

Анализ подходов к распределению ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности¹

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

Государственный Университет Высшая Школа Экономики, Москва

Аннотация

Статья посвящена проблемам распределения ограниченных ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности. Приведены результаты анализа основных подходов к распределению ресурсов по проектам инновационно-инвестиционного портфеля. Раскрывается содержание основных моделей распределения ресурсов по проектам портфелей. Предложена модель эффективного распределения ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности, учитывающая влияние комплектности выделяемых ресурсов на продолжительность операций. Представлены практические результаты решения задачи распределения ресурсов на основе моделирования.

Ключевые слова:

распределение ресурсов, портфель проектов, неопределенность, оптимизационная модель, комплектность ресурсов, эластичность, инвестиции

The Analysis of Approaches to the Resource Allocation Problem in Project Portfolio Management under Uncertainty

V.M. Anshin, I.V. Dyomkin, I.N. Tsarkov, I.M. Nikonov

The State University Higher School of Economics, Moscow

Abstract

The article is devoted to the allocation problem for the project resources in a portfolio under uncertainty. We analyze the main approaches to the allocation of resources among projects of an innovation investment portfolio and characterize the principal models of resource allocation among projects in a portfolio. We present a model of effective resource allocation under uncertainty that takes into account the dependence of job duration on the completeness of allocated resources. Practical examples of solution to the resource allocation problem by means of simulation are also given.

Key words:

resource allocation, project portfolio, uncertainty, optimization model, resource completeness, elasticity, investment

Содержание

Введение

1. Анализ моделей распределения ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности

2. Модель эффективного распределения ресурсов в условиях неопределенности

3. Учет ограничений комплектности ресурсов в модели эффективного распределения ресурсов

4. Пример распределения ресурсов по проектам портфеля и исследование результатов моделирования

Заключение

Литература

¹ Статья выполнена в рамках мероприятия 5.2.5 инновационно-образовательной программы Государственного Университета Высшая Школа Экономики «Формирование системы аналитических компетенций для инноваций в бизнесе и государственном управлении».

Введение

На сегодняшний день управление проектами (project management) — это одно из перспективнейших направлений менеджмента. Анализ проблем управления портфелем проектов, осуществляемый в рамках управления проектами, представляется не менее актуальным. Тому есть несколько причин. Во-первых, современная реальность все чаще предполагает управление не просто одним проектом, а программой или даже портфелем. Например, современные фармацевтические компании реализуют десятки, а в ряде случаев и сотни инвестиционных и инновационных проектов [1]. Управление портфелем таких проектов является сложной задачей. Особенно это касается портфелей, в которых проекты в той или иной степени связаны между собой. Например, неудача в реализации одного проекта может повлечь за собой неудачу другого проекта. Наконец, к настоящему времени имеется обширная литература по управлению отдельными проектами компании, а моделей, позволяющих эффективно управлять программами и портфелями проектов, пока недостаточно.

Необходимо также учесть, что методы и инструменты современного управления портфелем хорошо подходят для управления финансовым портфелем, или портфелем, в котором возможности четко определены. Но они менее подходят для инвестиционных проектов с неопределенными или нестабильными границами. В то же время в реальной жизни полная определенность практически невозможна. Неопределенность, возникающая при реализации портфеля, обуславливается многими факторами. Например, бывает, что с самого начала составления портфеля задачи не могут быть четко определены или предполагают возможность значительного изменения в будущем. Неизвестно, как в той или иной ситуации поведут себя люди, от которых зависит реализация проектов, какие изменения произойдут в технологии производства и в техническом обеспечении проектов. Необходимо также учитывать тот факт, что большинство компаний действуют в динамичной, быстро изменяющейся внешней среде, к которой надо все время приспосабливаться. Таким образом, компания, реализующая проектный подход, должна быть очень гибкой и быстро реагирующей на малейшие изменения [2].

Несмотря на все это, компании создают и реализуют портфели проектов, преследуя при этом определенные цели. Главной целью использования модели управления портфелем проектов компанией является повышение эффективности. Повышение эффективности включает в себя несколько пунктов. Во-первых, это повы-

шение финансовой отдачи проектов или, по-другому, стоимости портфеля. Однако это далеко не единственная его задача. Прежде всего, портфель должен соответствовать стратегическим целям компании, быть хорошо сбалансированным по соотношению «риск—доходность», предусматривать эффективное использование ограниченных ресурсов.

Именно последняя задача является предметом изучения в данной работе. 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.

