

Южно-Уральский государственный университет

На правах рукописи

**Гельруд Яков Давидович**

**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ НА  
ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТЕЙКХОЛДЕРОВ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и  
экономических системах

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ  
**Логиновский Олег Витальевич**

Челябинск – 2015

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ: ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ .....</b>	<b>19</b>
1.1 Эволюция развития проектного управления и формирование представления о необходимости учета взаимодействия всех заинтересованных сторон (стейкхолдеров).....	19
1.2 Анализ этапов развития сетевых моделей, их содержание и классификация.....	27
1.3 Выводы по главе 1 .....	63
<b>ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ С ПОЗИЦИЙ РАЗНЫХ СТЕЙКХОЛДЕРОВ.....</b>	<b>64</b>
2.1 Постановка проблемы и определения.....	64
2.2 Математические модели проектного управления для инвестора.....	70
2.3 Математические модели проектного управления для заказчика.....	86
2.4 Математические модели проектного управления для генпоставщика.....	102
2.5 Математические модели проектного управления для генконтрактора, руководителя и его команды управления проектом.....	129
2.6 Математические модели проектного управления для регулирующих и надзорных органов.....	155
2.7 Математические модели проектного управления для коммерческой службы.....	173
2.8 Выводы по главе 2.....	193
<b>ГЛАВА 3 ЦИКЛИЧЕСКИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ.....</b>	<b>195</b>
3.1 Описание циклической альтернативной сетевой модели (ЦАСМ).....	195
3.2 Задачи временного анализа ЦАСМ .....	202
3.3 Алгоритмы расчета временных параметров ЦАСМ.....	209
3.4 Универсальные сетевые модели с использованием нечеткой логики.....	216

3.5	Принятие решений в управляемых циклических альтернативных сетевых моделях для проектов с детерминированными ветвлениями.....	229
3.6	Выводы по главе 3 .....	248
<b>ГЛАВА 4 ОПИСАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ.....</b>		
4.1	Основные составляющие методологии .....	250
4.2	Структура и функции интегрированной информационно-аналитической системы управления сложными проектами .....	250
4.3	Интеграция разработанных математических моделей.....	256
4.4	Выводы по главе 4 .....	269
<b>ГЛАВА 5 ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И РАЗРАБОТОК ДИССЕРТАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ И УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....</b>		
5.1	Использование разработанных моделей и методов управления проектами в строительных организациях .....	270
5.2	Использование разработанных моделей и методов управления проектами в инвестиционных компаниях .....	271
5.3	Использование разработанных моделей и методов управления проектами в учебном процессе .....	272
5.4	Выводы по главе 5.....	275
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>		
		276
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>		
		286
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень трудовых функций и действий в рамках этих функций, выполняемых при осуществлении проекта.....</b>		
		310
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Исходная информация, промежуточные и результирующие расчеты по организации ИНСИ.....</b>		
		321
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Исходная информация, промежуточные и результирующие расчеты по Агентству недвижимости Риэлт Стройком .....</b>		
		322

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Исходная информация, промежуточные и результатирующие расчеты по ЮЖУРАЛ-АСКО.....</b>	<b>323</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Рабочая программа дисциплины ДС.04 «Математические методы и модели управления процессом создания проектов».....</b>	<b>330</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....</b>	<b>336</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Свидетельства о регистрации разработок в отраслевом фонде алгоритмов и программ.....</b>	<b>350</b>

## ВВЕДЕНИЕ: ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертационной работе изложены опубликованные, апробированные и внедренные в практику научные положения и результаты решения важной актуальной научной проблемы создания информационно-аналитической системы управления проектами на основе комплекса математических моделей функционирования различных заинтересованных сторон (стейкхолдеров), учитывающих их цели, задачи, функции и иные особенности. Данные математические модели должны позволить стейкхолдерам исполнять свои функции в проектной деятельности более эффективно и результативно.

Диссертационная работа базируется на целом ряде научных трудов известных отечественных и зарубежных ученых.

