РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова

Е.В. Коновальчук, Д.А. Новиков

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Москва – 2004

УДК 007
ББК 32.81

Коновальчук Е.В., Новиков Д.А. **Модели и методы оперативного управления проектами**. М.: ИПУ РАН, 2004. – 63 с.

Настоящая работа содержит результаты исследований теоретико-игровых и оптимизационных моделей и методов (механизмов) оперативного управления проектами.

Проводится обзор известных результатов решения задач оперативного управления проектами (механизмы опережающего самоконтроля и компенсационные механизмы), рассматриваются оригинальные модели оперативного управления, позволяющие решать задачи управления с учетом моментов принятия решений, их содержания (эффективности) и согласованности: дополнительные соглашения, сокращение продолжительности проекта, шкалы оплаты, распределенное финансирование, типовые решения, точки контроля.

Работа рассчитана на специалистов (теоретиков и практиков) по управлению проектами.

Рецензент: д.т.н., проф. А.В. Щепкин

Утверждено к печати Редакционным советом Института

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию моделей и методов оперативного управления проектами, под которым понимается управление проектами в процессе их реализации с учетом достигнутых результатов и изменившихся условий.

Для этого в первой части обсуждается общая проблематика оперативного управления проектами, рассматривается жизненный цикл проекта, структура и задачи систем управления проектами, анализируется возможность использования известных в теории управления результатов, формулируются задачи, требующие дальнейших исследований; анализируется ряд известных механизмов управления.

Во второй части рассматриваются оригинальные модели оперативного управления проектами: дополнительные соглашения, продолжительность проекта, шкалы оплаты, распределенное финансирование, типовые решения, точки контроля.

ЧАСТЬ 1. ПРОБЛЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

В первой части настоящей работы обсуждается общая проблематика оперативного управления проектами, рассматривается жизненный цикл проекта, структура и задачи систем управления проектами, приводится постановка и классификация задач оперативного управления проектами, анализируется возможность использования известных в теории управления результатов, формулируются задачи, требующие исследования, которое проводится во второй части. Рассматриваются такие ставшие классическими механизмы оперативного управления проектами как механизмы опережающего самоконтроля и компенсационные механизмы.

1.1. ПРОЕКТ И ЭТАПЫ ЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

В соответствии с определением, приведенным в [32], "*проект* – ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией".

На сегодняшний день теория *управления проектами* (УП) является бурно развивающимся разделом теории управления социально-экономическими системами. Можно выделить несколько различных направлений в управлении проектами.

Во-первых, это – модели *календарно-сетевого планирования и управления* (КСПУ) [9, 15, 19, 25, 31, 33, 38, 42], с появлением которого и зародилось управление проектами.

Во-вторых, это – "качественный" подход к управлению проектами [34, 46, 48, 57, 66, 84-90, 95-100, 105-107, 110-114], близкий по своей методологии к менеджменту организаций [27, 28, 64, 65] и развиваемый, в основном, зарубежными учеными.

И, наконец, в третьих, это – "количественный" подход, основывающийся на анализе и синтезе математических моделей *механизмов управления проектами* (процедурах принятия управленческих решений) [3-8, 10-24, 26, 36, 37, 51, 55, 56, 60, 91] и развиваемый, в основном, отечественными учеными.

Настоящая работа следует традиции количественного подхода, поэтому остановимся на нем более подробно. При построении оптимизационных, теоретико-игровых и имитационных моделей используется аппарат теории игр [41, 67 109] (в первую очередь – теории иерархических игр [35, 39, 52]), теории графов [9, 15, 25], математической экономики и микроэкономики [44, 45, 49, 59], теории контрактов [94, 101-103] и имитационного моделирования [11, 92, 93], а также подходы и результаты программно-целевого [81, 82] и ситуационного [50, 83] планирования и управления.

Система управления любым проектом является *активной системой* (АС), модель которой определяется заданием [21]:

- *состава АС* (участников, входящих в АС, то есть ее элементов);
- *структуры АС* (совокупности информационных, управляющих, технологических и других связей между участниками АС);
- *множеств допустимых стратегий* участников АС, отражающих, в том числе, институциональные, технологические и другие ограничения их совместной деятельности;
- *целевых функций* участников АС, отражающих их предпочтения и интересы;
- *информированности* – той информации, которой обладают участники АС на момент принятия решений о выбираемых стратегиях;
- *порядка функционирования*: последовательности получения информации и выбора стратегий участниками АС.

Управление активной системой, понимаемое как воздействие на управляемую систему с целью обеспечения требуемого ее поведения [21], может затрагивать каждый из шести перечисленных параметров ее модели. Следовательно, основанием *системы классификаций механизмов управления* АС (процедур принятия управленческих решений) является *предмет управления* – изменяемая в процессе и результате управления компонента АС.

По этому основанию можно выделить:

- *управление составом* [47, 69];
- *управление структурой* [29, 63, 69, 70];
- *институциональное управление* (управление «допустимыми множествами») [62, 68];

- *мотивационное управление* [71, 77, 91, 94] (управление предпочтениями и интересами);

- *информационное управление* (управление информацией, которой обладают участники АС на момент принятия решений) [75, 76];

- *управление порядком функционирования* (управление последовательностью получения информации и выбора стратегий участниками АС), которое обычно рассматривают как управление структурой [70].

Простейшая (*базовая*) *модель* АС включает одного управляемого субъекта – *агента* – и одного управляющего органа – *центра*, которые принимают решения однократно и в условиях полной информированности.

Расширениями базовой модели являются:

- *динамические АС* (в которых участники принимают решения многократно) [74];

- *многоэлементные АС* (в которых имеется несколько агентов, принимающих решения одновременно и независимо) [77];

- *многоуровневые АС* (имеющие трех- и более уровневую иерархическую структуру) [29, 69, 70];

- *АС с распределенным контролем* (в которых имеется несколько центров, осуществляющих управление одними и теми же агентами) [36, 78];

- *АС с неопределенностью* (в которых участники не полностью информированы о существенных параметрах) [23, 77];

- *АС с ограничениями совместной деятельности* (в которых существуют глобальные ограничения на совместный выбор агентами своих действий) [68, 77];

- *АС с коалиционным поведением участников* [40];

- *ОС с сообщением информации* (в которых одним из действий агентов является сообщение информации друг другу и/или центру) [54, 79].

Таким образом, в настоящей работе будут рассматриваться "количественные" (формальные) модели и методы оперативного управления проектами, для создания которых может быть использован описанный выше арсенал различных теоретико-игровых и оптимизационных моделей, исследованных в теории управления социально-экономическими и организационными системами.

В *проектном управлении* [32] выделяют следующие *фазы жизненного цикла проекта*:

- *начальная фаза* (концепция): сбор исходных данных и анализ существующего состояния; определение целей, задач, критериев, требований и ограничений (внешних и внутренних) проекта, экспертиза основных положений, утверждение концепции проекта;
- *фаза разработки*: формирование команды, развитие концепции и основного содержания проекта, структурное планирование, организация и проведение торгов, заключение договоров и субдоговоров с основными исполнителями, представление проектной разработки и ее получение одобрения;
- *фаза реализации* проекта: ввод в действие разработанной на предыдущих фазах системы управления проектами, организация выполнения работ, ввод в действие системы мотивации и стимулирования исполнителей, оперативное планирование, управление материально-техническим обеспечением, оперативное управление;
- *завершающая фаза*: планирование процесса завершения проекта, проверка и испытание результатов реализации проекта, подготовка персонала для эксплуатации результатов реализации проекта, их сдача заказчику, реализация оставшихся ресурсов, оценка результатов и подведение итогов, расформирование команды проекта.

Таким образом, оперативное управление соответствует, в основном, фазе реализации проекта.

Рассмотрев жизненный цикл проекта и проведя краткий обзор современного состояния теории УП, перейдем к описанию структуры и задач систем управления проектами.

1.2. СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

На рисунке 1 представлена простейшая входо-выходная модель управления проектом. В рамках этой модели состояние проекта – результат его реализации – зависит от действий, предпринимаемых его участниками (*исполнителями*, являющимися управляемыми субъектами) и состояния внешней среды. Активность (целенаправленность) поведения исполнителей обуславливает зависимость результата от внешних условий (определяемых окружающей средой) и управления – целенаправленного воздействия, осуществляемого управляющим органом, которого условно можно назвать "менеджером проекта" (*центром* в терминологии теории активных систем).

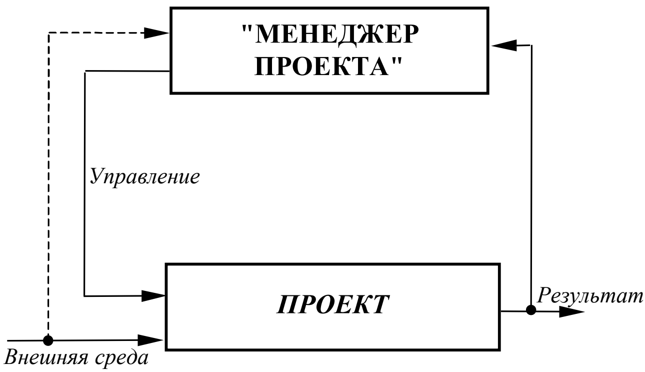

Рис. 1. Входо-выходная модель управления проектом

В рамках моделей принятия решений в качестве управляющих воздействий могут выступать воздействия на различные компоненты управляемой системы – ее состав, структуру, предпочтения и ограничения деятельности участников, их информированность и т.д. (см. выше и [41]). Кроме того, в теории управления обычно выделятся следующие основные функции управления [21]: планирование, организация, мотивация и контроль. Эти общие функции реализуются системой управления на всех этапах и фазах жизненного цикла проекта. Выделим роль и место оперативного управления.

Предположим, что в рамках имеющейся информированности центра, он обладает достоверной информацией обо всех существенных параметрах, то есть условно можно считать, что функционирование системы происходит в условиях полной информированности.

Тогда задача управления проектом включает в себя задачу "планирования", решаемую до начала реализации проекта, и задачу оперативного управления – выработки оперативных управляющих воздействий в ходе реализации проекта. Задача "планирования" подробно рассмотрена в литературе [3-7, 10, 15, 19 и др.], поэтому перейдем к определению задач оперативного управления проектом, которые включают задачи идентификации, прогнозирования и собственно управления.

На рисунке 2 изображена структура системы оперативного управления проектом. Имеется реальный проект и его модель – представления о нем (формальные или интуитивные), которые существуют у центра и/или у исследователя операций. В общем случае модель может отличаться от проекта, даже в отношении тех характеристик, которые она призвана адекватно отражать.

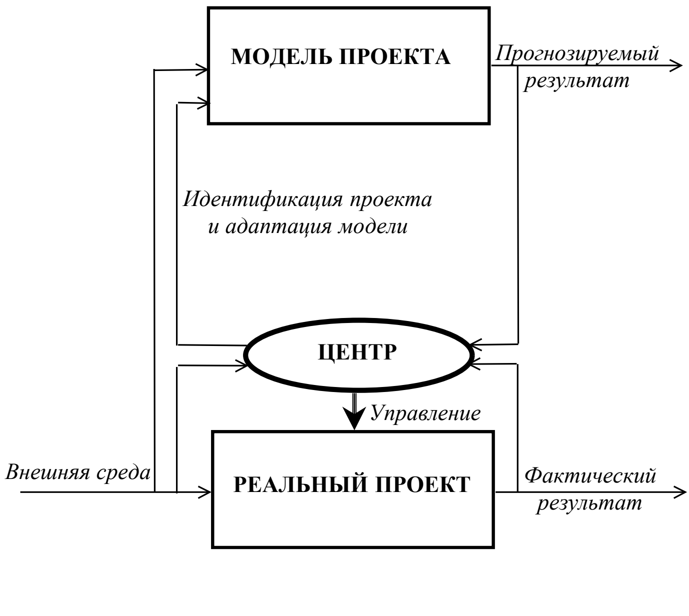

Рис. 2. Структура системы оперативного управления проектом

Пусть первоначально центр построил некоторую модель проекта, и на начальных этапах решил задачу "планирования" – определил желательные будущие значения результатов. При этом необходимо принимать во внимание, что для решения задач идентификации и прогнозирования могут использоваться не только данные о ходе реализации рассматриваемого проекта, но и информация о реализации других аналогичных проектов.

Однако в ходе реализации проекта может оказаться, что модель неадекватна и фактические результаты отличаются от запланированных. Тогда на основании информации о состоянии окружающей среды, прогнозируемом (планируемом) и фактическом результате центр осуществляет коррекцию модели проекта, вырабатывает новый "план" и осуществляет соответствующие управляющие воздействия.

Процесс получения информации о существенных параметрах проекта и его окружении будем называть *мониторингом*. Мониторинг проекта, точнее – разработка соответствующих моделей и механизмов является отдельной задачей и выходит за рамки настоящего исследования. Для ее решения целесообразно использовать имеющиеся в теории управления результаты по методике освоенного объема (МОО) [51, 96, 100-104, 112], сбалансированным системам показателей [46, 110, 111], системам комплексного оценивания [1, 2] и механизмам экспертизы [11, 22, 58, 80].