В рамках данной работы выполнен анализ мирового опыта моделирования распределения ресурсов по проектам портфеля, начиная с моделей сетевого планирования и управления и заканчивая современными оптимизационными моделями. Особое внимание уделяется учету факторов неопределенности, которые оказывают значительное влияние на ход реализации портфеля проектов. Предложена модель эффективного распределения ресурсов по проектам портфеля в условиях неопределенности, учитывающая влияние комплектности выделяемых ресурсов на продолжительность операций. Представлены практические результаты решения задачи распределения ресурсов на основе моделирования.

1. Анализ моделей распределения 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 [3], разработанный в середине 20-го 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 прогнозиро-

вать сроки завершения этапов проекта с желаемой вероятностью. Модели, построенные на основе методологии GERT [3], 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 [4].

С 1950-х годов многие авторы дополнили PERT, используя упомянутый метод статистических испытаний Монте-Карло [5, 6]. Некоторые из этих дополнений включали моделирование корреляции между продолжительностями задач [7] и предлагали решения в том случае, когда возникал конфликт из-за распределения ресурсов [8].

Например, Голенко и Гинзбург разработали эвристические процедуры, устраняющие конфликты в распределении ограниченных непотребляемых ресурсов. Общая идея алгоритма заключается в перераспределении существующих непотребляемых ресурсов среди операций проекта в соответствии с приоритетом каждой из них. Приоритет представляет собой соответствие вклада 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 и Гинзбургом 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 [9].

Ван Дорп и Даффи [7] 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:

1. Установление предположений о независимости некоторого числа случайных переменных.
2. 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 од-

новременно нескольких операций проекта, например, на продолжительность операций, выполняемых на открытой местности. Риск поломки технологического оборудования, отключение источников энергии, сбой 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 [7]. Согласно данному методу наборы операций проектов разделяют на непересекающиеся подмножества A_i таким образом, чтобы случайные параметры операций в каждом подмножестве зависели преимущественно от единственного общего риск-фактора F_i . Набор операций подмножества A_i называется риск-группой с общим риск-фактором F_i . Риск-группы формализуются с помощью диаграмм зависимости. Пример диаграмм зависимости представлен на рис. 1.

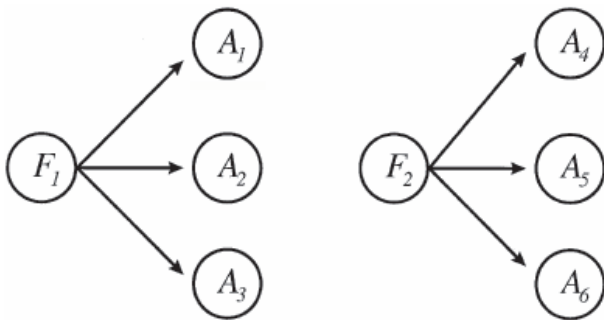


Рис. 1. Пример диаграмм зависимости

Здесь: A – неопределенности, связанные с длительностями операций 1–6, F – общие факторы риска. Длительности операций A_1, A_2, A_3 независимы при конкретном значении общих факторов риска F_1 . Значения общих факторов риска F независимы между собой.

На втором шаге устанавливаются совместные распределения A_i для каждой риск-группы с общим риск-фактором F_i . Совместное распределение (и, следовательно, статистическая зависимость) между F_i и A_i – это двумерное распределение. Одним из распространенных методов моделирования двумерного распределения с известными частными распределениями является метод Copula [10]. Согласно данному методу совместное распределение F_i и A_i 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 продолжительность 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 Барт [11] начал исследовать проблему влияния распределения ограниченных ресурсов между операциями проектов на параметры распределения вероятностей продол-

жительности 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 Барта ограничивалась выявлением параллельных последовательностей операций проекта (путей) и назначением единственного невозобновляемого ресурса (например, общего бюджета) на данные операции. Он ввел следующие основные правила распределения ограниченных невозобновляемых ресурсов:

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

2. Динамическое распределение. Выделение ресурсов на первую операцию каждого из путей выполняется в соответствии 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.**

Барт 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 Бартом 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 [12] также изучал проблему назначения ресурсов операциям проекта. При этом он исследовал возможности назначения большего количества единственного ограниченного ре-

сурса 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 [13] 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 [14] 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:

1. Критическое время.
2. Расчетное время.
3. 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 продол-

жительность лежит в перекрывающемся интервале, представляется в нормальном режиме.