Теоретические основы управления сложными проектами, разработки систем и средств автоматизации проектирования заложены в трудах А.Г.Аганбегяна, К. Бержа, В.Н. Буркова, Н.П. Бусленко, В.И. Воропаева, Д.И. Голенко, Дж. Келли, А.В.Кострова, Г.Г.Куликова, С.Е.Лившица, О.В.Логиновского, Дж. Мартина, А.М. Немчина, С.Н. Никешина, Д.А. Новикова, А.Притцкера, Д. Фалкерсона, и др.

Разработке моделей и методов решения задач планирования работ при управлении проектами посвящены работы Г.М. Адельсона-Вельского, В. М. Аньшина, И.В. Бурковой, С.Д. Бушуева, В.И. Воропаева, Л.Г. Голуба, Р. Гутча, С.И. Зуховицкого, Л.М. Лаврецкого, В.И.Либерзона, В.Д.Мазурова, И. И. Мазура, Н.Г. Ольдерогге, С.П. Никанорова, В.В. Познякова, М.Л. Разу, Я.А. Рекитара, В.И. Садовского, Б.П.Титаренко, А.С.Товба, Д. Филлипса, Б.И. Хацет, А.В. Цветкова, Г.Л.Ципеса, Ю.И. Черняка, Э.А. Чудновского, В. Д. Шапиро, Ю.В. Швецова, В.И.Ширяева, М.В. Шейнберга, В.В. Шкурба, и др.

Разработкой и внедрением в практику методов управления проектами занимались Э.Э. Абелис, Ю.А. Авдеев, Л.И. Авербах, В.А. Бриедис, С.Н. Булгаков, Е.Б. Кибалов, А.Д. Колодкевич, Т.Я. Орел, В.И. Рыбальский, Н.В.Скрыдлов, М.Б. Слуцкий, Э.Л. Эткинд и др.

**Актуальность темы исследования.** В современном мире при управлении проектом применяются как хорошо известные, так и вновь создаваемые модели, методы, алгоритмы и программные средства. Вместе с тем количество неуспешных проектов по отношению к успешным достигает, по разным оценкам, от 40% до 60%. Причины такой невысокой эффективности различны, но их можно условно разделить на две большие группы:

1) недостатки существующих сегодня технологий, методов и инструментов для управления проектной деятельностью;

2) необходимость новых направлений, требующих осмысления и развития.

Все используемые в настоящее время методы и модели, включая известные в мире методологии и стандарты – ISO 21500 [239], ICB IPMA [234], PMBOK PMI [155], P2M [230], НТК СОВНЕТ [179], 4P-R [153] предназначены для уровня исполнителей: руководители проекта, управляющая команда, специалисты офисов. Тогда как для верхних эшелонов власти и управления бизнесом – уровень основных стейкхолдеров – соответствующие модели и методы управления практически отсутствуют. Но это уровень принятия стратегических решений, от него зависит около 50% успеха проектной деятельности, именно на нем сосредоточены все ресурсы и принимаются важнейшие решения.

Таким образом, одна из основных причин неуспешности проектного управления состоит в том, что верхние уровни управления слабо вовлечены в эту деятельность, а современная методология и технология проектного управления не учитывает в должной мере их интересы. В этой связи необходимо менять привычную парадигму проектного управления – вместо взгляда на управление «снизу вверх» смотреть «сверху вниз», как это и следует осуществлять в соответствии с принципами системного подхода.

Несмотря на то, что исследования отечественных и зарубежных ученых в области управления проектами содержат важные теоретические идеи и известные методологические подходы, большинство из них не раскрывает

целый ряд проблем, характерных для систем управления сложным проектом. В них недостаточно проработаны на теоретическом и методологическом уровнях особенности модельного обеспечения для управления проектом с альтернативными и стохастическими параметрами. Отсутствуют математические модели для управления проектом с позиций разных стейкхолдеров. Этим обстоятельством и обусловлен выбор темы диссертационного исследования, в которой проанализированы основные недостатки существующих методов и технологий управления проектами и предложены новые направления, которые предназначены для их устранения. Кроме того, описаны математические модели и эффективные методы для управления проектами с позиций разных заинтересованных сторон, которые легли в основу создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами. Данный новый подход обеспечивает повышение эффективности управления проектом и другими объектами проектной деятельности. Диссертационная работа выполнена на кафедре информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

**Объектом исследования** являются процессы управления сложными комплексными проектами.

**Предметом исследования** являются методы и математические модели для управления сложными комплексными проектами с позиций разных заинтересованных сторон.