На основании мониторинга осуществляется *прогнозирование* будущих состояний проекта (каким будет результат с учетом новой информации, но в условиях действия "старой" системы управления – "старого плана"). Прогнозирование, точнее – разработка соответствующих моделей и механизмов также является отдельной задачей и выходит за рамки настоящего исследования. Для ее решения целесообразно использовать имеющиеся в теории управления результаты по экономическому, технологическому и экспертному прогнозированию [29, 61, 75, 86, 87], а также по сценарным подходам и ситуационному управлению [50, 53, 83, 93].

Если прогнозируемый результат не удовлетворяет центр, необходимо его вмешательство – оперативное управление – см. таблицу 1 [51]. То есть, решив задачи идентификации и прогнозирования, можно решать задачи оперативного управления проектом – выработки таких управляющих воздействий, которые корректировали бы ход реализации проекта в нужную (с точки зрения центра) сторону.

Таблица 1

Задачи системы оперативного управления проектами

Идентификация (мониторинг) «Что происходит?»	***Прогнозирование*** «Что произойдет, если не принять мер?»	***Управление*** «Какие меры следует предпринять?»
Определение параметров модели проекта на основании имеющихся наблюдений за ходом его реализации	Оценка показателей проекта в будущие моменты времени и сравнение их с плановыми значениями	Реакция на: «внешнюю» и «внутреннюю» причину – корректировка директивного графика и технологии

Таким образом, под *оперативным управлением проектом* (ОУП) будем понимать управление проектом в процессе его реализации с учетом достигнутых результатов и изменившихся внешних и внутренних условий. Под *внешними условиями* понимается совокупность существенных с точки зрения рассматриваемого проекта параметров, описывающих окружающую (внешнюю) среду. Под *внутренними условиями* понимается совокупность существенных с точки зрения рассматриваемого проекта параметров, описывающих участников проекта – центра, исполнителей и т.д.

Пусть известны ограничения на значения управляющих параметров и задан критерий эффективности управления, зависящий как от управляющих, так и от зависимых параметров. Тогда на качественном уровне задачу управления можно сформулировать следующим образом: выбрать такие допустимые значения управляющих параметров, которые доставляли бы экстремум критерию эффективности управления.

Задача "планирования", являющаяся частным случаем сформулированной выше задачи управления, решается до начала реализации проекта и заключается в определении на основании всей имеющейся на данный момент информации оптимальных плановых значений управляющих параметров и, соответственно, состояний проекта на весь планируемый период его реализации.

Задача оперативного управления, также являющаяся частным случаем задачи управления, решается в ходе реализации проекта и заключается в определении на основании всей имеющейся на данный момент (текущей) информации оптимальных текущих и будущих значений управляющих параметров, то есть оптимальных "плановых" значений управляющих параметров и, соответственно, состояний проекта на всю оставшуюся часть планируемого периода его реализации.

Таким образом, **задачи планирования и оперативного управления являются частными случаями одной и той же задачи управления, отличающимися лишь той информацией, которая имеется на момент принятия решений** [51] – см. рисунок 3.

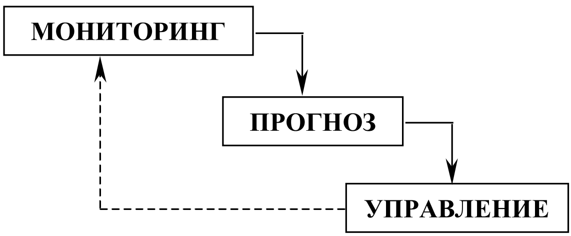

Рис. 3. Цикл управленческой деятельности

Поясним последнее утверждение более подробно. При решении задачи планирования имеется информация об ограничениях на допустимые значения плановых показателей и модель проекта. При решении задачи оперативного управления имеется информация об ограничениях на допустимые значения показателей и модель проекта, скорректированные в соответствии с решениями соответствующих задач идентификации и прогнозирования и учитывающие историю реализации проекта.

Коль скоро установлена качественная эквивалентность задач планирования и оперативного управления, достаточно рассмотреть подробно одну из них, поэтому обычно в литературе по моделям УП (см., например, [51]) по умолчанию подразумевается, что формулируемые и решаемые задачи могут интерпретироваться двояко.

Кроме того, как было показано в [51] при агрегированном представлении проекта, то есть рассмотрении проекта как единого целого, решение оптимизационных задач планирования и оперативного управления в условиях полной информированности заключается в сведении к известным оптимизационным задачам, методы и алгоритмы решения которых хорошо известны.

Итак, проведенное рассмотрение позволило сделать несколько важных методологических выводов.

Во-первых, задача "планирования" обычно рассматривается в предположении, что плановые значения всех показателей определяются до момента начала реализации проекта. В то же время, если в ходе реализации проекта обнаруживается отклонение фактических значений показателей от плановых, то задачи "планирования" могут решаться «заново» с учетом имеющейся информации. При этом техника решения останется без изменений, изменятся лишь начальные условия («начальное» значение времени будет равно не нулевому, а текущему и т.д.) и параметры, скорректированные с учетом поступившей информации. Другими словами, задачи оптимизации параметров проекта (задачи оптимального "планирования"), без значительных модификаций могут решаться в ходе реализации проекта как задачи оперативного управления с учетом накопленной информации.

Второй вывод заключается в следующем. Если на этапе планирования имелась неопределенность относительно состояния природы, то в ходе реализации проекта при решении задач оперативного управления эта неопределенность может снижаться за счет имеющейся информации об истории реализации проекта. Для этого при решении соответствующих оптимизационных задач может использоваться хорошо развитая техника идентификации – методы стохастической аппроксимации, дифференциальных и повторяющихся игр и т.д. [41, 45, 52, 74, 109].

Перейдем к постановке и классификации задач оперативного управления.

1.3. ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Обычно [22] при рассмотрении механизмов управления проектами практически не рассматривается динамика реализации проекта во времени. Действительно, при решении задачи синтеза того или иного механизма неявно предполагается, что механизм «включается» в момент начала выполнения проекта и однозначно определяет результаты деятельности всех исполнителей и результат всего проекта в целом. Такое одношаговое описание проекта адекватно многим реальным ситуациям, однако, далеко не всем из них. Рассмотрим, в каком случае статическая модель проекта является достаточной (с точки зрения эффективности).

Если перед началом проекта и центр, и исполнители имеют достаточно полное и точное представление обо всех параметрах самого проекта и параметрах внешней среды, существенно влияющих на результат реализации проекта, то все возможные ситуации могут быть учтены (например, в рамках метода сценариев) при синтезе механизма управления на начальном этапе. Такой механизм может оказаться достаточно громоздким (так как он должен учитывать значительное число факторов), однако, принципиально, ничто не препятствует его созданию.

На практике ситуации, в которых априори имеется полная информация о будущих значениях существенных параметров, встречаются достаточно редко. Зачастую имеется большая неопределенность относительно результатов реализации проекта. Понятно, что со временем эта неопределенность будет уменьшаться за счет поступления новой информации, идентификации параметров, наблюдений за ходом реализации проекта и т.д. В этом случае создавать механизм управления, который изначально учитывал бы всю неопределенность и давал универсальные рецепты на все случаи жизни, неэффективно, а порой просто нереально. Поэтому возникает необходимость рассмотрения динамики реализации проекта.

Наиболее простым обобщением статических моделей на динамический случай является следующее рассуждение. Пусть процесс реализации проекта разбит на T периодов. В каждом отдельно взятом периоде центру необходимо решать задачи распределения ресурса, синтезировать механизмы финансирования, стимулирования и т.д. Если считать, что ставить и решать эти задачи для статических моделей (одного периода) мы умеем, то необходимо просто решить T задач – каждую для своего периода. Такая модель называется квазидинамической (или моделью с несвязанными периодами функционирования [22, 74]). Квазидинамические модели позволяют описывать динамику процесса, но при их использовании некоторые эффекты, связанные именно с динамикой, могут быть потеряны. Поэтому иногда более адекватными являются динамические модели, в которых задачи, решаемые в каждом периоде, связаны между собой.

Следует признать, что, во-первых, динамические модели являются несравненно более сложными (с точки зрения проблем синтеза, вычислительной сложности, анализа решений и т.д.), чем статические. Во-вторых, модели, достаточно полно учитывающие динамику, исследованы гораздо менее глубоко, чем статические модели. Результаты исследования некоторых динамических АС приведены в работах [22, 37, 51, 60, 74, 91] и эти результаты можно и нужно использовать при решении задач ОУП.

Перейдем к классификации задач ОУП. Так как оперативное управление проектом является частным случаем управления социально-экономической системой, то возможна его классификация по основаниям: предмет управляющего воздействия и расширение базовой модели – см. выше. Кроме того, специфическим именно для ОУП являются следующие три существенных свойства принимаемых решений (ПР): *время* (момент принятия решений); *содержание* (суть и эффективность принимаемых решений); *согласованность* (принимаемых решений с интересами и предпочтениями участников проекта).

В таблице 2 приведено соответствие между известными механизмами управления (которые сгруппированы по функциям: планирование, организация, мотивация и контроль, и для которых указаны ссылки на работы, содержащие их описание), и перечисленными тремя свойствами (плюс, стоящий в некоторой ячейке, означает, что механизм, соответствующий строке, в относительно существенной степени учитывает свойство, соответствующее столбцу; точка – что в меньшей степени; минус – практически не учитывает).

Таблица 2

Механизмы управления и свойства решений
по оперативному управлению проектами

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ		**Свойства решений**		
		Время	**Содер-жание**	**Согласо-ванность**
Механизмы планирования	Механизмы распределения ресурса [5,11,22]	–	+	·
	Механизмы активной экспертизы [11,21,22,79]	–	+	–
	Механизмы внутренних цен [21,92]	–	+	+
	Конкурсные механизмы [11,21]	–	+	–
	Механизмы обмена [54]	–	+	·
Механизмы организации	Механизмы смешанного финансирования [22,55]	·	+	·
	Противозатратные механизмы [11,21,92]	·	+	·
	Механизмы «затраты-эффект» [1,15,16,21]	+	+	–
	Механизмы агрегирования [4,9,51,69]	·	+	–
	Механизмы самоокупаемости [13,16,22]	·	+	–
	Механизмы выбора ассортимента [6,21]	–	+	–
	Механизмы закупок [6,7]	·	+	–
	Механизмы оптимизации обменных производственных схем [15]	·	+	–
	Механизмы оптимизации производственного и коммерческого циклов [15]	·	+	·
	Механизмы оптимизации структуры [29,40,69,70]	+	+	·
	Механизмы назначения [22,55]	·	+	·

Механизмы стимулирования	Механизмы стимулирования за индивидуальные результаты [71]	+	·	+
	Механизмы стимулирования за результаты коллективной деятельности [71,77]	·	·	+
	Механизмы унифицированного стимулирования [47,69,71]	·	·	+
	Механизмы «бригадной» оплаты труда [71,92]	·	·	+
	Механизмы стимулирования в матричных структурах управления [40,47,78]	·	+	+
Механизмы контроля	Механизмы комплексного оценивания [1,2,22,24,55]	+	+	–
	Механизмы согласия [22,55]	–	·	+
	Многоканальные механизмы [11,22]	+	+	·
	Механизмы опережающего самоконтроля [8,22]	+	·	+
	Механизмы страхования [12,16,22]	+	·	+
	Компенсационные механизмы [8,22]	+	·	+

Выше были выделены три существенных свойства решений, принимаемых при ОУП: время (момент принятия решений), содержание (суть и эффективность принимаемых решений) и согласованность (принимаемых решений с интересами и предпочтениями участников проекта). В таблице 3 приведено соответствие между моделями принятия решений, рассматриваемыми ниже, и перечисленными тремя свойствами (плюс, стоящий в некоторой ячейке, означает, что модель, соответствующая строке, в относительно существенной степени учитывает свойство, соответствующее столбцу; точка – что в меньшей степени).

Таблица 3

Модели и свойства решений по ОУП

Модель принятия решений	**Свойства принимаемых решений**		
	Время	Содер-жание	Согласо-ванность
Дополнительные соглашения	·	+	+
Продолжительность проекта	+	+	·
Шкалы оплаты	+	·	·
Распределенное финансирование	·	·	+
Типовые решения	+	+	·
Точки контроля	+	+	·

Перейдем к систематическому описанию моделей оперативного управления проектами. Для этого сначала рассмотрим два известных из литературы класса механизмов, а затем во второй части настоящей работы изложим оригинальные результаты.

1.4. МЕХАНИЗМЫ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО САМОКОНТРОЛЯ

При отклонении хода реализации проекта от запланированного, руководителю проекта – центру – желательно как можно раньше иметь соответствующую информацию, с тем, чтобы своевременно принять меры. Механизмы, стимулирующие возможно более раннее информирование об отклонениях от плана, называются *механизмами опережающего самоконтроля* [22]. Основная идея таких механизмов заключается в том, что наказание исполнителя работ по проекту – агента – при отклонении хода проекта от запланированного меньше, если он своевременно сообщит об отклонениях, что позволит центру либо провести компенсационные мероприятия, либо скорректировать план.

