска локального решения вне решения остальных задач управления портфелем (задачи эффективного распределения ресурсов и построения календаря проектов и ресурсов). Это, в свою очередь, снижает эффективность управления портфелем.

Другой центральной задачей управления портфелем является задача эффективного распределения ограниченных ресурсов по операциям портфеля проектов.

Проведенный анализ моделей и задач распределения ограниченных ресурсов по операциям портфеля проектов показал:

- Основными учитываемыми неопределенностями в существующих моделях распределения ресурсов являются неопределенности в сроках выполнения отдельных операций проектов;
- Критерием эффективности распределения ресурсов по проектам портфеля, как правило, является критерий минимизации срока завершения всех операций проектов (средневзвешенного срока завершения всех операций). Сокращая длительность инновационного цикла, компания может рассчитывать на усиление или удержание конкурентных преимуществ на рынке, что даст ей возможность обеспечить высокие темпы дальнейшего развития;
- Задача распределения должна решаться одновременно для нескольких видов ресурсов (материальных, трудовых, финансовых). Распределение ресурса одного вида во многих случаях недостаточно;

- Выделение дополнительных объемов ресурсов на операции проектов во многих случаях приводит к снижению продолжительности этих операций, что, в свою очередь, может привести к снижению продолжительности портфеля проектов. Однако такое снижение может произойти далеко не во всех случаях. Например, если выполняемая операция не принадлежит критическому пути, т.е. имеет временные резервы, то сокращение продолжительности проектов портфеля при выделении дополнительных объемов ресурсов, скорее всего, не произойдет. В этом случае имеющиеся временные резервы не позволят добиться снижения продолжительности проектов портфеля;
- Сдвигая сроки запуска проектов (операций проектов) возможно получение других более эффективных распределений ресурсов. В этой связи, на наш взгляд, задача распределения ресурсов должна решаться одновременно с задачей календарного планирования проектов портфеля. Комплексное решение обеих задач позволит компании эффективно распоряжаться имеющимися ресурсами;
- Существующие наработки в области решения задачи распределения ресурсов касаются создания и реализации экономико-математических моделей двух основных классов:
- имитационные модели;
- оптимизационные модели.
- Имитационные модели позволяют учитывать в процессе решения задачи различные особенности портфелей проектов и вариантов распределения ресурсов. Например, с помощью данных моделей удается исследовать эффективность использования динамических и статических правил распределения ресурсов, устранить возникающие конфликты в использовании одного ресурса одновременно в нескольких проектах (операциях), учитывать циклически повторяющиеся операции и

возможности досрочного завершения проектов и др. К сожалению, анализ, полученный на основе моделей данного класса, возможен лишь на основе ограниченного числа вариантов распределений ресурсов и календарного графика реализации проектов портфеля. На наш взгляд, задача распределения ресурсов должна рассматриваться в оптимизационной плоскости;

- На сегодняшний день, наиболее обоснованными моделями, учитывающими влияние объемов выделяемых ресурсов на продолжительности операций проектов, являются модели, основанные на эластичностях продолжительностей операций по объему используемых ресурсов. Причем случайная продолжительность операции в таких моделях представляется в виде произведения случайной ее продолжительности при фиксированных объемах ресурсов на коэффициент, учитывающий влияние дополнительного объема выделяемых ресурсов. Последний коэффициент зависит, как от объемов ресурсов, так и от эластичностей. Значения самих эластичностей могут быть достаточно просто получены экспертным путем. Экспертами также должны быть оценены параметры случайных распределений продолжительностей операций проектов;
- В существующих на сегодняшний день моделях применяются 3-и основных вида случайных распределений продолжительностей операций:

- β распределение;
- треугольное распределение;
- равномерное распределение.

Все перечисленные распределения обладают свойствами ограниченности значений сверху и снизу. Однако, как показали проведенные исследования, для моделирования продолжительности операций проектов наиболее подходящим видом распределения является β распределение.

- Существующие на сегодняшний день оптимизационные модели распределения ресурсов, основанные на эластичностях, не учитывают влияние комплектности ресурсов на продолжительность операций. Однако, на наш взгляд, такое влияние является весьма существенным и не может быть проигнорировано.