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

$$\min^{\alpha} C_T = \sum_{\forall i}^{\alpha} C_{d_i}, \quad (1)$$

$${}^{\alpha} T = \max_i \{ {}^{\alpha} t_i + {}^{\alpha} d_i \mid i=1, 2, \dots, n \}, \quad (2)$$

$${}^{\alpha} t_j - {}^{\alpha} t_i - {}^{\alpha} d_i \geq 0, \forall j \in S_i, \quad (3)$$

$${}^{\alpha} t_i, {}^{\alpha} d_i \geq 0, {}^{\alpha} M_i \leq {}^{\alpha} d_i \leq {}^{\alpha} N_i, i=1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

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; ${}^{\alpha} d_i$ — продолжительность операции i на уровне риска α ; S_i — множество операций, следующих за i ; ${}^{\alpha} C_{d_i}$ — прямые издержки операции i при продолжительности ${}^{\alpha} d_i$; ${}^{\alpha} M_i$ — 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 (1) модели отображает вычисление суммарных прямых издержек, которые являются целевой функцией. Равенство (2) предназначено для вычисления продолжительности нечеткого проекта. Равенство (3) означает, что различие во времени начала двух соединенных узлов должно быть, по крайней мере, также велико, как и продолжительность соединяющей операции. Равенство (4) ограничивает продолжительность каждой операции интервалом между критическим и расчетным временем.

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

1. Блок создания длительности операции.
2. Блок определения продолжительности проекта.
3. Блок компромиссного соотношения между временем и затратами.
4. 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 [15] 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 продолжительность операций проектов.

К настоящему времени существует небольшое количество разработок 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 [16]. 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 [9, 16–18].

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 [9]. 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.

2. Модель эффективного распределения ресурсов в условиях неопределенности

2.1. Исходные данные модели

В расчетном периоде, составляющем T 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.

2.2. 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 два вновь выполняемых проекта (каждый из них включает три последовательно выполняемых этапа). Пронумеруем все этапы (операции) портфеля, используя сквозную нумерацию, как показано в табл. 1.

Таблица 1

Проект 1		Проект 2			Проект 3		
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 трех 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 T лет. Объемы доступных ресурсов каждого вида k в каждый момент времени t расчетного периода T известны и составляют H_{kt} .

Разработчики модели полагают, что увеличение объема ресурса, назначаемого на j -ю 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:

$$D_j = D_{0j} \cdot \prod_k (S_{jk})^{\lambda_{jk}}, \quad (5)$$

где: λ_{jk} , $(-1 < \lambda_{jk} \leq 0)$ — оцениваемая экспертами эластичность продолжительности j -й операции по объему используемого k -го ресурса; D_{0j} — ожидаемая продолжительность операции j при минимальном выделении ресурсов каждого вида.

Определение эластичности было заимствовано из экономики и означает, что при 1%-ное 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 начала в момент t_1) равна $1 - F_j(t_2 - t_1)$.

Вводятся следующие переменные модели:

$$B_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{если начало } j\text{-ой операции запланировано на период } t \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

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

2.3. Целевая функция модели

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

$$\min \sum_{l=1}^L V_l \cdot \sum_{t=1}^T t \cdot B_{jt}, \quad (6)$$

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.

2.4. Ограничения модели

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

$$B_{j1} + B_{j2} + \dots + B_{jT} = 1, \forall j = 1, \dots, N. \quad (7)$$

Во-вторых, необходимо обеспечить требуемую хронологическую 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:

$$\sum_{t=1}^T t \cdot B_{it} + E(D_j) \leq \sum_{t=1}^T t \cdot B_{jt}, \quad (8)$$

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

В условиях рассматриваемого примера, включающего три 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:

$$\sum_{j=1}^N S_{jk} P_{jt} \leq H_{kt}, \forall t = 1, \dots, T; \forall k, \quad (9)$$

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 (9) 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:

$$P_{jt} = \sum_{\tau=1}^t B_{j\tau} (1 - F_j(t - \tau)), \quad (10)$$

$$\forall t = 1, \dots, T; \forall j = 1, \dots, N.$$

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

Разработанная Нозиком, Турнквистом и Нинхингом модель вида (5)—(10) содержит ряд предположений. К их числу можно отнести следующие предположения:

1. Необходимые для выполнения очередной операции проекта ресурсы выделяются единож-

ды. В процессе выполнения операции ресурсы не могут быть выделены дополнительно.

2. Эластичности продолжительности операции постоянны и не зависят ни от объема выделяемых ресурсов, ни от продолжительности операции.

3. 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.

4. 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.

5. 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 ввиду возможно значительного разброса значений уровней требуемых ресурсов относительно средних величин.

6. 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.

Последнее допущение модели, на наш взгляд, существенно снижает ее ценность. Если к числу ограничений модели добавить ограничения комплектности ресурсов, тогда, по нашему мнению, модель, созданная Нозиком, Турнквистом и Нинхингом, станет более жизнеспособной.