Рассмотрим простую модель с механизмом опережающего самоконтроля. Обозначим x – плановый объем работ в периоде T, y – фактический выполненный объем работ по проекту (случайная величина), $F_t(y)$ – функция распределения y в рассматриваемый момент $t < T$ (T – планируемый период). Пусть в момент t агент имеет право скорректировать план x. Обозначим v_t – скорректированный план, $x_t(v_t - x)$ – штраф за корректировку плана. При невыполнении плана в момент T агент штрафуется на величину

$$(1)\quad c\left(y,v_t\right)=\begin{cases} a\left(v_t - y\right), v_t \geq y \\ b\left(y - v_t\right), v_t \leq y \end{cases}.$$

Наконец, при выполнении объема работ y агент получает оплату $l\,y$ (будем считать без ограничения общности, что $l = 1$). Окончательно интересы агента в момент корректировки плана описываются выражением:

$$(2)\quad f\left(x,v_t,y\right)= y - c\left(v_t,y\right)-x_t\left(v_t - x\right).$$

Найдем максимум математического ожидания этой величины, предполагая, что

$$(3)\quad x_t\left(z_t\right)=\begin{cases} g\ z_t \dfrac{t}{T},\ z_t \geq 0 \\ -\Theta z_t \dfrac{t}{T},\ z_t \leq 0 \end{cases}.$$

Условия оптимальности оценки v_t имеют вид:

$$(4)\quad \begin{cases} F_t\left(v_t\right)=\dfrac{b - g\dfrac{t}{T}}{a+b},\ \text{если } F_t\left(x\right)<\dfrac{b - g\dfrac{t}{T}}{a+b} \\ F_t\left(v_t\right)=\dfrac{b + g\dfrac{t}{T}}{a+b},\ \text{если } F_t\left(x\right)>\dfrac{b + g\dfrac{t}{T}}{a+b} \\ v_t = x,\ \text{если } \dfrac{b - g\dfrac{t}{T}}{a+b}\leq F_t\left(x\right)\leq\dfrac{b + \Theta\dfrac{t}{T}}{a+b} \end{cases}.$$

Здесь мы учитываем, что в начальный момент $t = 0$ агент принимает на себя объем работ x, обеспечивающий максимум ожидаемой величины его дохода $y - c\left(x,y\right)$, то есть, удовлетворяющий условию $F_0(x)=\dfrac{b}{a+b}$.

Проведем анализ полученного результата. Во-первых, при небольшом изменении $F_t(y)$ по сравнению с $F(y)$ корректировка плана не производится, поскольку это невыгодно агенту. Заметим, что это невыгодно и центру, поскольку небольшие отклонения могут быть ликвидированы в дальнейшем. При больших изменениях (отклонении $F_t(y)$ от $F(y)$) производится корректировка плана. При этом, чем позже будет произведена корректировка, тем больше штраф за нее.

Важно отметить, что допущение корректировки плана не влияет на выбор плана x в начале периода.

Переходя к рассмотрению случая нескольких корректировок в моменты $t_1, t_2, \ldots, t_s$ заметим, что для рассматриваемой кусочно-линейной функции штрафа решение о корректировке плана в любой момент времени принимается на основе выражений (3)-(4), как если бы мы имели дело с единственной корректировкой.

При использовании выпуклых функций штрафа за корректировку следует учитывать эффект растягивания корректировки на несколько моментов времени. Действительно, боясь большого штрафа за корректировку (при выпуклых функциях штрафа), агент может провести несколько небольших корректировок в последовательные моменты времени, выигрывая на сумме штрафов.

Применение вогнутых функций штрафа за корректировку имеет свои минусы. При таких функциях штрафа агенту нелегко определить оптимальную величину корректировки плана. Поэтому в механизмах опережающего самоконтроля целесообразно применять кусочно-линейные функции штрафа (1).

Очевидно, что механизмы опережающего самоконтроля могут применяться и в системах контроля сроков реализации операций проекта, а также других плановых показателей.

1.5. КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Влияние случайных и неопределенных факторов во многих случаях приводит к нарушению запланированных сроков завершения различных этапов проекта. Для таких случаев руководитель проекта – центр – предусматривает финансовые и материальные резервы и соответствующие компенсационные меры (мероприятия). Механизмы, реализующие компенсационные мероприятия с целью ликвидации срывов, будем называть *компенсационными механизмами* [22]. Такие механизмы значительно снижают проектные риски. Рассмотрим пример компенсационного механизма, направленного на ликвидацию (компенсацию) отставания в сроках реализации проекта.

Рассмотрим для примера сетевой график проекта, приведенный на рисунке 4. Пусть в результате непредвиденных срывов ряда операций срок реализации проекта (длина критического пути $T_{кр} = 17$) превышает требуемый на некоторую величину $D = 4$. Для ликвидации отставания выделяется дополнительное финансирование. Задача центра – обеспечить требуемые сроки реализации проекта с минимальной величиной средств на стимулирование исполнителей работ по проекту – агентов.

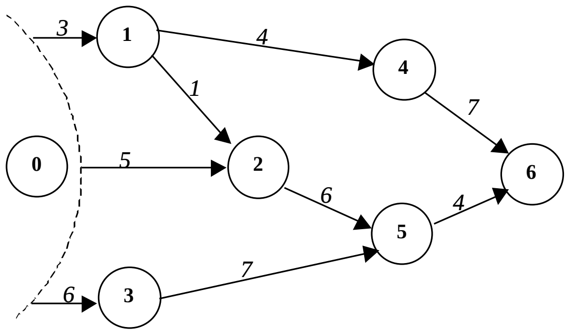

Рис. 4. Пример сетевого графика проекта

Компенсационный механизм работает в данном случае следующим образом. Объявляется, что за каждый день (неделю, месяц) сокращения длительности операции назначается дополнительное стимулирование l (см. также раздел 2.2). Каждый агент сообщает руководителю проекта величину $t_i(l)$ сокращения продолжительности соответствующей (выполняемой им) операции при различных значениях величины l. У руководителя проекта получается следующая таблица 4.

Таблица 4

Параметры модели компенсационного механизма

№ операции l	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
(0-1)	0	12	1	2	2	2
(0-2)	0	0	1	1	2	2
(0-3)	0	0	1	2	2	2
(1-2)	0	1	1	2	2	2
(1-4)	1	1	2	2	2	3
(2-5)	0	0	1	1	1	1
(3-5)	1	1	2	2	2	2
(4-6)	0	1	1	1	1	2
(5-6)	0	0	0	1	1	1

Процедура принятия решения заключается в определении минимального l, при котором срок реализации проекта будет не более требуемого. В нашем примере при $D = 4$ это $l = 4$. Легко проверить, что если при $l = 4$ всем агентам сократить продолжительности операций на указанные в таблице величины, то длина критического пути будет равна 12, что меньше требуемой. В случае неоднозначности минимизируется суммарное сокращение, то есть определяются новые продолжительности операций $t_i' = t_i - \Delta_i$, так чтобы $\Theta = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i$ была максимальной при условии, что $\Delta_i \le t_i(l)$. Это определяется требованием минимизации величины дополнительного стимулирования, равного l. В нашем примере минимум Q достигается при сокращении продолжительностей операций (4-6), (5-6) и (0-3) на единицу и операции (3-5) на два, $Q = 5$. Дополнительное стимулирование составит l $Q = 20$.

Задача минимизации Q является частным случаем известной задачи оптимизации сети по стоимости [4-7, 9], для решения которой существуют эффективные алгоритмы.

Для исследования свойств описанного механизма рассмотрим простую аналитическую модель. Обозначим $j_i(t_i)$ – измеренные в денежном выражении дополнительные усилия i-го агента по сокращению продолжительности операции на величину t_i, в том смысле, что интерес агента определяется разностью дополнительного стимулирования $l\ t_i$ и усилий $j_i(t_i)$: $l\ t_i - j_i(t_i)$.

Примем для упрощения вычислений, что $j_i(t_i) = \frac{1}{2r_i} t_i^2$. Очевидно, что при заданной величине l агенту выгодна величина сокращения длительности операции, максимизирующая эту разность. Максимум целевой функции достигается при $t_i(l) = l\ r_i$. Примем, что агент сообщает оценку s_i параметра r_i. Пусть сетевой график представляет последовательную цепочку операций. Тогда из условия $\sum_{i=1}^{n} t_i(l) = \Delta$ определяем: $l = \frac{\Delta}{S}$, где $S = \sum_i s_i$.

Покажем, что агент проигрывает, если он сообщает искаженные сведения о величине r_i, то есть s_i ¹ r_i. Тогда значение его целевой функции будет равно $l^2 s_i - \frac{1}{2r_i} l^2 s_i^2 = l^2 s_i \left(1 - \frac{s_i}{2r_i}\right)$. Легко видеть, что максимум этого выражения при фиксированном l достигается при $s_i = r_i$. Данный вывод справедлив при весьма широких предположениях о виде функций $j_i(t_i)$. Более того, если функции $j_i(t_i)$ являются выпуклыми, то описанный механизм минимизирует суммарные дополнительные усилия всех агентов на сокращение продолжительности проекта. Свойство выпуклости представляется вполне естественным, поскольку, как правило, каждая следующая единица сокращения продолжительности операции дается с б*о*льшим трудом. В предыдущих рассуждениях мы не учли, что величина l сама зависит от оценок $\{s_i\}$. Однако, при достаточно большом числе агентов, влияние оценки отдельного агента на величину l мало, и им можно пренебречь – см. описание гипотезы слабого влияния в механизмах внутренних цен выше.

Еще одним положительным свойством описанного механизма являются минимальные требования к системе контроля за сроками реализации, поскольку агенты сами заинтересованы в завершении операции в установленные сроки. Если центр применяет достаточно «жесткую» систему контроля с сильными санкциями при срыве заданных сроков выполнения операций, то описанный механизм можно улучшить (в смысле уменьшения величины дополнительного стимулирования), организовав конкурс между агентами. Для этого необходимо установить l так, чтобы продолжительность проекта была немного меньше требуемой (при продолжительностях операций, измененных на $t_i(l)$). Это дает центру определенную свободу выбора агентов, для которых сокращается продолжительность операции (и которые получают дополнительное стимулирование). Если в первую очередь в качестве претендентов на сокращение продолжительности операций выбираются агенты с максимальными $t_i(l)$, то такой принцип выбора победителей конкурса приводит к заинтересованности агентов повышать $t_i(l)$.

ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

В настоящей главе описывается комплекс оригинальных теоретико-игровых и оптимизационных моделей и методов оперативного управления проектами, позволяющий решать сформулированные в разделе 1.3 задачи. В том числе, рассматриваются: дополнительные соглашения, сокращение продолжительности проекта, шкалы оплаты, распределенное финансирование, типовые решения, точки контроля.

2.1. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СОГЛАШЕНИЯ

На практике распространены ситуации, когда взаимовыгодные для сторон параметры заключенного договора в ходе выполнения проекта становятся невыгодными в силу изменившихся обстоятельств, внешних условий, ошибок прогнозирования и планирования и т.д. Тогда у одной (или одновременно у обоих) сторон – заказчика и исполнителя работ по проекту – возникает желание изменить параметры договора – внести дополнительные соглашения. Такую ситуацию называют перезаключением договора (пересоглашением контракта). Рассмотрим модели перезаключения договора – внесения в него дополнительных соглашений.

Одноэлементная модель [60]. В соответствии с подходом, предложенным в [22], примем, что пересоглашение контракта происходит в том, и только в том случае, если каждому из участников системы (заказчику и всем исполнителям) новый контракт обеспечивает не меньшие значения полезностей (целевых функций), чем старый контракт. Иначе говоря, каждый из участников обладает правом вето: если при новом контракте он получает полезность строго меньше, чем при старом, то он имеет право блокировать пересоглашение, и старый контракт остается в силе. Отметим, что, так как заказчик выражает интересы системы в целом (эффективность управления определяется через его целевую функцию), то приведенное выше условие пересоглашения означает следующее: если пересоглашение произошло, то эффективность управления возросла (не уменьшилась). Таким образом, задача исследования условий пересоглашения контракта свелась к задаче определения условий того, что с учетом вновь поступившей информации возможно синтезировать контракт (найти параметры нового договора), обеспечивающий всем участникам не меньшие полезности.

В литературе по теории контрактов различают контракты с обязательствами и контракты без обязательств (см. подробный обзор современных моделей пересоглашения контрактов и ссылки в [74]). В первом случае, если кто-либо из участников нарушает условия контракта, то на него накладываются достаточно сильные штрафы (сильные настолько, что нарушение становится невыгодным). Поэтому в контрактах с обязательствами при рассмотрении механизмов пересоглашения необходимо сравнивать две ситуации – когда заказчик и исполнитель следуют условиям первоначального контракта и когда они (оба!) следуют условиям нового контракта. В контрактах без обязательств участники могут нарушать условия первоначального контракта, выбирая стратегии, которые являются оптимальными с учетом вновь поступившей информации. Ниже мы ограничимся рассмотрением контрактов с обязательствами.

Пусть функции дохода заказчика и затрат исполнителя зависят от неопределенных параметров – соответственно l ³ 0 и $r > 0$: $H(y, l)$ и $c(y, r)$. Содержательно l может интерпретироваться как внешняя цена продукции, производимой исполнителем, r – как эффективность деятельности исполнителя. Допустим, что " l ³ 0 $H(0, l) = 0$ и " $r > 0$ $c(y, r) = 0$.

Таким образом,

(1) $F(s({}^{x}), y, l) = H(y, l) - s(y)$,

(2) $f(s({}^{x}), y, r) = s(y) - c(y, r)$,

где $s(y)$ – вознаграждение, выплачиваемое заказчиком исполнителю в зависимости от действия y Î A последнего.

Пусть договор заключался при значениях l_0 и r_0 (фактических или прогнозируемых). Вычислим оптимальное с точки зрения заказчика действие исполнителя:

(3) $x^*(l_0, r_0) = \arg \max_{y \in A} [H(y, l_0) - c(y, r_0)]$.