В работе сформулированы ограничения комплектности ресурсов, позволяющие учесть влияние комплектности ресурсов на продолжительность операций проектов;

В качестве инструмента решения поставленной нелинейной задачи авторами был выбран метод Ньютона-Рафсона, реализованный в стандартном пакете Excel. Проведенные на практическом примере исследования показали:

- процедура поиска решения в большинстве случаев находит оптимальное решение задачи распределения или близкое к оптимальному решению;
- время решения задачи на компьютере зависит, как от производительности самого компьютера, так и от размерности решаемой задачи. На размерность задачи оказывают прямое влияние объем портфеля проектов и численность состава ресурсов;
- инструментарий пакета Excel может быть использован в решении задачи эффективного распределения ресурсов по проектам для относительно небольших портфелей. Однако если речь идет о портфелях, состоящих из десятков и даже сотен проектов, необходимо либо существенное увеличение мощностей вычислительной техники либо разработка и реализация

эвристических процедур, учитывающих все специфические особенности оптимизационной модели.

Авторы выражают надежду, что предлагаемая ими методология управления портфелем проектов найдет широкое практическое применение и создаст поле для дальнейших исследований в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

Литература к главам 1-3

1. *D.C. Ferns.* Developments in programme management. International Journal of Project Management Vol. 9, No. 3, August 1991.
2. *MHA Hendriks, B Voeten and L Kroep.* Human resource allocation in a multi-project R&D environment. International Journal of Project Management Vol. 17, No. 3, 1999
3. *Sergio Pellegrinelli.* Programme management: organising project-based change. International Journal of Project Management Vol. 15, No. 3, 1997
4. *Linenberg Y, Stadlker Z, Arbuthnot S.* Optimizing organizational performance by managing project benefits. PMI Global Congress 2003, Europe.
5. *Bert De Reyck, Yael Grushka-Cockayne, Martin Lockett, Sergio Ricardo Calderini, Marcio Moura, Andrew Sloper.* The impact of project portfolio management on information technology projects. International Journal of Project Management 23 (2005) 524–537
6. *Harvey Maylor, Tim Brady, Terry Cooke-Davies, Damian Hodgson.* From projectification to programmification. International Journal of Project Management 24 (2006) 663–674.
7. *Wheelwright SC, Clark KB.* Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality. New York: Free Press; 1992.
8. *Galbraith JR.* Matrix organization designs: how to combine functional and project forms. Bus Horizons 1971;14(1):29–40.
9. *Galbraith JR.* Designing complex organizations. Reading, MA: Addison-Wesley; 1973.

10. Project management Institute. A guide to the project management body of knowledge. Pennsylvania: Project Management Institute; 2004.
11. *Robert G. Cooper, Scott J. Edgett, Elko J. Kleinschmidt.* New problems, new solutions: making portfolio management more effective. Research – Technology Management, 43, 2, March/April
12. *Robert G. Cooper, Scott J. Edgett, Elko J. Kleinschmidt.* Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. R&D Management 31, 4, 2001
13. *Robert G. Cooper, Scott J. Edgett, Elko J. Kleinschmidt.* New product portfolio management: practices and performance. Journal of product innovation management 1999; 16:333-351
14. *John H. Cable, Javier F. Ordonez*. Gouthami Chintalapani and Catherine Plaisant. Project Portfolio Earned Value Management Using Treemaps. PMI research conference, July 2004 London
15. *Бурков В.Н., Джавахадзе Г.С.* «Экономико-математические модели управления развитием отраслевого производства» М.: ИПУ РАН, 1997. – 64 с.
16. *Ahti Salo, Tommi Gustafsson, Ramakrishnan Ramanathan.* Multicriteria methods for technology foresight. Journal of Forecasting 22, 235-255 (2003)
17. *Janne Gustaffson, Ahti Salo.* Contingent Portfolio Programming for the Management of Risky Projects. Operations Research Vol.53, No.6, Nov-Dec 2005
18. *Masood Badri, Donald Devis, Donna Devis*. A comprehensive 0-1 goal programming model for project selection. International Journal of Project Management 19 (2001)