3. Учет ограничений комплектности ресурсов в модели эффективного распределения ресурсов в условиях неопределенности

Во многих случаях увеличение объема только одного вида ресурса не приводит к снижению продолжительности операции. Например, уве-

личивая численность специалистов высшей квалификации без одновременного увеличения числа других категорий специалистов, продолжительность отдельной операции (например, этапа ОКР инновационного проекта), как правило, не снижается, а в ряде случаев даже может возрасти. Например, в случае если указанные специалисты начнут выполнять несвойственные им функции, продолжительность операции проекта может возрасти. Кроме того, это может потребовать дополнительных финансовых ресурсов (возрастут издержки по статьям: заработная плата, обучение, расходы на транспорт до места работы в случае использования иногородних сотрудников и др.).

Для учета ограничений комплектности автоами предлагается ввести групповой ресурс G^j для каждой нефиктивной операции j портфеля.

Групповой ресурс операции — условный ресурс, совпадающий со множеством тех видов ресурсов, которые требуются для выполнения определенной операции проекта. Каждая единица группового ресурса включает минимальные объемы ресурсов каждого вида, которые требуются для выполнения данной операции **за наибольшее время**.

Таким образом, каждая единица группового ресурса, необходимого для выполнения j -ой операции, состоит из комплекта из $A_{C_k}^j$ единиц ресурса k .

Для записи ограничений комплектности в модель достаточно добавить соотношения взаимосвязи объемов ресурсов, входящих в групповой ресурс. При этом оценки эластичности продолжительностей операций должны быть получены только по групповому ресурсу. Это существенно снизит расходы, связанные со сбором необходимой информации для модели.

Таким образом, случайная продолжительность j -ой операции проекта в модели будет определяться не соотношениями вида (5) и зависеть от объемов каждого вида ресурса, а определяться лишь объемами группового ресурса следующим образом:

$$D_j = D_{0j} \cdot S_j^{\lambda_j}, \quad (11)$$

где: λ_j , $(-1 < \lambda_j \leq 0)$ — оцениваемая экспертами эластичность продолжительности j -ой операции по объему используемого операцией группового ресурса G^j ; S_j — объем используемого группового ресурса операцией j . Данный объем может быть представлен в виде суммы минимально необходимого объема ресурса, соответствующего выполнению операции за максимальное время $S_{j\min}$ и дополнительного объема $S_{j\text{дон}}$:

$$S_j = S_{j\min} + S_{j\text{дон}}. \quad (12)$$

Если минимальный объем выделяемого ресурса совпадает с единицей, то параметр D_{0j} в

выражении (26) легко интерпретируется в виде продолжительности операции j при минимальном выделении требуемых ресурсов. В остальных случаях значение параметра D_{0j} может быть получено по формуле:

$$D_{0j} = D_{j \min} \cdot S_{j \min}^{-\lambda_j}, \quad (13)$$

где: $D_{j \min}$ — случайная продолжительность j -ой операции при минимальном выделении ресурсов.

Заметим, что в связи с тем, что эластичности λ_j представляют собой отрицательные величины при увеличении группового ресурса на операцию, случайное распределение ее продолжительности, определяемое по формуле (11), будет сдвигаться влево. Это подтверждается проведенными исследованиями других авторов [9, 16].

Взаимосвязь объемов выделяемых на операцию ресурсов S_{jk} с объемами группового ресурса S_j нетрудно представить в модели следующими соотношениями комплектности:

$$S_j = \frac{S_{C_k}^j}{A_{C_k}^j}, \quad \forall j = 1, \dots, N; \forall k = 1, \dots, K_j, \quad (14)$$

где: K_j — количество видов ресурсов, необходимых для выполнения j -ой операции.

В приведенной формуле для каждой операции представлены лишь те ресурсы, которые необходимы для выполнения данной операции.

Кроме рассмотренных выше ограничений (7)—(14) в модель также могут быть добавлены ограничения на максимальные объемы некоторых видов ресурсов, выделяемых на отдельные операции портфеля S_{jk}^{\max} . Это позволит предотвратить ситуации, в которых каждый из людей действует по-своему. Что, в свою очередь, может привести к ситуации, когда при увеличении численности людей возрастает продолжительность выполнения операции [9]. Такие ограничения могут быть записаны в следующем виде:

$$S_{jk} \leq S_{jk}^{\max}, \quad \forall j = 1, \dots, N; \forall k \in R, \quad (15)$$

где: R — множество видов ресурсов, для которых устанавливаются ограничения сверху.

В результате имеем нелинейную, частично целочисленную модель, представленную выражениями (6)—(15).