Тогда оптимальные параметры исходного договора[1] (в рамках компенсаторной системы стимулирования [60, 71]) – действие исполнителя $x^*(l_0, r_0)$ и вознаграждение $c(x^*(l_0, r_0), r_0)$. В рамках исходного договора полезность заказчика равна

(4) $D(l_0, r_0) = H(x^*(l_0, r_0), l_0) – c(x^*(l_0, r_0), r_0)$,

а полезность исполнителя равна нулю (в силу принципа компенсации затрат [71]).

Фактические значения параметров l и r могут отличаться от прогнозируемых l_0 и r_0, что может приводить к тому, что фактические полезности заказчика и исполнителя могут отличаться от прогнозируемых.

Определим следующие величины:

(5) $D(l_0, l, r_0, r) = H(x^*(l_0, r_0), l) – c(x^*(l_0, r_0), r_0)$,

(6) $d(l_0, l, r_0, r) = c(x^*(l_0, r_0), r_0) – c(x^*(l_0, r_0), r)$,

(7) $D(l, r) = H(x^*(l, r), l) – c(x^*(l, r), r)$.

Выражение (5) определяет полезность заказчика при изменившихся условиях в рамках исходного договора, выражение (6) – полезность исполнителя при изменившихся условиях в рамках исходного договора, выражение (7) – полезность исполнителя.

Предположим, что функция затрат исполнителя монотонно убывает с ростом параметра r. Рассмотрим два случая.

В первом случае $r < r_0$. Тогда полезность исполнителя $d(l_0, l, r_0, r) < 0$, и для него пересмотр условий договора выгоден. Для заказчика заключение договора с параметрами $(x^*(l, r)$; $c(x^*(l, r), r))$ выгодно, если выполнено следующее неравенство:

(8) $D(l, r)$ ³ $D(l_0, l, r_0, r)$.

Во втором случае $r > r_0$. Тогда полезность исполнителя $d(l_0, l, r_0, r) > 0$, и для него пересмотр условий договора выгоден только если он при новых условиях договора получит полезность не менее $d(l_0, l, r_0, r)$. Тогда условие выгодности перезаключения договора для заказчика можно записать в виде:

(9) $D(l, r) – d(l_0, l, r_0, r)$ ³ $D(l_0, l, r_0, r)$.

---

[1] *Напомним, что в рамках рассматриваемых теоретико-игровых моделей контракт (договор) определяется парой – «действие исполнителя»; «вознаграждение со стороны заказчика»).*

В [60] доказано следующее утверждение: если функция затрат исполнителя монотонно убывает с ростом параметра r, то при $r < r_0$ условием пересогласшения является выполнение неравенства (8), а при $r > r_0$ условием пересогласшения является выполнение неравенства (9).

<u>Пример 1 [60].</u> Пусть функция дохода заказчика равна $H(y,\ l) = l\ y,\ l \geq 0$, а функция затрат исполнителя: $c(y, r) = y^2 / 2\ r$, $r > 0$.

Тогда $y_0 = l_0\ r_0$ – оптимальное с точки зрения заказчика действие исполнителя при параметрах (l_0; r_0). Платеж в исходном договоре равен $(l_0)^2\ r_0 / 2$. Заказчик при этом рассчитывает получить полезность $F_0(l_0; r_0) = (l_0)^2\ r_0 / 2$, а исполнителю гарантируется нулевая полезность.

Если значения параметров оказываются равными (l; r), то при $r \geq r_0$ в рамках исходного договора заказчик получает полезность $F(l_0;\ l;\ r_0;\ r) = l_0\ r_0\ (l - l_0 / 2)$, а исполнитель – $f(l_0;\ l;\ r_0;\ r) = (l_0)^2\ r_0\ (r - r_0) / 2\ r$. Если же $r < r_0$, то в рамках исходного договора полезность исполнителя отрицательна, и он откажет работать, выбрав нулевое действие.

Если заключается новый контракт с действием $y = l\ r$ и платежом $l^2\ r / 2$, то полезность заказчика равна $F(l;\ r) = l^2\ r / 2$, а полезность исполнителя – нулю.

Рассмотрим возможные варианты. Если $r < r_0$, то исполнитель безразличен к перезаключению контракта, так как при любых значениях параметра l он получает нулевую полезность. Центру перезаключение выгодно, если выполнено следующее условие: $F(l;\ r) \geq F(l_0;\ l;\ r_0;\ r)$, то есть должно иметь место $l^2\ r - 2\ l\ l_0\ r_0 + r_0\ (l_0)^2 \geq 0$.

Если $r < r_0$, то $f(l_0;\ l;\ r_0;\ r) = (l_0)^2\ r_0\ (r - r_0) / 2\ r \leq 0$, и исполнитель, будет выбирать нулевое действие, если центр не предложит ему договор, в котором пообещает вознаграждение $l^2\ r / 2 + (l_0)^2\ r_0\ (r - r_0) / 2\ r$ за выбор действия $y = l\ r$. Легко проверить, что сделать такое предложение заказчику всегда выгодно (так как $F(l_0;\ l;\ r_0;\ r) = l_0\ r_0\ (l - l_0 / 2) \geq l^2\ r / 2 - (l_0)^2\ r_0\ (r - r_0) / 2\ r$).

Итак, перезаключение договора произойдет, так как оно будет выгодно обеим сторонам, если при $r < r_0$ выполнено условие

$$\lambda^2 r - 2\,\lambda\,\lambda_0 r_0 + r_0 (\lambda_0)^2 \geq 0. \bullet$$

Таким образом, мы привели известные результаты исследования условий пересоглашения договоров (заключения дополнительных соглашений) в системе с одним заказчиком и одним исполнителем. Полученные результаты свидетельствуют, что, если пересоглашение возможно, то следует пересматривать условия контракта. Анализ показывает, что пересоглашение эффективно в широком классе систем, поэтому его использование на практике оправданно и целесообразно.

Рассмотрим обобщение данной модели на случай многоэлементной системы.

Многоэлементная модель. Пусть целевые функции заказчика и n исполнителей, участвующих в проекте, имеют вид:

(10) $F(\sigma(\cdot), y, \lambda) = H(y, \lambda) - \sum_{i \in N} \sigma_i(y)$,

(11) $f(\sigma(\cdot), y, r) = \sigma_i(y) - c_i(y, r_i),\ i \in N$,

где $\sigma_i(y)$ – вознаграждение, выплачиваемое заказчиком i-му исполнителю в зависимости от вектора действий $y = (y_1, y_2, \ldots, y_n) \in A' = \prod_{i \in N} A_i$ всех агентов, $N = \{1, 2, \ldots, n\}$ – множество агентов (исполнителей).

Пусть договор заключался при значениях λ_0 и $r_0 = (r_{10}, r_{20}, \ldots, r_{n0})$, где r_i – тип i-го агента.

В силу результатов, полученных в [77], оптимальным договором будет компенсаторная система стимулирования, которая с учетом принципа декомпозиции игры агентов позволяет вычислить оптимальный с точки зрения заказчика вектор действий исполнителей:

(12) $x^*(\lambda_0, r_0) = \arg \max_{y \in A'} [H(y, \lambda_0) - \sum_{i \in N} c_i(y, r_{i0})]$.

Оптимальные параметры исходного договора – вектор действий исполнителей $x^*(\lambda_0, r_0) \in A'$ и вектор вознаграждений вознаграждение $c_i(x^*(\lambda_0, r_0), r_{i0})$, выплачиваемых в случае выполнения условий договора. В рамках исходного договора полезность заказчика равна

$$(13)\ D(l_0, r_0) = H(x^*(l_0, r_0),\ l_0) - \sum_{i \in N} c_i(x^*(l_0, r_0), r_{i0}),$$

а полезности исполнителей равны нулю.

Фактические значения параметров l и r могут отличаться от прогнозируемых l_0 и r_0, что может приводить к тому, что фактические полезности заказчика и исполнителей могут отличаться от прогнозируемых.

Определим следующие величины:

$$(14)\ D(l_0,\ l, r_0, r) = H(x^*(l_0, r_0),\ l) - \sum_{i \in N} c_i(x^*(l_0, r_0), r_{i0}),$$

$$(15)\ d_i(l_0,\ l, r_0, r) = c_i(x^*(l_0, r_0), r_{i0}) - c_i(x^*(l_0, r_0), r_i),\ i \in N,$$

$$(16)\ D(l, r) = H(x^*(l, r),\ l) - \sum_{i \in N} c_i(x^*(l, r), r_i).$$

Выражение (14) определяет полезность заказчика при изменившихся условиях в рамках исходного договора, выражение (15) – полезность i-го исполнителя при изменившихся условиях в рамках исходного договора, выражение (16) – полезность заказчика в рамках нового договора.

Из (13)-(16) получаем, что, так как использование стимулирования означает возможность трансферта полезности, то условием перезаключения договора будет следующее.

Утверждение 1. Перезаключение договора произойдет, если

$$H(x^*(l_0, r_0),\ l_0) - H(x^*(l, r),\ l) \leq$$

$$\leq 2 \sum_{i \in N} \{c_i(x^*(l_0, r_0), r_{i0}) - c_i(x^*(l_0, r_0), r_i)\}.$$

Содержательно, новый договор будет заключен, если он более эффективен (по Парето – с точки зрения значения суммы целевых функций всех участников), чем старый договор.

2.2. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА

Рассмотрим задачу оперативного управления продолжительностью проекта. В качестве основного выберем такой показатель как время завершения проекта. Если в процессе реализации проекта оказывается, что прогнозируемое время его завершения отличается от планового, то возникает необходимость в оперативном управлении – дополнительных мерах по сокращению продолжительности выполнения незавершенной части проекта. Реализация этих мер требует соответствующих затрат, то есть возникает задача определения оптимальных коррекционных воздействий, причем критерием эффективности, как правило, выступают финансовые показатели, зависящие как от продолжительности проекта (санкции и штрафы за задержку сроков завершения и т.д.), так и от затрат на выполнение проекта.

При решении задачи управления центр должен учитывать активность агентов[1] – активных элементов (АЭ), то есть вознаграждение исполнителя в зависимости от сокращения им сроков должно быть согласовано с его предпочтениями. В теории активных систем задачи согласования предпочтений и интересов изучаются при синтезе механизмов стимулирования [71], поэтому рассмотрим постановку задачи стимулирования исполнителей, в которой критерием эффективности являются финансовые показатели центра, зависящие в свою очередь от продолжительности проекта.

Последовательность изложения материала настоящего раздела следующая. Сначала рассматривается задача стимулирования в детерминированной АС, то есть в АС, функционирующей в условиях полной информированности о существенных внешних и внутренних параметрах. Затем исследуются более сложные модели, учитывающие возможность наличия неопределенности.

2.2.1. Детерминированная модель

Будем считать, что в ходе реализации проекта стали известны плановое T_0 и прогнозируемое T время завершения проекта (ограничимся наиболее распространенным на практике случаем T ³ T_0). Предположим, что в случае задержки выполнения проекта центр выплачивает, например, заказчику или вышестоящей организации, штрафы $c(t)$, t ³ T_0 (в частном случае, например, штрафы могут быть линейны: $c(t) = c_0\, t$). Исполнитель имеет возможность сократить срок реализации проекта (относительно прогнозируемого) или, что то же самое – сократить продолжительность одной или нескольких критических операций, что требует от него определен-

[1] *В настоящей работе термины "агент", исполнитель" и "активный элемент" употребляются как синонимы.*

ных затрат $c(y)$, где y Î A – время, на которое сокращается продолжительность проекта. Переменная y может интерпретироваться как действие АЭ – выбираемая им стратегия.

Для того чтобы побудить АЭ к выбору некоторой стратегии центр должен использовать соответствующую систему стимулирования, то есть назначить зависимость $s(y)$ вознаграждения АЭ от выбираемых им действий. Эта зависимость $s(\cdot)$ Î M называется функцией стимулирования (M – множество допустимых функций стимулирования).

Интересы участников проекта (активной системы) выражены их целевыми функциями. Будем считать, что рациональность поведения участников проекта заключается в стремлении к экстремизации целевых функций. Более подробно, предположим, что центр заинтересован в том, чтобы минимизировать свои выплаты (суммарные выплаты по штрафам и стимулированию АЭ), то есть целевая функция центра $F(s(\cdot), y)$ имеет вид:

(1) $F(s(\cdot), y) = s(y) + c(T - T_0 - y)$.

Целевая функция активного элемента $f(s(\cdot), y)$ представляет собой разность между стимулированием и затратами:

(2) $f(s(\cdot), y) = s(y) - c(y)$.

Введем следующие предположения: $A = [0; T - T_0]$; M – множество кусочно-непрерывных положительнозначных функций; $c(y)$ – положительнозначная, монотонно возрастающая, строго выпуклая, непрерывно дифференцируемая функция, такая, что $c(0) = 0$.

В ходе всего изложения материала настоящего раздела, если не будет оговорено особо, будем предполагать, что выполнена гипотеза благожелательности (ГБ) – из множества реализуемых действий[1] $P(s) = \mathrm{Arg}\max\limits_{y \in A} f(y, s)$ активный элемент выбирает действия, наиболее благоприятные для центра.