**Цель и задачи диссертационной работы.** Целью исследования является разработка методологии создания информационно-аналитической системы управления проектами на основе комплекса математических моделей функционирования различных стейкхолдеров с последующей их интеграцией. Указанная методология должна базироваться на современной универсальной

сетевой модели, обеспечивающей возможность описания сложного проекта с учетом стохастичности его структуры, вероятностного характера параметров.

Для достижения данной цели в работе поставлены и решены следующие основные задачи:

- выполнен ретроспективный анализ развития понятия стейкхолдеров применительно к управлению проектами, а также существующих математических моделей и методов проектного управления;

- разработан комплекс взаимосвязанных математических моделей управления проектами с позиций стейкхолдеров, таких как инвестор, заказчик, генпоставщик, генконтрактор, руководитель проекта и его команда, регулирующие органы, коммерческая служба;

- создана универсальная сетевая модель, обеспечивающая возможность описания сложного проекта и лишенная выявленных недостатков разнообразных моделей проектного управления;

- предложена методология создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами на основе разработанных в диссертации математических моделей и методов;

- осуществлено внедрение научных положений и разработок диссертационного исследования в практику управления проектами.

**Методология и методы исследования:** системный анализ и инженерия знаний, теория управления организационными системами, имитационное моделирование, методы эмпирического исследования (наблюдение, сравнение, эксперимент), методы логистики, методы искусственного интеллекта, методы планирования экспериментов, теория принятия решений, теория графов, теория вероятностей и математической статистики, стратегический и финансовый менеджмент.

**Научная новизна** работы состоит в следующем.

Разработан целостный комплекс новых математических моделей управления проектом с учетом разных интересов, параметров и уровней стейкхолдеров

(инвестор, заказчик, генпоставщик, генконтрактор, руководитель проекта и его команда, регулирующие органы, коммерческая служба), с возможностью их комбинирования в интегрированную модель управления проектной деятельностью.

В работе определены требования к компетентности основных стейкхолдеров, что является совершенно новым направлением. При этом описаны процедуры, позволяющие формировать для каждого стейкхолдера свою сетевую модель соответствующей степени агрегированности, для чего был разработан новый класс сетевых моделей, адекватно отображающих процесс реализации сложного комплексного проекта и используемых для постановки и решения задач оптимального управления этим процессом. Этот класс моделей является синтезом обобщенных сетевых моделей (с их богатым спектром возможностей эквивалентных преобразований моделей и описанием логико-временных взаимосвязей между элементами структуры проекта) с вероятностными и альтернативными моделями, в значительной степени учитывающими факторы риска и неопределенности при осуществлении проекта.

При анализе указанных выше сетевых моделей была использована разработанная автором единая система обозначений и понятий, что позволило систематизировать описания всех существующих моделей.

Разработанные автором новые сетевые модели (называемые в дальнейшем универсальные циклические альтернативные сетевые модели – УЦАСМ) являются наиболее гибкими и адекватными из известных инструментов моделирования комплексов дискретных операций и описания процесса управления реализацией сложного или комплексного проекта.

Предложена методология создания новой интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами на базе разработанного в диссертации комплекса математических моделей и методов.

**На защиту выносятся** следующие основные положения:

- анализ этапов развития теории стейкхолдеров и существующих математических моделей и методов управления проектами с выделением их недостатков;
- описание комплекса взаимосвязанных математических моделей управления проектами с позиций заинтересованных сторон, таких как инвестор, заказчик, генпоставщик, генконтрактор, руководитель проекта и его команда, регулирующие органы, коммерческая служба;
- описание разработанной автором универсальной сетевой модели, обеспечивающей управление сложными проектами и не имеющей выявленных недостатков используемых на практике моделей;
- методология создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами на базе разработанного в диссертации комплекса математических моделей и методов;
- результаты использования научных положений и разработок диссертации в практике деятельности ряда предприятий и организаций.