19. *Демкин И.В., Стрельцов А.В., Галетов И.Д.* Оценка риска инвестиционных проектов фармацевтического предприятия // Управление риском. 2004. № 4. С.16-27.
20. *Клиффорд Ф. Грей, Эрик У. Ларсон* Управление проектами: Практическое руководство/ Пер. с англ. – М.: Дело и Сервис, 2003.
21. *Ахьюджа Д.* Методы сетевого планирования в производстве и проектировании, М: Мир,1976.
22. *Metropolis N., and S. Ulam* (1949) "The Monte Carlo method" J. Amer. Statistical assoc., 44,№247.pp. 335-341.
23. *Lu. M., and Abourizk S.M.* (2000) «Simplified CPM/PERT Simulation Model". Journal of Construction Engineering and Management, 126, pp. 219-226
24. *Pritsker A., C. Sigal, and R. Hammesfahr* (1989) «Slam ‖ Network Models for Decision Support". Engle-wood Cliffs, NJ: Prentice Hall
25. *Van Dorp J.R., and Duffey M.R.* (1999) "Statistical Dependence in Risk Analysis for Project Networks Using Monte Carlo Methods" International Journal of Production Economics, 58, pp. 17-29
26. *Golenko-Ginzburg, D. And A. Gonic* (1997). "Stochastic Network Project Scheduling with Non-Consumable Limited Resources". International Journal of Production Economics, 48, pp. 29-37
27. *Linda K. Nozick, Mark A. Turnquist, and Ningxiong Xu* (2004) " Managing Portfolios of Projects under Uncertainty". Annals of Operations Research, 132, pp. 243-256
28. *Genest C. and J. Mackay* (1986), The Joy of Copulas, bivariate distributions with uniform marginals, The American Statistician,№ 40 (4),p. 280-283.
29. *Burt J.M.* (1977) "Planning and Dynamic Control of Projects under Uncertainty". Management Science, 24, pp. 249-258

30. *Gerchak, Y.* (2000) “On the Allocation of Uncertainty-Reduction Effort to Minimize Total Variability”. IEEE Transactions, 32, pp. 403-407
31. *Ozdamar, L. and E. Alanya* (2001) “ Uncertainty Modelling in Software Development Projects (with Case Study)”. Annals of Operations Research , 102, pp. 157-178
32. *Leu, S.-S., A.-T. Chen, and C.-H. Yang* (2001) “ A GA- Based Fuzzy Optimal Model for Construction Time-Cost trade-off.” International Journal of Project Management, 19, pp. 47-58
33. *Gutjahr, W.J., C. Strauss, and E. Wagner* (2000) “Stochastic Branch-and-Bound Approach to Activity Crashing in Project Management.” INFORMS Journal on Computing, 12, 125-135
34. *Kurtulus, I.S. and E.W. Davis* (1982) “Multi-Project Scheduling: Categorization of Heuristic Rules Performance.”, Management Science, 28, pp. 161-172
35. *Lova, A., C. Maroto, and P. Tormos* (2000) “ A Multicriteria Heuristic Method to Improve Resourse Allocation in Multiproject Scheduling.” European Journal of Operational Research”, 127, pp. 408-424
36. *Ozdamar, L. and G. Ulusoy* (1995) “A Survey on the Resource Constrained Project Scheduling Problem.” IEEE Transactions, 27, pp. 574-586
37. *Dickinson M., A. Thornton, and S. Graves* (2001) “ Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects Over Multiple Time Periods”, IEEE Transactions on Engineering Management, V. 48, №4, November
38. *Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В.* Модели и методы управления портфелями проектов, М.:ПМСОФТ, 2005.-206 с.
39. *Аньшин В.М., Гумилевская О.В.* Управление проектами инновационной реорганизации с учетом эффекта инновационной синергии. Практика международного бизнеса, № 1(34), 2007, с. 88-97

40. *Тернер Р.* Дж. Руководство по проектно-ориентированному управлению.Под общ. ред. Воропаева В.И. – М.: Издательский дом Гребенникова, 2007

41. *Evaristo R., Van Fenema P.C.* A typology of project management: emergence and evolution of new forms. International Journal of Project Management, 1999, 17 (5),pp.275-281

42. *Platje A., Seidel H., Wadman S.* Project and portfolio planning cycle. Project-based management for multiproject challenge. International Journal of Project Management, 1994, 12 (2), pp.100-106