Последовательность функционирования следующая: центр сообщает АЭ функцию стимулирования, после чего АЭ при известной функции стимулирования выбирает свое действие. Следовательно, задача центра заключается в выборе такой допустимой

---

[1] *Реализуемым некоторой системой стимулирования действием АЭ называется такое его допустимое действие, на котором достигается максимум его целевой функции.*

системы стимулирования, которая минимизировала бы значение его целевой функции при условии, что АЭ выбирает допустимое действие, максимизирующее его собственную целевую функцию:

$$(3)\quad \begin{cases} \Phi(s\,(y^*),\, y^*) \to \min\limits_{s \in M} \\ y^* \in \operatorname{Arg} \max\limits_{y \in [0;T-T_0]} f(y) \end{cases}.$$

Задача (3) является игрой типа Γ_2 (в терминологии теории иерархических игр [35, 41]) и может рассматриваться как детерминированная задача стимулирования второго рода (в терминологии теории активных систем [72]). Ее решение дается следующим выражением[1]: оптимальное решение $s^*(y)$ задачи (3) имеет вид:

$$(4)\quad s^*(y) = \begin{cases} c(y^*),\ y = y^* \\ 0, \qquad y \neq y^* \end{cases},$$

где оптимальное действие АЭ y^* определяется следующим выражением:

$$(5)\quad y^* = \arg \min\limits_{y \in [0, T-T_0]} [c(y) + c(T - T_0 - y)].$$

<u>Пример 2.</u> В частном случае, когда штрафы центра линейны: $c(t) = c_0\, t$, действие (5) единственно (так как штрафы линейны, а функция затрат АЭ строго выпукла). Следовательно, на отрезке $[0;\ T - T_0]$ функция $\{c(y) - c_0\, y\}$ достигает единственного минимума. Более того, оптимальное решение оказывается устойчивым по параметрам модели в следующем смысле.

Обозначим $x = c'^{-1}(c_0)$, где $c'^{-1}(\cdot)$ – функция, обратная производной функции затрат АЭ. Тогда оптимальное решение задачи (3) можно записать в виде:

$$(6)\quad y^*(x) = \begin{cases} T - T_0,\ T \le T_0 + x \\ x, \qquad\quad T \ge T_0 + x \end{cases}.$$

Содержательно, в случае линейных штрафов центру не обязательно знать «точную» оценку реального времени T завершения проекта (неизвестного и приближенно оцениваемого в ходе его

---

[1] *В теории активных систем существует семейство теорем, дающих оптимальное решение задачи стимулирования в различных моделях АС. Поэтому* (4) *может рассматриваться как результат применения этой общей методологии к конкретной модели оперативного управления продолжительностью проекта.*

реализации), если оптимистичная оценка задержки $T - T_0$ времени завершения проекта превышает величину x, которая зависит от внешних штрафов и функции затрат АЭ, то оптимальное с точки зрения внешних выплат центра сокращение продолжительности проекта «не зависит» от оценки будущей его продолжительности. •

Итак, мы рассмотрели задачу оптимизации продолжительности проекта за счет использования механизмов стимулирования в одноэлементной активной системе [51]. Перейдем к описанию многоэлементного случая.

Пусть имеется многоэлементная АС с n ³ 1 активными элементами, каждый из которых отвечает за соответствующую операцию (комплекс которых и составляет проект) и может сокращать ее продолжительность, независимо от продолжительности других операций. Обозначим y_i ³ 0 – время сокращения i-ой операции, i Î I, где $I = \{1, 2, \ldots, n\}$ – множество АЭ, $c_i(y)$ – затраты i-го АЭ, зависящие в общем случае от действий $y = (y_1, y_2, \ldots, y_3)$ всех АЭ.

Время сокращения продолжительности проекта DT зависит от порядка выполнения и технологической связи операций и является функцией от сокращений каждой из операций (как критических, так и околокритических), то есть: $DT = Y(y)$. В зависимости от технологической взаимосвязи показателей операций возможны различные зависимости $Y(x)$. Например, если операции выполняются последовательно, то $DT = \sum_{i \in I} y_i$, если параллельно, то $DT = \min_{i \in I} y_i$ и т.д. Получили многоэлементную активную систему с сильно связанными элементами [77].

В силу принципа компенсации затрат [71] и принципа декомпозиции игры агентов [77], получаем, что справедливо следующее утверждение.

<u>Утверждение 2.</u> При использовании оптимальной системы стимулирования целевая функция центра имеет вид:

$$F(y) = c(T - T_0 - Y(y)) + \sum_{i \in I} c_i(y),$$

а задача сокращения продолжительности проекта заключается в поиске такого допустимого вектора y действий АЭ, который минимизировал бы эту целевую функцию.

Задача $F(y) \to \min\limits_{y \in A'}$ является стандартной задачей условной оптимизации.

Возможен и другой подход: вычислим минимальные затраты центра на стимулирование по сокращению продолжительности проекта на Y: $h(Y) = \min\limits_{y \in \{z \in A' | Y(z) = Y\}} \sum\limits_{i \in I} c_i(z)$. Тогда задача управления, в силу результатов исследования систем с агрегированием информации [42, 77], сведется к следующей:

$$c(T - T_0 - Y) + h(Y) \to \min_{Y \in [0, T - T_0]}.$$

В качестве ограничения множества допустимых действий АЭ может выступать, например, бюджетное ограничение: если фонд оперативного управления центра ограничен величиной R, то, очевидно, допустимыми будут такие действия, для которых имеет место: $A' = \{y \in \Re^+_n \mid \sum\limits_{i \in I} c_i(y) \le R\}$.

Итак, задача оперативного управления продолжительностью проекта в случае многоэлементной АС с сильно связанными АЭ сведена к задаче поиска оптимальных значений действий АЭ. Рассмотрев детерминированную модель, перейдем к рассмотрению задач оперативного управления продолжительностью проекта в условиях неопределенности.

2.2.2. Интервальная неопределенность

В рамках модели, рассмотренной в предыдущем подразделе, предположим, что реальное сокращение $z \in A_0 = A = [0; +\infty)$ продолжительности проекта зависит от вектора действий АЭ и от неопределенного параметра – состояния природы. Будем считать, что, выбирая свои стратегии, участники проекта имеют информацию лишь об интервале возможных значений: $z \in Z(y)$. Кроме того, предположим, что действия, выбираемые АЭ, не наблюдаются центром, которому становится известен лишь результат деятельности. Поэтому стимулирование АЭ центром уже не может (как в детерминированном случае) основываться на действиях АЭ, а должно зависеть от неопределенной величины – результата деятельности.

Целевая функция i-го АЭ равна: $f_i(s_i, y_i, z) = s_i(z) - c_i(y)$. Устраняя интервальную неопределенность, то есть, применяя метод максимального гарантированного результата (МГР), получим, что гарантированное значение целевой функции АЭ равно:

(7) $f_{\Gamma i}(s_i, y_i) = \min\limits_{z \in Z(y)} s_i(z) - c_i(y)$.

Если целевая функция центра зависит от фактического сокращения продолжительности проекта z Î A_0, то ее гарантированное значение равно:

(8) $F_\Gamma(s, y) = \max\limits_{z \in Z(y)} F(z, s) = \max\limits_{z \in Z(y)} \{ \sum\limits_{i \in I} s_i(z) + c(T - T_0 - z)\}$.

Итак, задача управления имеет вид:

(9) $F_\Gamma(s, y^*)$ ® min, y^* Î $E_N(s(\cdot))$,

где $E_N(s(\cdot))$ – множество равновесий Нэша игры агентов при заданной системе стимулирования.

Решение задачи (9) в силу принципов компенсации затрат и декомпозиции игры агентов [42, 77] имеет следующий вид.

Утверждение 3. Система стимулирования

(10) $s_i(y^*, z) = \begin{cases} c_i(y^*), & z \in Z(y^*) \\ 0, & z \notin Z(y^*) \end{cases}$,

реализует вектор y^* действий АЭ, оптимальное значение которого определяется следующим выражением:

(11) $y^* = \arg \min\limits_{y \in A'} \max\limits_{z \in Z(y)} \{ \sum\limits_{i \in I} s_i(y^*, z) + c(T - T_0 - z)\}$.

2.2.3. Сообщение информации

Рассмотрим задачу оптимального согласованного планирования мероприятий по сокращению продолжительности проекта в условиях, когда возможности исполнителей не известны достоверно центру. При этом возможно как устранение неопределенности методами, рассмотренными выше (см. утверждение 3), так и использование процедур планирования, в которых агенты сообщают центру информацию о неопределенных параметрах. Остановимся на исследовании свойств этих процедур более подробно.

Представим проект в виде сети, вершины которой соответствуют операциям, выполняемым отдельными исполнителями, а дуги отражают технологию. Обозначим t_i – продолжительность i-ой операции. Тогда продолжительность проекта определяется длиной максимального (критического) пути в сети [15].

Рассмотрим задачу сокращения продолжительности проекта на заданную величину D.

Опишем сначала частный случай, когда сеть представляет собой последовательную цепочку из n операций. Каждый агент – разрабатывает и представляет центру мероприятия по сокращению продолжительности производственного цикла. В агрегированном виде эти мероприятия можно описать зависимостью $c_i(t_i)$ затрат, требуемых на сокращение продолжительности операции на величину t_i. Рассмотрим два механизма решения поставленной задачи.

Первый механизм. План мероприятий по сокращению продолжительности проекта на величину D определяется в результате решения следующей задачи:

$$\sum_{i=1}^{n} c_i(t_i) \to \min,$$

при условии

$$\sum_{i=1}^{n} t_i = \Delta .$$

Пусть t_i^* – оптимальное решение этой задачи. Тогда i-ый агент получает плановое задание на сокращение продолжительности своей операции на t_i^* и ему обеспечивается финансирование соответствующих мероприятий в объеме $c_i(t_i^*)$.

Второй механизм. В этом механизме величина финансирования мероприятий по сокращению продолжительности проекта прямо пропорциональна величине t_i сокращения продолжительности операции, то есть $c_i = l\ t_i$, где l – величина финансирования, выделяемая на сокращение продолжительности проекта на единицу времени (см. также механизмы унифицированного стимулирования в [71]). Для определения плана мероприятий и величины l каждый АЭ представляет центру вариант сокращения продолжительности своей операции в зависимости от величины l. Обозначим $t_i = x_i(l)$ – предлагаемую i-ым АЭ величину сокращения i-ой операции при финансировании $l\ t_i$.

Центр определяет величину l и план сокращения продолжительности проекта из условия $\sum_{i=1}^{n} x_i(l) \geq \Delta$, то есть определяется минимальное l^*, удовлетворяющее этому условию. Далее АЭ i получает задание на сокращение продолжительности операции на величину $t_i^* = x_i(l^*)$ и соответствующее финансирование $l^* t_i^*$.

Для исследования сравнительной эффективности этих двух механизмов рассмотрим производственные функции $c_i(t_i)$ типа обобщенных функций Кобба-Дугласа (в [15] аналогичный результат получен для более частного вида функций затрат), то есть

$$c_i(t_i) = r_i\, j\left(\frac{t_i}{r_i}\right),\ i = \overline{1, n},\ a > 1,$$

где параметр r_i характеризует эффективность мероприятий i-го агента по снижению продолжительности соответствующей операции, а $j(x)$ – монотонная гладкая выпуклая функция.

Примем, что целевой функцией каждого АЭ является разность между тем объемом финансирования, которое он получает от центра на проведение мероприятий по сокращению продолжительности операции и объективно необходимой величиной средств на эти мероприятия.

Легко показать (по аналогии с тем, как это делается для подобных задач в [15, 69, 71]), что оба механизма обеспечивают одинаковое превышение выделяемых средств над объективно необходимыми, и в этом смысле являются эквивалентными по эффективности. Однако существенным преимуществом второго механизма является тот факт, что он стимулирует представление достоверных сведений о величине объективно требуемых объемов финансирования, то есть, является неманипулируемым.

Таким образом, анализ показал преимущества второго механизма, поскольку при том же объеме финансирования он обладает важным свойством – достоверности информации, поступающей от агентов. Поэтому рассмотрим второй механизм для случая произвольной сети.

Итак, пусть все агенты сообщили зависимости $t_i = x_i(l)$, $i = \overline{1,n}$. Обозначим T_0 – длину критического пути. Для решения задачи используем следующий <u>алгоритм:</u>

<u>1 шаг</u>. Определяем l_0 по формуле $l^* = j'\left(\frac{\Delta}{S}\right)$, где S – сумма оценок s_i операций критического пути, и полагаем $t_i^1 = t_i - x_i(l_0)$.

<u>2 шаг</u>. Определяем длину критического пути при продолжительностях соответствующих операций, равных t_i^1. Обозначим эту длину через T_1, а сам путь через m_1. Если $T_1 > T_0 - D$, то определяем новое значение l_1 по той же формуле, в которой $D = T(m_1) - T_0 + D$, где $T(m_1)$ – длина пути m_1 при начальных продолжительностях операций $\{t_i\}$, а S равно сумме оценок s_i агентов, составляющих путь m_1. Заметим, что $l_1 > l_0$. Находим критический путь m_2 и его длину $T(m_2)$ при продолжительностях операций $t_i^2 = t_i - x_i(l_2)$ и повторяем процедуру.

В силу конечности числа путей сети за конечное число шагов получим минимальное значение l^*, такое что длина критического пути в сети равна $(T_0 - D)$ при продолжительностях операций пути m_k, равных $t_i - x_i(l^*)$.