Стоит отметить, что эластичности продолжительности операций λ_j в большинстве случаев зависят от объемов группового ресурса S_j . Например, при незначительных объемах выделяемых на операции проекта ресурсов даже незначительное увеличение их числа, как правило, приводит к существенному сокращению продолжительности операций. И, наоборот, в случаях, когда объемы выделенных ресурсов близки к своим

критическим величинам, добавление ресурсов не дает столь существенного эффекта снижения продолжительности операций. Однако учет в модели распределения ресурсов указанной зависимости $\lambda_j(S_j)$ приводит к существенному усложнению поиска оптимального решения.

Кроме отмеченной зависимости, эластичности продолжительности операций портфеля, а также соотношения комплектности (14) могут зависеть от самих операций. Например, в проектах, связанных с решением задач автоматизации, увеличение числа программистов на этапах разработки рабочего проекта и создания сложных программных модулей системы часто не приводит к существенному снижению продолжительности таких этапов. Это объясняется сложностью задач этапа, например, необходимостью проектирования межмодульных интерфейсов. Однако на этапе документирования возможно существенное снижение продолжительности операций за счет распределения документирования отдельных модулей системы между несколькими специалистами.

Отмеченная особенность существенно усложняет задачу поиска оптимального решения. Если бы эластичности и соотношения комплектности для всех операций портфеля проектов совпадали бы, то очевидно эффективным распределением ресурсов считать такое распределение, которое соответствует направлению максимального объема группового ресурса преимущественно на операции критического пути². Под критическим путем принято считать путь в графике операций портфеля проектов, имеющий максимальную продолжительность. Поэтому в этом случае можно было бы свести выше-рассмотренную задачу к эквивалентной задаче с ограничениями лишь на объем единственного группового ресурса. Однако в случае наличия зависимости эластичности от номера операции таким упрощением воспользоваться не удастся.

На основе построенной нелинейной частично целочисленной модели может быть найдено эффективное решение проблемы распределения ресурсов по операциям портфеля проектов в условиях неопределенности продолжительностей самих операций. На сегодняшний момент, на наш взгляд, существующим эффективным методом решения указанной задачи является метод Ньютона-Рафсона. Например, можно использовать стандартную процедуру, реализованную в пакете EXEL (блок «поиск решения»). Однако эффективность использования данной процедуры для решения нелинейной оптимизационной задачи сильно зависит от размерности модели и быстродействия используемой в расчетах вычислительной техники. Например, как по-

² В предположении равнозначности весов проектов V_j .

казали результаты проведенных экспериментов, для портфеля из двух проектов (предусматривалось выполнение не более трех операций в каждом проекте) и двух видов ресурсов продолжительность поиска решения на компьютере с частотой 2300 МГц оказывается не более 1 минуты. Для портфеля, составленного из трех проектов, продолжительность такого поиска доходит уже до 3 минут.

Кроме того, метод Ньютона-Рафсона относится к классу эвристических методов и не дает гарантии получения оптимального решения задачи. Тем не менее, на сегодняшний день данный метод является широко распространенным методом решения нелинейных, частично целочисленных задач и используется в задачах управления портфелями проектов [14, 19].

4. Пример распределения ресурсов по проектам портфеля и исследование результатов моделирования³

Авторами была поставлена цель, заключающаяся в построении и исследовании модели распределения ресурсов портфеля из трех условных проектов.

Портфель примера включал один незавершенный проект (этапы 2, 3 не завершены и должны быть выполнены друг за другом, начиная со 2-ого) и два подлежащих выполнению инвестиционных проекта (каждый из них включает три последовательно выполняемых этапа).

4.1. Исходные данные модели условного примера

После осуществления сквозной нумерации получим портфель, состоящий из 11 операций (последние три операции — фиктивные). Расчетный период составляет 5 единиц времени (ед. вр.). Значения относительных важностей скорейшего завершения проектов составляют: 100; 50; 50 соответственно (завершение 1-ого проекта является более предпочтительным по сравнению с остальными проектами).

Для простоты примем следующие условия:

- объем единственного непотребляемого ресурса в каждый момент времени t расчетного периода известен и составляет 25 ед. Данный объем превышен быть не может;
- эластичность постоянна и равна $-0,8$ для всех операций проекта (при каждом 10% увеличении объема выделяемого ресурса продолжительность операции сокращается на 8%);

- случайная продолжительность каждой операции j каждого проекта при минимальном выделении на нее ресурсов имеет одинаковое распределение вероятностей (β -распределение). Значения параметров распределений одинаковы для всех операций и принимают следующие значения: $\alpha = 8, \beta = 10$;

- минимальный объем ресурса, выделяемый на каждую операцию, составляет 1 ед.