43. *Thiry M., Deguire M.* Recent developments in project-based organizations. International Journal of Project Management, doi:10.1016/ijproman.2007.02.001

44. *Archer NP, Ghasemzadeh F.* An integrated framework for project portfolio selection. International Journal of Project Management, 1999, 17(4),pp.207-216

45. *Gareis R.* Happy Project! Manz,Vienna,2005

Литература к главе 4

1. *Buckley, J.J.* (1987) “The fuzzy mathematics of finance”, Fuzzy Sets and Systems, 21, pp. 257–273.
2. *Chui, Y.C. and Chan, S.P.* (1994) “Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion”, Engineering Economist, 39, pp. 113–138.
3. *Kuchta, D.* (2000) “Fuzzy capital budgeting”. Fuzzy Sets and Systems, 111, pp. 367–385.
4. *Kahraman, C., Ruan, D., Tolga, E.* (2002) “Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows”. Information Sciences, 142, pp. 57–76.

5. *Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K. and Tiwari, M. K.* (1994) “A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study”, Int. J. Production Research, 43, pp. 5199 – 5216
6. *Dimova L., Sevastianova P., Sevastianov D.* (2006) “MCDM in a fuzzy setting: Investment projects assessment application”. Int. J. Production Economics, 100, pp. 10–29
7. *Mohamed, S., McCowan, A.K.* (2001) “Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory”. Int. J. Project Management, 19, pp. 231–241.
8. *Liang, G.S. and Wang, M.J.* (1991) “A fuzzy multi criterion decision making for facility site selection”. International Journal of Production Research, 29, pp. 2313–2330.
9. *Chan, D.Y.* (1996) “Application of extent analysis method in fuzzy AHP”. European Journal of Operation Research, 95, pp. 649–655.
10. *Lee, J.W. and Kim, S.H.* (2000) “Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection”. Computers & Operations Research, 27, pp. 367–382.
11. *Kahraman, C., Cebeci, U. and Ruan, D.* (2004) “Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey”. International Journal of Production Economics, 87, pp. 171–184.
12. *Lefley, F. and Sarkis, J.* (2005) “Applying the FAP model to the evaluation of strategic information technology projects”. International Journal of Enterprise Information Systems, 1, pp. 69–90.
13. *Carlsson C., Fuller R.* (2001) “On optimal investment timing with fuzzy real options”, in: Proceedings of the EUROFUSE 2001 Workshop on Preference Modelling and Applications, 2001, pp. 235–239.
14. *Carlsson C., Fuller R., Majlender P.* (2005) “A fuzzy real options model for R&D project evaluation”, in: Y. Liu, G. Chen, M. Ying (Eds.),

Proceedings of the Eleventh IFSA World Congress, University Press and Springer, Beijing, 2005, pp. 1650–1654.

15. *Wang J., Hwang W.-L.* (2007) “A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real option valuation model”. Omega, 35, pp. 247-257.
16. *Inuiguchi M., Ramik J.* (2000) “Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem”. Fuzzy Sets and Systems, 111, pp. 3-28.
17. *Huang X.* (2007) “Optimal project selection with random fuzzy parameters”. Int. J. Production Economics, 106, pp. 513–522
18. *Lai, Y.J., Lai, H.C.* (1993) “Possibilistic linear programming for managing interest rate risk”. Fuzzy Sets and Systems, 54, pp. 135–146.
19. *Iwamura, K., Liu, B.* (1998) “Chance constrained integer programming models for capital budgeting in fuzzy environments”. Journal of the Operational Research Society, 49, pp. 854–860.
20. *Zadeh, L.A.* (1978) “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility”. Fuzzy Sets and Systems, 1, pp. 3-28.
21. *Пытьев Ю.М.* Возможность: элементы теории и применения. М.:УРСС, 2000.
22. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей: приложения к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990.
23. *Geske R.* (1979) “The valuation of compound options”. Journal of Financial Economics, 7, pp. 63-81.
24. *Perlitz M., Peske T., Schrank R.* (1999) “Real option valuation: the new frontier in R&D project evaluation?”. R&D management, 29, pp. 255-269
25. *Saaty T.* (1990) “How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process”. European Journal of Operational Research, 48, pp. 9-26