Теперь необходимо определить плановые задания t_i АЭ по сокращению продолжительности операций, имея в виду, что продолжительности операций должны удовлетворять условиям

$$t_i¢ = t_i - x_i(l^*) £ t_i - t_i £ t_i.$$

На этом этапе алгоритма критерием служит объем финансирования мероприятий, который равен $\sum_{i=1}^{n} l^* t_i$. Эта задача является частным случаем широко известной задачи оптимизации сети по стоимости, подробно рассмотренной в [4-7, 9, 19].

2.3. ШКАЛЫ ОПЛАТЫ

В настоящем разделе с точки зрения центра (руководителя проекта) и активных элементов (агентов – исполнителей работ по проектам) анализируются взаимные платежи и риски, вызванные возможностью невыполнения сторонами взятых на себя обязательств, а также ошибками прогнозирования и планирования.

В соответствии с моделью, предложенной в [37], при расчетах центра с АЭ размер оплаты, получаемой АЭ, зависит от процента выполнения работ. В качестве «процента выполнения», в частности, могут выступать показатели освоенного объема [51].

Предположим, что сумма договора или стоимость работы или пакета работ по проекту согласована центром и АЭ и равна C. *Шкалой оплаты* называется кумулятивная зависимость размера вознаграждения (доли от стоимости договора с учетом дисконтирования), выплаченного центром АЭ, от процента выполнения [26, 37, 71]. Обозначим через b процент выполнения, через g – процент от суммы C, выплаченный АЭ. Тогда шкалой будет зависимость $g(b)$. Эта зависимость обладает следующими свойствами: функция $g(\cdot)$ – неубывающая и непрерывная справа; $\forall\ b \in [0;1]$ $g(b) \in [0; 1]$; $g(1) = 1$.

Если ввести зависимость $s(b)$ размера вознаграждения, получаемого АЭ (а не уже полученного за весь выполненный к рассматриваемому моменту времени объем работ) от процента выполнения, то, очевидно, что этот размер вознаграждения с точностью до мультипликативной константы (стоимости договора) совпадает со скоростью изменения уже полученных АЭ сумм, то есть, если $g(\cdot)$ – кусочно-дифференцируемая функция, то

(1) $$s(b) = C\,\frac{dg(b)}{db},\ b \in [0; 1].$$

Верно и обратное соотношение:

(2) $$g(b) = \frac{1}{C}\int_0^b s(w)dw\,.$$

Из выражений (1) и (2) следует, что на участках возрастания $s(\cdot)$ функция $g(\cdot)$ является «выпуклой», на участках убывания $s(\cdot)$ функция $g(\cdot)$ является «вогнутой», а в точке максимума $s(\cdot)$ функция $g(\cdot)$ имеет «перегиб» [26]. Кроме того, выполняется «условие нормировки»:

(3) $$\int_0^1 s(w)dw = C.$$

В [26, 71] перечисляются типовые решения, то есть типовые шкалы оплаты: равномерная оплата, при которой вознаграждение АЭ за каждую единицу процента выполнения одинаково; аккордная оплата, при которой вся сумма договора C выплачивается только в момент полного выполнения работ; a-процентная предоплата (a Î $[0; 1]$), при которой сумма $a\ C$ выплачивается в момент начала работ, а сумма $(1 - a)\ C$ – в момент полного завершения работ, и др. – любой определенной на отрезке $[0; 1]$ измеримой функции соответствует некоторая шкала.

Рассмотрим динамику реализации одного проекта. Для простоты допустим, что действием АЭ является выбор интенсивности y ³ 0, которая предполагается постоянной в ходе реализации проекта и характеризует затраты исполнителя в единицу времени. Если $C \geq 0$ – объем работ по проекту (в денежном выражении, то есть, предполагается, что центр должен компенсировать АЭ все затраты, которые он несет, участвуя в реализации проекта), то, очевидно, что время $T = T(y)$ завершения работ равно

(4) $T(y) = C / y$.

Если интенсивность постоянна, то объем $v(t, a)$ работ, измеряемый затратами исполнителя, изменяется линейно:

$$v(t, y) = y\ t,\ t \text{ Î } [0; T].$$

Предположим, что предъявляемый АЭ результат реализации проекта совпадает с относительным объемом выполненных работ $v(t, y) / C$, то есть, центром наблюдается процент выполнения

(5) $b(t, y) = y\ t / C$.

Имея шкалу $g(b)$ и зная зависимость (5) процента выполнения от времени, можно найти зависимость величины процента выполнения от интенсивности и времени:

(6) $g(t, y) = g(b(t, y)) = g(y\ t / C)$,

и зависимость от интенсивности и времени размера вознаграждения, получаемого АЭ (см. выражение (1)).

Проводимый анализ пока что не учитывал аспекты риска. Под риском будем понимать возможные потери участников проекта (центра и АЭ).

Запишем целевую функцию (баланс) АЭ – разность между вознаграждением, полученным от центра, и затратами:

(7) $f(y, t) = [g(y\ t / C) - y\ t / C]\ C$.

Запишем целевую функцию (баланс) центра:

(8) $F(y, t) = [y\, t / C - g(y\, t / C)]\, C$.

Так как исполнителю в итоге компенсируются все затраты ($C = V$), то будем считать, что он принимает решения, максимизируя минимальное (гарантированное по времени реализации проекта) значение своей целевой функции (7).

Обозначим множество интенсивностей, на которых достигается максимум гарантированного значения выражения (7) при заданной шкале

(9) $P(g(\cdot)) = \mathrm{Arg} \max\limits_{y > 0} \min\limits_{t \in [0; C/y]} f(y, t)$.

Пусть задано множество M допустимых (в рамках существующих институциональных ограничений) шкал. Тогда центр может искать шкалу, при которой время выполнения проекта будет минимально:

(10) $\max\limits_{y \in P(g(\cdot))} y \to \min\limits_{g(\cdot) \in M}$,

или шкалу, максимизирующую гарантированное значение его целевой функции (8), то есть – минимизирующую риск:

(11) $\min\limits_{y \in P(g(\cdot))} \min\limits_{t \in [0; C/y]} F(y, t) \to \max\limits_{g(\cdot) \in M}$.

Пусть $g(\cdot)$ – гладкая сигмо-образная функция, то есть имеет одну точку перегиба и $g'(0) = g'(1) = 0$. Обозначим $t_{min}(y) \le t_{max}(y)$ – два решения уравнения

$$g'(y\, t / C) = 1,$$

тогда $t_{min}(y)$ и $t_{max}(y)$ удовлетворяют условию

(12) $t(y) = g'^{-1}(1)\, C / y$.

Обозначим

(13) $q = \arg \min\limits_{y > 0} -f(y, t_{min}(y))$.

Величина q, определяемая выражением (13), характеризует максимальный риск АЭ.

Обозначим

(14) $Q = \arg \max\limits_{y \in P(g(\cdot))} -F(y, t_{max}(y))$.

Величина Q, определяемая выражением (14), характеризует максимальный риск центра.

Обозначим b_{min} – минимальный корень уравнения $g'(b) = 1$, b_{max} – максимальный корень этого уравнения.

<u>Утверждение 4.</u> Риски АЭ (13) и центра (14) не зависят от интенсивности, определяются только шкалой $g(\cdot)$:

$$q = [b_{min} - g(b_{min})]\, C, \quad Q = [g(b_{max}) - b_{max}]\, C$$

Справедливость утверждения 4 следует из подстановки (с учетом введенных предположений) выражений (7), (8) и (12) в выражения (13) и (14).

Легко видеть, что, если линейная шкала является допустимой, то она является решением задачи (11) и обращает в ноль риск центра.

2.4. РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ФИНАНСИРОВАНИЕ

Пусть известны затраты $c(y)$ на сокращение $y \geq 0$ продолжительности проекта. Предположим, что имеются k центров, каждый из которых несет потери из-за того, что продолжительность проекта превышает плановую. *Задача распределенного финансирования* – согласования интересов центров – заключается в определении оптимального (индивидуально-рационального и согласованного) их участия в финансировании мероприятий по сокращению продолжительности.

Формализуем эту задачу. Пусть T_0 – плановое, T – ожидаемое (прогнозируемое) время завершения проекта. Сокращение продолжительности на $y \in [0; T - T_0]$ единиц времени требует затрат $c(y)$. Предположим, что известны потери $l_i(t)$, $t \in [T_0; T]$, $i \in K = \{1, 2, \dots, k\}$ – множеству центров, каждого из k центров от превышения продолжительностью проекта планового значения. Если $l_i(t)$ – непрерывные возрастающие функции и $l_i(T_0) = 0$, $i \in K$, то можно определить $H_i(y) = l_i(T) - l_i(T - y)$, $i \in K$, – функции выигрыша центров, которые являются непрерывными, возрастающими при $y \in [0; T - T_0]$ и удовлетворяют следующему условию:

(1) $H_i(0) = 0$, $i \in K$.

Пусть центры должны придти к согласию относительно сокращения $x \in [0; T - T_0]$ продолжительности проекта и решить, каков будет вклад l_i, i Î K, каждого из них в финансирование соответствующих мероприятий.

Фиксируем x Î $[0;\ T - T_0]$. Суммарное финансирование со стороны центров должно равняться затратам $c(x)$ ³ 0 [78], то есть:

(2) $\sum_{i \in K} l_i = c(x)$.

Каждый из центров, очевидно, будет готов заплатить за сокращение продолжительности проекта величину l_i, как минимум, не превосходящую своего выигрыша от этого сокращения. Кроме того, взнос каждого из центров должен быть неотрицателен (отрицательный взнос означает дотацию тем центрам, которым выгодно "затягивать" окончание проекта, а такие ситуации мы не рассматриваем). Таким образом, имеем систему ограничений:

(3) l_i Î $[0;\ H_i(x)]$, i Î K.

Обозначим $l = (l_1, l_2, \ldots, l_k)$, S – множество таких сокращений продолжительности проекта, которые удовлетворяют (2) и (3), то есть

(4) S = {x Î $[0;\ T - T_0]$ | $ l ³ 0: l_i Î $[0;\ H_i(x)]$, i Î K, $\sum_{i \in K} l_i = c(x)$}.

Пусть $c(x)$ – непрерывная функция и $c(0) = 0$.

По аналогии с результатами, полученными в [36, 40, 47, 78], можно показать, что (4) содержит точку, отличную от нуля, тогда и только тогда, когда

(5) $\max_{y \in [0; T - T_0]} [\sum_{i \in K} H_i(y) - c(y)]$ ³ 0.

Обозначим

(6) $x^* = \arg \max_{y \in [0; T - T_0]} [\sum_{i \in K} H_i(y) - c(y)]$.

Таким образом, справедливо следующее утверждение.

<u>Утверждение 5.</u> а) Необходимым и достаточным условием возможности согласования интересов центров является (5).

б) если допустимы побочные платежи между центрами, то (6) определяет Парето-эффективное для центров решение.

Получаем, что в рамках введенных предположений центры согласятся на сокращение продолжительности проекта на x^*, а их взносы будут удовлетворять

(7) $L = \{ l_i \ \hat{I}\ [0; H_i(x^*)], i \ \hat{I}\ K \mid \sum_{i\in K} l_i = c(x^*)\}$.

Если множество (7) содержит более одной точки, то для определения индивидуальных взносов центров можно использовать те или иные механизмы принятия решений [36, 37]. Проиллюстрируем возможные варианты на примере.

<u>Пример 3.</u> Пусть $k = 2$, $c(y) = y^2 / 2\, r$, $r > 0$, $H_1(y) = a\, y$, $H_2(y) = y$, $T_0 = 100$, $T = 110$.

Из (6) получаем

(8) $x^* = \min\, [10; (1 + a)\, r]$.

На рисунке 5 заштрихована область значений параметров (a, r), при которых оптимальное сокращение продолжительности проекта меньше максимально возможного (равного 10).

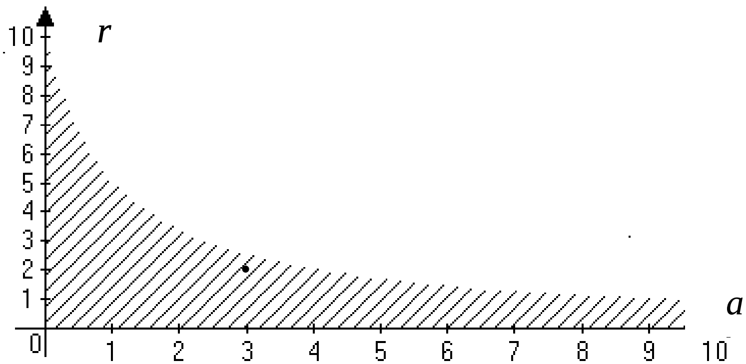

Рис. 5. Область значений параметров (a, r), при которых оптимальное сокращение продолжительности проекта в примере 3 меньше максимально возможного

Пусть $r = 2$, $a = 3$ (соответствующая точка обозначена на рисунке 5). Тогда из (8) получаем, что $x^* = 8$. Множество (7) согласованных и Парето-эффективных значений (l_1, l_2) – отрезок АВ – выделено на рисунке 6 жирной линией.