Допустим также, что максимальные объемы ресурса, выделяемого на операцию, определяются данными, представленными в табл. 2.

Таблица 2

№ операции	1	2	3	4	5	6	7	8
Макс. объем ресурса, ед.	8	6	5	10	8	5	10	5

Заметим, что по мере выделения дополнительного объема ресурсов на операции проектов значения параметров распределений (минимальные и максимальные значения продолжительности операций) будут снижаться в соответствии с формулами (11)—(12).

Решение задачи осуществлялось в программе Excel. На основе полученного решения задачи было проведено исследование влияния на целевую функцию эластичности, параметров распределения продолжительности операций и объема выделяемых ресурсов.

4.2. Результаты решения задачи

Учитывая все ограничения, процедура поиска решения, реализованная программой Excel, предлагает следующее оптимальное решение задачи. Все три проекта планируется начать реализовывать в первый же год и направить на их реализацию в этот период 3,64 единицы ресурса. Во второй год на операции 2, 4, 7 необходимо в общей сложности выделить 5,12 единицы ресурса, а в третий год на те же активные операции — 1,71 единицы. В четвертый год ресурсы будут распределены только между вторым и третьим проектом (5 и 8 операции) по 8 и 5 соответственно. Причем согласно условию это возможный максимум ресурсов по данным этапам. Очевидно, программа направляет максимум ресурсов на эти этапы с целью сократить время выполнения всех операций, так как эти операции лежат на критическом пути. Направляя на них дополнительные ресурсы, она значительно сокращает параметры распределения их продолжительности. Первый проект к этому времени уже реализован, и продолжительность сократить можно, только направив максимум ресурсов на второй и третий проекты.

³ Данный раздел был подготовлен при участии Губайдуллиной А.Р.

4.3. Исследование влияния на целевую функцию эластичности продолжительности операций по объему выделяемого ресурса

Логично было бы предположить, что целевая функция и эластичность продолжительности операций по объему выделяемого на нее ресурса связаны обратно, то есть чем больше значение эластичности, тем сильнее заданный объем ресурсов «сокращает» общее время реализации портфеля проектов. Или, иначе говоря, если эластичность высока, нам нужно направлять меньшее количество ресурсов на скорейшее выполнение проектов.

Попробуем изменять эластичность продолжительности операций по объему выделяемого на нее ресурса как в большую, так и в меньшую стороны (с шагом в 5%). Полученные результаты представлены на рис. 2.

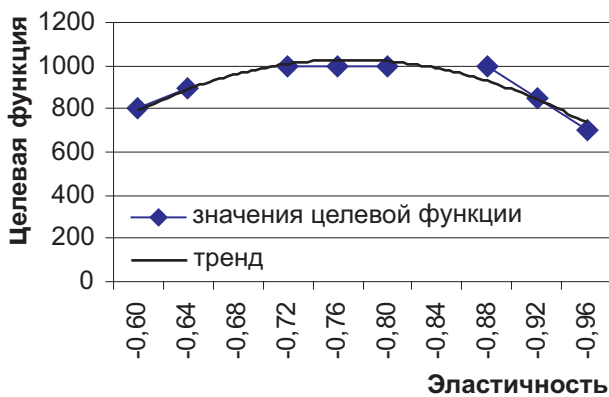


Рис. 2. Зависимость целевой функции от эластичности ($S = 25$)

Пока величина $\lambda \geq -0,72$, то зависимость положительная, а после становится отрицательной. Проведенный дополнительный анализ результата показал, что процедура поиска решения при больших значениях эластичности находит лишь близкое к оптимальному решение. В этой связи в данном диапазоне значений эластичности характер рассматриваемой зависимости для оптимальных решений задачи, скорее всего, будет иной.

Анализ чувствительности показал, что программа неохотно находит решение (в ряде случаев поиск не дает допустимых решений задачи) при малых значениях эластичности. Объяснением тому является тот факт, что ресурсы, выделяемые на все операции портфеля одновременно и на каждую операцию в частности, ограничены, и при малых значениях эластичности заданного объема ресурсов оказывается явно недостаточно, чтобы выполнить все проекты портфеля за требуемый 5-летний расчетный период времени.

4.4. Исследование влияния на целевую функцию основных параметров распределений вероятности продолжительности операции

Попробуем изменить начальные параметры распределения продолжительности при минимуме ресурсов, а именно, уменьшим максимум продолжительности с 3 до 2, а затем и до 1. Фактически мы сокращаем продолжительность выполнения каждой операции путем «сужения» интервала возможной продолжительности при минимуме ресурсов. Объем доступного ресурса по-прежнему равен 25, эластичность λ равна $-0,8$.

Анализ чувствительности показал, что значение целевой функции при сокращении максимально возможной продолжительности операций до 2 при минимуме ресурсов уменьшается и становится равным 800, так же как и для максимума продолжительности равного 1. На рис. 3 показана полученная зависимость.

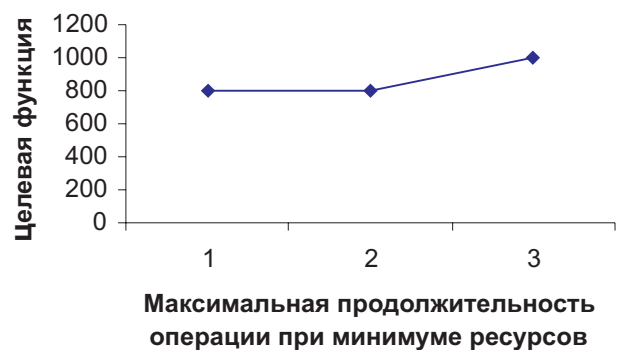


Рис. 3. Зависимость значения целевой функции от максимального значения продолжительности операции при минимуме ресурсов

При увеличении данного интервала продолжительности, то есть при значении максимальной продолжительности операций при минимуме ресурсов, равном четырем, поиск не может найти допустимого решения. Это вполне объяснимо. Дело в том, что интервал не может быть более трех, так как сама возможность выполнения какой-либо операции четыре года предполагает, что все этапы проектов в портфеле не смогут быть выполнены за пять лет даже при условии, что на остальные будет отведено по году.

4.5. Исследование влияния на целевую функцию объема используемого ресурса

Вполне логично предположить, что увеличение количества доступных в каждый момент времени ресурсов приводит к сокращению общего времени реализации проекта, а значит, и к уменьшению значения целевой функции, изменению календарного плана выполнения работ и,

как минимум, к большему использованию этих ресурсов. Однако в ходе исследования это происходит не всегда. При изменении общего объема непотребляемого ресурса значение целевой функции, календарный план выполнения проектов и план распределения ресурсов по проектам во многих случаях не меняются. Это объясняется наличием ограничений на максимальные объемы используемого ресурса по каждой операции. В случае если такие объемы намного меньше количества доступного ресурса, то никакое увеличение их фактического объема не приведет к его большему использованию.

Попробуем увеличить максимальный объем ресурса для каждой операции в одинаковое количество раз. Что же произойдет с объемом выделяемого ресурса в каждый момент времени? В первый, второй и третий моменты времени объем совсем не изменится, зато в четвертый момент он резко увеличится. На четвертый момент приходится операции 5 и 8, и программа будет все так же стараться «заполнить» их по максимуму, чтобы сократить общее время выполнения проектов, что видно из табл. 3.

Наглядно зависимость количества ресурса, используемого в четвертый момент времени, от максимального количества ресурса по операциям представлена на рис. 4 (на данном графике максимальное количество доступного ресурса в каждый момент времени было увеличено до $S = 50$).

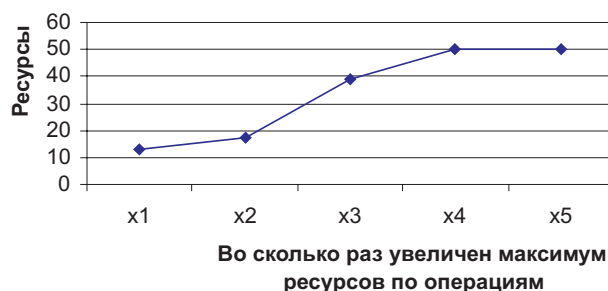


Рис. 4. Зависимость объема ресурса, используемого в 4 момент времени, от максимального количества выделяемых по операциям ресурсов

Из графика видно, что программа при увеличении возможного максимума по 5-й и 8-й операциям «старается» полностью его использовать. Более чем в 5 раз максимум ресурсов по операциям увеличить нельзя, так как это приведет к тому, что он станет больше доступного ресурса, используемого во всех операциях, и решение не будет найдено.