Выбор конкретной точки из отрезка AB может производиться по-разному (например, на основе того или иного механизма компромисса [60], заранее выбранного центрами, или установленного институционально). Если принять принцип равных вкладов, то следует выбрать точку A. Если взять за основу принцип равных рентабельностей, выравнивающий отношения разностей между выигрышем и затратами к затратам, то получим точку C с координатами ($l_2 = l_1 / 3$) – см. рисунок 6. Ту же точку даст принцип распределения затрат пропорционально вкладу. Если взять за основу принцип равных прибылей, выравнивающий прибыли центров, то получим точку B – см. рисунок, и т.д. Отметим, что не любой принцип принятия решений даст согласованное решение, то есть дележ, принадлежащий отрезку AB. •

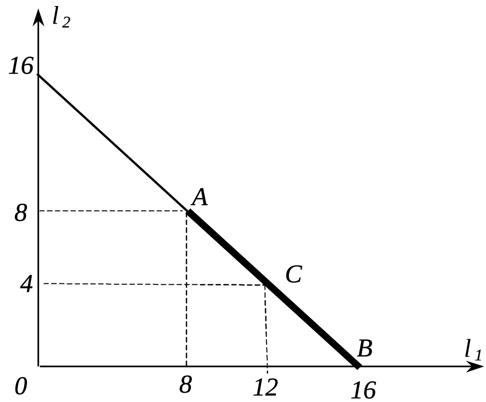

Рис. 6. Область согласованных значений "взносов" центров (l_1, l_2) в примере 3

<u>Утверждение 6.</u> Если функции дохода центров линейны: $H_i(y) = a_i\, y$, i Î K, а функция затрат выпукла, то в механизме распределенного финансирования принцип равных рентабельностей эквивалентен принципу распределения затрат пропорционально эффекту.

Доказательство. Из (6) получаем, что

(9) $x^* = \min\, [T - T_0;\, c\,'^{-1}(a)]$,

где $a = \sum_{i \in K} a_i$. Из принципа равных рентабельностей:

$$\frac{a_i x^* - l_i}{l_i} = Const,\ i\ Î\ K,$$

с учетом того, что $\sum_{i \in K} l_i = c(x^*)$, получаем, что $l_i = a_i\, c(x^*) / a,\ i\ Î\ K$

что и требовалось доказать.

В примере 3, рассмотренном выше и удовлетворяющем условиям утверждения 6, и принцип равных рентабельностей, и принцип распределения затрат пропорционально эффекту дают в качестве решения точку C на рисунке 6.

Из выражения (9) можно получить следующую оценку минимального числа k_{min} однородных субъектов ($a_i = b,\ i$ Î K), заинтересованных в сокращении продолжительности проекта, при котором оптимальным будет финансирование, приводящее к полной ликвидации отставания относительно плана ($x^* = T - T_0$):

$$k_{min}\ ³\ c'(T - T_0) / b.$$

2.5. ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Классическая постановка задачи управления социально-экономическими системами (см., например, [23, 41]) подразумевает нахождение наилучшего допустимого решения, то есть оптимального решения, для каждой из возможных ситуаций. Однако, если множество возможных ситуаций велико, или сменяются они достаточно быстро, или затраты на точную идентификацию ситуации высоки, то возникает желание использовать пусть не оптимальные, но рациональные и простые управленческие решения.

Понятно, что априорное ограничение класса возможных управлений, с одной стороны снижает гарантированную эффективность управления, а с другой стороны – позволяет уменьшить информационную нагрузку на руководителя проекта и дать ему возможность максимально использовать в новой ситуации, как свой собственный опыт, так и опыт реализации проектов, накопленный другими руководителями проектов [26].

Поэтому одной из основ систематизации опыта является выделение типовых ситуаций и управленческих решений, оптимальных (или рациональных) в этих ситуациях (см. также ситуационное управление – [50, 83]). Так как число возможных ситуаций огромно, то «запоминание» всех ситуаций невозможно, да и нецелесообразно – следует выделять множества «похожих» ситуаций и использовать одинаковые решения для ситуаций из одного и того же множества. В теории управления такой подход получил название «*унифицированного управления*» [21, 71], а соответствующие управленческие решения – «*типовых решений*». В проектах, в силу их специфики (каждый проект уникален), проблема унификации управления обретает еще большую значимость.

При использовании унифицированного управления (типовых решений) возникают несколько задач: определения оптимального (по тем или иным критериям) разбиения множества возможных состояний системы, то есть – выделение типовых ситуаций; поиск оптимальных (опять же по тем или иным критериям) типовых решений и т.д. Использование формальных моделей типовых решений позволяет: агрегировать опыт, накопленный организацией, обеспечивать априори известный уровень гарантированной эффективности управления, а также организовывать обучение менеджеров проектов [26].

В [22] отмечается, что оперативное управление проектом (в том числе его надежностью и риском), понимаемое в самом широком смысле как многократное (в реальном времени) решение задачи выбора оптимального управления с учетом всей имеющейся информации, позволяет повысить эффективность управления проектом, особенно в условиях неопределенности. При разработке конкретных механизмов оперативного управления целесообразно использовать модели и методы теории графов, марковских цепей, динамического программирования и оптимального управления.

При использовании конкретных механизмов в управлении реальными проектами центр, как правило, сталкивается со следующей проблемой: сложность механизма управления может оказаться неадекватной его временным и вычислительным возможностям, то есть получение оптимального решения задачи синтеза управлений на будущий период не должно превышать длительности этого периода. Иными словами, кому нужен точный прогноз погоды на завтра, если его можно получить только послезавтра! Проблема адекватности, к сожалению, не имеет на сегодняшний день универсальных решений. Среди частных методов ее решения можно назвать упомянутый выше метод априорной выработки относительно простых и универсальных решений, а также – упрощение оптимизационной задачи до тех пор, пока модель не «заработает» в реальном времени (желательно, правда, при этом не потерять хотя бы качественных свойств модели).

В качестве иллюстрации рассмотрим следующую модель. Пусть состояние y проекта в процессе его реализации может принимать значения из множества Y. Предположим, что задана эффективность $K(u, y)$ управления $u \in U$ в ситуации y, и решение $u^*(y)$ задачи синтеза оптимального управления известно:

(1) $u^*(y) = \arg \max\limits_{u \in U} K(u, y)$.

Обозначим гарантированную эффективность управления

(2) $K^* = \min\limits_{y \in Y} K(u^*(y), y)$.

Пусть имеется заданное экспертно разбиение $(Y_1, Y_2, \ldots, Y_n)$ множества Y на $n \geq 1$ подмножеств – возможных типовых ситуаций. Найдем набор типовых решений $(u_1, u_2, \ldots, u_n)$, каждое из которых оптимально в соответствующей ситуации:

(3) $u_i = \arg \max\limits_{u \in U} \min\limits_{y \in Y_i} K(u, y), \ i = \overline{1, n}$.

Вычислим $G(n)$ – гарантированную эффективность типовых решений в зависимости от числа n типовых ситуаций:

(4) $G(n) = \min\limits_{i = \overline{1, n}} \min\limits_{y \in Y_i} K(u_i, y)$.

Пусть заданы затраты $c(n)$ на разработку типовых решений, где $c(\cdot)$ – возрастающая функция, тогда задача поиска оптимального числа типовых решений примет вид:

(5) $G(n) - c(n) \to \max\limits_{n = 1, 2, \ldots}$.

Обозначим решение этой задачи

(6) $n^* = \arg \max\limits_{n = 1, 2, \ldots} [G(n) - c(n)]$.

Величина

(7) $g = \dfrac{K^* - G(n^*)}{K^*}$

может рассматриваться как характеристика относительных потерь эффективности, вызванных использованием типовых решений с учетом затрат на их разработку (отметим, что при вычислении величины (2) мы не учитывали затраты на решение задачи управления).

Рассмотрим частный случай. Пусть стоимость разработки одного решения постоянна и равна c_0. Предположим также, что: Y – отрезок действительной оси, то есть $Y = [b - a]$, $a \le b \in \Re^1$, а экспертное разбиение является равномерным. Обозначим $D = b - a$, $D_n = D / n$. Для простоты допустим, что эффективность оптимального управления в любой ситуации постоянна и равна единице, то есть $\forall\ y \in Y\ \ K(u^*(y), y) = 1$, а $G(n) = g(D_n) = g(D / n)$, где $g(\cdot) \le 1$ – известная убывающая функция своего аргумента.

Задача (5) в рамках принятых предположений примет вид:

(8) $g(D / n) - c_0\, n \to \max\limits_{n=1,2,\dots}$,

а показатель (7) будет равен

(9) $g = 1 - g(D / n^*)$,

где, в соответствии с (6), оптимальное число типовых решений равно

(10) $n^* = \arg \max\limits_{n=1,2,\dots} [g(D / n) - c_0\, n]$.

Таким образом, мы доказали справедливость следующего утверждения.

Утверждение 7. В рамках введенных предположений выражения (8)-(10) дают оптимальное решение задачи определения числа типовых решений с учетом затрат на их разработку.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий использование утверждения 7.

Пример 4. Пусть $g(D_n) = 1 - (D_n)^2 / 2$, $D \le 1$. Тогда из (10) и (9) получаем соответственно:

(11) $n^* = (D^2 / c_0)^{1/3}$,

(12) $g = (D\, c_0)^{2/3}$.

Содержательные интерпретации зависимостей (11) и (12) таковы – с ростом неопределенности (величины D) число оптимальных типовых решений растет, а также растут относительные потери в эффективности – см. рисунок 7, на котором представлены границы значений параметров D и c_0 для $n = 1, 2, 3, 4$ и 10.

С ростом же удельных затрат на разработку типовых решений неопределенности (величины c_0) число оптимальных типовых решений уменьшается, и растут относительные потери в эффективности – см. рисунок 7.

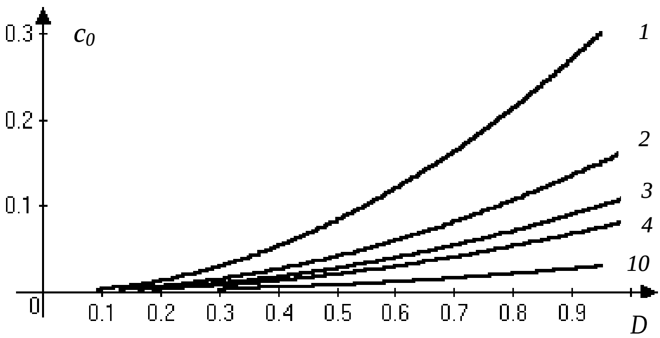

Рис. 7. Границы значений параметров D и c_0 для $n = 1, 2, 3, 4$ и 10 в примере 4

2.6. ТОЧКИ КОНТРОЛЯ

Тесно связанной с задачей о типовых решениях является так называемая *задача о точках контроля*, которая заключается в следующем. Конечно, с точки зрения центра – руководителя проекта – идеалом является постоянный мониторинг за ходом реализации проекта и получение исчерпывающей информации в реальном режиме времени. Однако, мониторинг (получение и обработка информации) требуют определенных затрат (даже при развитой информационной системе управления проектами), поэтому с точки зрения минимизации затрат на управление центру хотелось бы осуществлять контроль как можно реже. С другой стороны, не получив вовремя информацию об отклонениях от плана, центр может не успеть вовремя принять решение о необходимости компенсирующих воздействий и в результате этого понести потери. Следовательно, возникает задача о выборе моментов времени (точках контроля), в которые получается информация о состоянии проекта. Совокупность этих моментов времени должна определять рациональный баланс между затратами на управление (мониторинг) и потерями в случае задержек в принятии решений.

Для массового производства задача о точках контроля близка к задаче выборочного контроля (в которой требуется определить моменты и объем выборочного контроля выпускаемой продукции с тем, чтобы, например, при заданных вероятностных характеристиках брака обеспечить заданную вероятность обнаружения бракованной партии изделий). Этот подход можно использовать и в оперативном управлении проектами. Мы же рассмотрим детерминированную постановку задачи, учитывающую в явном виде затраты на управление.

Обозначим $y(t)$ – реальное состояние проекта в момент времени t, $x(t)$ – плановая траектория, $\tau \in [0; T_0]$.

Пусть скорость изменения состояния проекта ограничена[1]:

(1) $|dy(t)/dt| \le \gamma$, $\tau \in [0; T_0]$.

Тогда, если в момент времени t реальная траектория совпадала с плановой, то в момент времени $t + \tau$, $\tau \in [0; T_0 - t]$, отклонение $\Delta_0(\tau)$ факта от плана составит не более

(2) $\Delta_0(\tau) = \gamma\,\tau$.

Если принять предположение о равномерности контроля и необходимости обеспечения постоянства времени завершения проекта T_0, то задача о точках контроля сведется к задаче об оптимальном их числе n, так как (2) примет вид

(3) $\Delta_0(\tau) = \Delta(n) = \gamma\,T_0 / (n + 1)$, $n = 0, 1, 2, \ldots$.

---

[1] *В рассматриваемой модели считается, что ограничение на скорость изменения состояния проекта не зависит от этого состояния и времени. Если это не так и* $|dy(t)/dt| \le g(y, t)$, *то для определения функционала потерь необходимо сначала решить задачу оптимального управления, что существенно усложнит задачу. Поэтому ниже рассматривается простейший вариант, позволяющий, тем не менее, проиллюстрировать специфику задач о точках контроля.*

Если c_0 – стоимость одного "наблюдения" за состоянием проекта, $g(D)$ – известная монотонная функция потерь из-за наличия необнаруженных отклонений, то получаем, что оптимальное число n^* точек контроля равно

(4) $n^* = \arg \min\limits_{n=0,1,\ldots} [g(g\, T_0 \,/\, (n + 1)) + c_0\, n]$.