Заключение

Центральными задачами управления портфелями проектов являются следующие основные задачи, решаемые менеджментом компании в условиях неопределенности:

- формирование эффективного портфеля проектов;

Таблица 3

Распределение ресурсов по операциям

Моменты времени	1			2,3			4	
	1	3	6	2	4	7	5	8
1. Максимально возможный объем ресурса на операцию.	8	5	5	6	10	10	8	5
Количество ресурсов, выделяемых программой на операцию	1,21441	1,214631	1,21441	0,72839	1,29955	1,29955	8	5
2. Максимально возможный объем ресурса на операцию.	16	10	10	12	20	20	16	10
Количество ресурсов, выделяемых программой на операцию	1,21441	1,214631	1,21441	0,72839	1,29955	1,29955	16	1,46
3. Максимально возможный объем ресурса на операцию.	24	15	15	18	30	30	24	15
Количество ресурсов, выделяемых программой на операцию	1,21441	1,214631	1,21441	0,72839	1,29955	1,29955	24	15
4. Максимально возможный объем ресурса на операцию.	32	20	20	24	40	40	32	20
Количество ресурсов, выделяемых программой на операцию	1,21441	1,214631	1,21441	0,72839	1,29955	1,29955	32	18
5. Максимально возможный объем ресурса на операцию.	40	25	25	30	50	50	40	25
Количество ресурсов, выделяемых программой на операцию	1,21441	1,214631	1,21441	0,72839	1,29955	1,29955	40	10

- 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 [20]. 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. Одной из таких центральных задач является задача эффективного распределения ограниченных ресурсов по операциям портфеля проектов.

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

1. Основными учитываемыми неопределенностями в существующих моделях распределения ресурсов являются неопределенности в сроках выполнения отдельных операций проектов.

2. 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.

3. Задача распределения должна решаться одновременно для нескольких видов ресурсов (материальных, трудовых, финансовых). Распределение ресурса одного вида во многих случаях недостаточно.

4. 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.

5. 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.

6. Существующие наработки в области решения задачи распределения ресурсов касаются создания и реализации экономико-математических моделей двух основных классов:

- имитационные модели;
- оптимизационные модели.

7. Имитационные модели позволяют учитывать в процессе решения задачи различные особенности портфелей проектов и вариантов распределения ресурсов. Например, с помощью данных моделей удастся 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.

8. На сегодняшний день, наиболее обоснованными моделями, учитывающими влияние объемов выделяемых ресурсов на продолжительность 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.

9. В существующих на сегодняшний день моделях применяются три 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.

10. 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.

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

12. В качестве инструмента решения поставленной нелинейной задачи авторами был выбран метод Ньютона-Рафсона, реализованный в стандартном пакете EXEL. 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;

- инструментальный пакет EXEL 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.

Литература

1. Демкин И.В., Стрельцов А.В., Галетов И.Д. Оценка риска инвестиционных проектов фармацевтического предприятия // Управление риском. 2004. № 4. С. 16–27.
2. Клиффорд Ф. Грей, Эрик У. Ларсон Управление проектами: Практическое руководство/ Пер. с англ. – М.: Дело и Сервис, 2003.
3. Ахьюджа Д. Методы сетевого планирования в производстве и проектировании, М: Мир, 1976.
4. Metropolis N., and S. Ulam (1949) “The Monte Carlo method” J. Amer. Statistical assoc., 44, No. 247. pp. 335–341.
5. Lu. M., and Abourizk S.M. (2000) “Simplified CPM/PERT Simulation Model”. Journal of Construction Engineering and Management, 126, pp. 219–226.
6. Pritsker A., C. Sigal, and R. Hammesfahr (1989) “Slam Network Models for Decision Support”. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
7. 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.
8. 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
9. Linda K. Nozick, Mark A. Turnquist, and Ningxiong Xu (2004) “Managing Portfolios of Projects under Uncertainty”. Annals of Operations Research, 132, pp. 243–256.
10. Genest C. and J. Mackay (1986), The Joy of Copulas, bivariate distributions with uniform marginals, The American Statistician, No. 40 (4), p. 280–283.
11. Burt J.M. (1977) “Planning and Dynamic Control of Projects under Uncertainty”. Management Science, 24, pp. 249–258.
12. Gerchak, Y. (2000) “On the Allocation of Uncertainty-Reduction Effort to Minimize Total Variability”. Transactions, 32, pp. 403–407.
13. Ozdamar, L. and E. Alanya (2001) “Uncertainty Modelling in Software Development Projects (with Case Study)”. Annals of Operations Research, 102, pp. 157–178.
14. 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.
15. 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, pp. 125–135.
16. Kurtulus, I.S. and E.W. Davis (1982) “Multi-Project Scheduling: Categorization of Heuristic Rules Performance”, Management Science, 28, pp. 161–172.
17. Lova, A., C. Maroto, and P. Tormos (2000) “A Multicriteria Heuristic Method to Improve Resource Allocation in Multiproject Scheduling.” European Journal of Operational Research”, 127, pp. 408–424.
18. Ozdamar, L. and G. Ulusoy (1995) “A Survey on the Resource Constrained Project Scheduling Problem.” Transactions, 27, pp. 574–586.
19. 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, No. 4, November.
20. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с.