Утверждение 8. Если функция потерь $g(x)$ линейна, то есть $g(x) = a\, x + b$, то "непрерывная" оценка оптимального числа точек контроля дается следующим выражением:

(5) $n^* = \sqrt{\dfrac{agT_0}{c_0}} - 1$.

Справедливость утверждения 8 следует из (1)-(4) с учетом линейности функции потерь.

Из (5) вытекает, что оптимальное число точек контроля растет с увеличением удельных потерь a, "неопределенности" g и продолжительности проекта T_0, и уменьшается с ростом удельных затрат c_0 на организацию контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе рассмотрен комплекс теоретико-игровых и оптимизационных моделей и методов оперативного управления проектами (ОУП). Наряду с обзором известных результатов решения задач ОУП, предложены и исследованы модели ОУП, позволяющие решать задачи управления с учетом моментов принятия решений, их содержания (эффективности) и согласованности. В том числе: модели дополнительных соглашений, сокращения продолжительности проекта, шкал оплаты, распределенного финансирования, типовых решений, точек контроля.

В качестве перспективных направлений дальнейших теоретических исследований можно выделить постановку и решение задач управления динамическими организационными системами. С точки зрения практики актуальным представляется адаптация разработанных в теории моделей и методов ОУП к практическим задачам с учетом отраслевой специфики потенциальных объектов внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1 Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Котенко А.М. Модели и методы оптимизации региональных программ развития. М.: ИПУ РАН, 2001. – 60 с.

2 Андронникова Н.Г., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. Комплексное оценивание в задачах регионального управления. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.

3 Балашов В.Г., Заложнев А.Ю., Иващенко А.А., Новиков Д.А. Механизмы управления организационными проектами. М.: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.

4 Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гилязов Н.М. Методы агрегирования в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 1999. – 55 с.

5 Баркалов П.С., Буркова И.В., Глаголев А.В., Колпачев В.Н. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 2002. – 65 с.

6 Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Образцов Н.Н. Задачи управления материально-техническим снабжением в рыночной экономике. М.: ИПУ РАН, 2000. – 58 с.

7 Баркалов С.А., Бурков В.Н. Минимизация упущенной выгоды в задачах управления проектами. М.: ИПУ РАН, 2001. – 56 с.

8 Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977. – 255 с.

9 Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Ловецкий С.Е. Прикладные задачи теории графов. Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 234 с.

10 Бурков В.Н., Горгидзе И.И., Новиков Д.А., Юсупов Б.С. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике. М.: ИПУ РАН, 1997. – 57 с.

11 Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. – 245 с.

12 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Кулик О.С., Новиков Д.А. Механизмы страхования в социально-экономических системах. М.: ИПУ РАН, 2001. – 109 с.

13 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Механизмы самофинансирования программ // Вестник ГУУ. 2001. № 1. С. 142 – 150.

14 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Модели и методы теории активных систем в управлении организационными проектами / Труды 17-го Конгресса по управлению проектами «Проектно-ориентированные бизнес и общество». Москва, 2003. С. 238 – 244.
15 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2001. – 124 с.
16 Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Леонтьев С.В., Новиков Д.А., Чернышев Р.А. Механизмы финансирования программ регионального развития. М.: ИПУ РАН, 2002. – 52 с.
17 Бурков В.Н., Квон О.Ф., Цитович Л.А. Модели и методы мультипроектного управления. М.: ИПУ РАН, 1998. – 62 с.
18 Бурков В.Н., Кузьмицкий А.А., Новиков Д.А. Большие проекты: анализ риска // Технология и конструирование электронной аппаратуры. 1997. № 2. С. 6 – 8.
19 Бурков В.Н., Ланда Б.Д., Ловецкий С.Е., Тейман А.И., Чернышев В.Н. Сетевые модели и задачи управления. М.: Советское радио, 1967. – 144 с.
20 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Active systems theory and problems of large-scale projects management / Business and management. Vilnius: Technica, 1995. Vol. 1. P. 93 – 103.
21 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять организациями. М.: Синтег, 2004. – 400 с.
22 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997. – 188 с.
23 Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: СИНТЕГ, 1999. – 128 с.
24 Буркова И.В. Метод дихотомического программирования в задачах управления проектами. Воронеж: ВГАСУ, 2004. – 100 с.
25 Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1972.
26 Васильев Д.К., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А., Цветков А.В. Типовые решения в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.
27 Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент: человек, стратегия, организация, процесс. М.: Изд-во МГУ, 1996. – 416 с.
28 Виханский О.С. Стратегическое управление. М.: МГУ, 1995. – 252 с.

29 Вишнев С.М. Основы комплексного прогнозирования. М.: Наука, 1977. – 289 с.
30 Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. М.: ИПУ РАН, 2003. – 210 с.
31 Воропаев В.И. Модели и методы календарного планирования в автоматизированных системах управления строительством. М.: Стройиздат, 1974. – 232 с.
32 Воропаев В.И. Управление проектами в России. М.: Аланс, 1995. – 225 с.
33 Воропаев В.И., Любкин С.М., Голенко-Гинзбург Д. Модели принятия решений для обобщенных альтернативных стохастических сетей // Автоматика и Телемеханика. 1999. № 10. С. 144 – 152.
34 Гаврилов Н.Н., Карамзина Н.С., Колосова Е.В., Лысаков А.В., Цветков А.В. Анализ и управление проектами. Практический курс: Учебное пособие. М.: Изд-во Рос. Экон. акад., 2000. – 114 с.
35 Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. – 327 с.
36 Гилев С.Е., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.
37 Гламаздин Е.С., Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы управления корпоративными программами: информационные системы и математические модели. М.: Спутник+, 2003. – 159 с.
38 Голенко Д.И. Статистические методы сетевого планирования и управления. М.: Наука, 1968. – 400 с.
39 Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
40 Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. М.: ИПУ РАН, 2003. – 140 с.
41 Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. – 148 с.
42 Залесов А.И. Оптимальное стимулирование в активных системах с агрегированием информации // Системы управления и информационные технологии. 2004. № 2. С. 47 – 49.
43 Зуховицкий С.И., Радчик И.А. Математические методы сетевого планирования. М.: Наука, 1965. – 296 с.

44 Иванилов Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. М.: Наука, 1979. – 304 с.
45 Интриллигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Прогресс, 1975. – 606 с.
46 Каплан Р.С., Нортон Д.П. Сбалансированная система показателей. М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 320 с.
47 Караваев А.П. Модели и методы управления составом активных систем. М.: ИПУ РАН, 2003. – 151 с.
48 Кендалл И., Роллинз К. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами: максимизация ROI. М.: ПМСОФТ, 2004. – 576 с.
49 Клейнер Г.Б. Производственные функции: теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика, 1986. – 238 с.
50 Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974. – 136 с.
51 Колосова Е.В., Новиков Д.А., Цветков А.В. Методика освоенного объема в оперативном управлении проектами. Москва, 2001. – 156 с.
52 Кононенко А.Ф., Халезов А.Д., Чумаков В.В. Принятие решений в условиях неопределенности. М.: ВЦ АН СССР, 1991. – 211 с.
53 Кононов Д.А., Кульба В.В., Ковалевский С.С., Косяченко С.А. Формирование сценарных пространств и анализ динамики поведения социально-экономических систем. М.: ИПУ РАН, 1999.
54 Коргин Н.А. Неманипулируемые механизмы обмена в активных системах. М.: ИПУ РАН, 2003. – 126 с.
55 Кузьмицкий А.А., Новиков Д.А. Организационные механизмы управления развитием приоритетных направлений науки и техники. М.: ИПУ РАН, 1993. – 68 с.
56 Кузьмицкий А.А., Щепкин А.В. Разработка деловых игр по управлению проектами. М.: ИПУ РАН, 1994. – 58 с.
57 Либерзон В.И. Основы управления проектами. М.: Нефтяник, 1997. – 150 с.
58 Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент, 1996. – 271 с.
59 Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. М.: Наука, 1984. – 391 с.
60 Лысаков А.В., Новиков Д.А. Договорные отношения в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 2004. – 100 с.

61 Мартино Д. Технологическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1977. – 591 с.
62 Менар К. Экономика организаций. М.: ИНФРА-М, 1996.–160 с.
63 Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. – 344 с.
64 Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М.: Дело, 1998. – 800 с.
65 Мильнер Б.З. Теория организации. М.: ИНФРА-М, 2002.–480 с.
66 Мир управления проектами / Под. ред. Х. Решке, Х. Шелле. М.: Аланс, 1993. – 304 с.
67 Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели. М.: Мир, 1991. – 464 с.
68 Новиков Д.А. Институциональное управление организационными системами. М.: ИПУ РАН, 2003. – 68 с.
69 Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд "Проблемы управления", 1999.–150 с.
70 Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. – 108 с.
71 Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. М.: Синтег, 2003. – 312 с.
72 Новиков Д.А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели). М.: ИПУ РАН, 1998. – 216 с.
73 Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. М.: Синтег, 1999. – 108 с.
74 Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. М.: ИПУ РАН, 2002. – 124 с.
75 Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Активный прогноз. М.: ИПУ РАН, 2002. – 101 с.
76 Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. М.: Синтег, 2003. – 150 с.
77 Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. М.: Апостроф, 2000. – 184 с.

78 Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. М.: ИПУ РАН, 2001. – 118 с.
79 Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. – 206 с.
80 Петраков С.Н. Механизмы планирования в активных системах: score неманипулируемость и множества диктаторства. М.: ИПУ РАН, 2001. – 135 с.
81 Поспелов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление. М.: Советское радио, 1976. – 344 с.
82 Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. М.: Наука, 1985. – 424 с.
83 Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. – 288 с.
84 Путеводитель в мир управления проектами: пер. с англ. Екатеринбург: УГТУ, 1998. – 191 с.
85 Санталайнен Т. и др. Управление по результатам. М.: Прогресс, 1988. – 320 с.
86 Сидельников Ю.В. Теория и практика экспертного прогнозирования. М.: ИМЭМО РАН, 1990. – 195 с.
87 Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. М.: Статистика, 1971. – 488 с.
88 Управление проектами. Зарубежный опыт / Под. ред. В.Д. Шапиро. С.-Пб.: «ДваТрИ», 1993. – 443 с.
89 Управление проектами / Общая редакция – В.Д. Шапиро. С.-Пб.: «ДваТрИ», 1996. – 610 с.
90 Управление проектами: справочное пособие / Под ред. И.И. Мазура, В.Д. Шапиро. М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.
91 Цветков А.В. Стимулирование в управлении проектами. М.: Апостроф, 2001. – 144 с.
92 Щепкин А.В. Механизмы внутрифирменного управления. М.: ИПУ РАН, 2001. – 80 с.
93 Юдицкий С.А., Владиславлев П.Н. Предпроектное моделирование функционирования организационных систем. М.: ИПУ РАН, 2004. – 120 с.
94 Юдкевич М.М., Подколзина Е.А., Рябинина А.Ю. Основы теории контрактов: модели и задачи. М.: ГУ ВШЭ, 2002. – 352 с.

95 A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). 2000. – 215 p.
96 Christensen D.S. An analysis of costs overruns on defense acquisition contracts // International Journal of Project Management. 1993. Vol. 24. N 3. P. 43 – 48.
97 Czarnecki M.T. Managing by measuring: How to improve your organization’s performance through effective benchmarking. N.Y.: American management association, 1999.
98 Dinsmore P.C. Winning in business with enterprise project management. N.Y.: American management association, 1999. – 271 p.
99 Fleming Q.W., Hoppelman J.M. Earned value Project Management. PMI, 1996. – 141 p.
100 Fleming Q.W., Hoppelman J.M. Forecasting the final costs and schedule results // PM Network. 1996. N 1. P. 13 – 18.
101 Grossman S., Hart O. An analysis of the principal-agent problem // Econometrica. 1983. Vol. 51. N 1. P. 7 – 45.
102 Hart O.D., Holmstrom B. Theory of contracts // Advances in economic theory. 5-th world congress. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. P. 71 – 155.
103 Hart O.D. Optimal labor contracts under asymmetric information: an introduction // Review of Economic Studies. 1983. Vol. 50. N 1. P. 3 – 35.
104 Hatfield M.A. The case for earned value // PM Network. 1996. N 12. P. 25 – 27.
105 Kerzner H. Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling. N.Y. John Wiley & Sons, 1998.
106 Kliem R.L., Ludin I.S. Project management practitioner’s book. N.Y.: American Management Association, 1998.
107 Lientz B.P., Rea K.P. Project management for the 21-st century. San Diego: Academic Press, 1998.
108 Mas-Collel A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 981 p.
109 Myerson R.B. Game theory: analysis of conflict. London: Harvard Univ. Press, 1991. – 568 p.
110 Phillips J.J., Bothell T.W., Snead G.L. The project management scorecards. Amsterdam: Elseiver, 2003. – 353 p.
111 Rampersad K.H. Total performance scorecard. Amsterdam: Elseiver, 2003. – 330 p.

112 Tabtabai H.M. Forecasting project completion date using judgmental analysis / PMI Symposium. Pittsburgh, 1992. P. 436 – 440.
113 The principles of project management / Ed. by J.S. Pennypacker. N.Y.: PMI, 1997. – 232 p.
114 Turner J.R. The handbook of project-based management. London: McGraw-Hill Companies, 1999. – 414 p.