**Достоверность и обоснованность** научных результатов и выводов основана на анализе научной литературы, посвященной вопросам моделирования процессов управления сложными комплексными проектами, корректности используемого математического аппарата, адекватности математических моделей, соответствию результатов вычислительных экспериментов реальным данным, а также широкой апробацией результатов исследования в публикациях и выступлениях на семинарах и конференциях.

**Практическая значимость** диссертационного исследования определяется тем, что его основные положения, выводы, рекомендации, модели, методы и алгоритмы создают основу для принятия решений при использовании и развитии систем управления проектами. Отдельные предложенные модели и методы могут использоваться при разработке систем управления проектами разной направленности. Методология и инструментарий математического

моделирования является средством построения моделей в любых областях проектной деятельности для их анализа и совершенствования. Основные результаты диссертационного исследования представляют методологическую основу для системы управления сложным проектом в автоматизированном режиме. Разработанные методы и инструментарий нашли применение в ряде строительных организациях, инвестиционных компаниях и учебном процессе Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ), специальность менеджмент.

**Публикация результатов.** Основные результаты диссертации опубликованы в 60 работах, из них 2 монографии и 18 публикаций в изданиях из Перечня ВАК Министерства образования и науки РФ для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. Общий объём публикаций по теме исследования составил 46 п.л.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 16 конференциях, в том числе:

- Международный симпозиум «СОВНЕТ – 99» Управление проектами: Восток-Запад – грань тысячелетий. 1-4 декабря 1999, г. Москва.

- Международный научно-практический семинар: Вопросы информатизации и управления органов государственной власти и местного самоуправления. 28-29 октября 1999, Челябинск.

- Всероссийские научно-практические конференции: Актуальные проблемы экономики и законодательства России. 2000-2002, Челябинск.

- XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

- 60-66 научно-практические конференции ЮУрГУ. 2008-2014.

- 2-5-я Международные конференции «Молодежь и управление проектами в России», НИУ ВШЭ, Москва, 2012-2015.

- Всероссийский форум «Информационное общество-2015: вызовы и задачи» (ИТИС-2015: Умный регион).

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 289 наименований, 7 приложений. Общий объем работы составляет 354 страниц, в том числе объем основного текста – 285 стр. Работа содержит 28 рисунков, 27 таблиц.

Математический аппарат для решения задач управления проектами (сетевые методы) появился в конце 50-х годов XX века и получил названия СРМ (английская аббревиатура *метода критического пути*) и PERT (*метод оценки и обзора программы*). Система СРМ была впервые применена при управлении строительными работами, метод PERT – при разработке ракетных систем “Поларис” [248,249,254,277].

В России работы по сетевому моделированию (СПУ) начались в 60-х годах прошлого столетия. Тогда эти методы нашли применение в строительстве и научных разработках. В дальнейшем сетевые методы стали широко применяться и в других областях народного хозяйства.

Сетевое моделирование позволяет:

а) формировать календарный план реализации некоторого комплекса работ;

б) выявлять и мобилизовывать резервы времени, трудовые, материальные и денежные ресурсы;

в) осуществлять управление комплексом работ с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе работ;

г) повышать эффективность управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разных уровней и исполнителями работ.

Диапазон применения методов сетевого моделирования весьма широк: от задач, касающихся деятельности отдельных лиц, до проектов, в которых участвуют сотни организаций и десятки тысяч людей.

Однако, после бурного восторга от простоты и эффективности применения методов СПУ (1960–1970 гг.) [117,148,250,258,259,281] наступило заметное

охлаждение к ним (1980–1990 гг.) [31,69,95,169], а затем и разочарование (1990–2000 гг.) [11,34,57,63,92,103,106,156,171,178]. В последние время раздаются голоса, даже ставящие под сомнение полезность сетевых моделей для планирования и управления на их основе [118].

В настоящее время образовался огромный разрыв между развитием теории и практикой применения теоретических результатов в проектной деятельности. С начала 1960-х гг. наукой был предложен широкий спектр сетевых моделей, методов планирования и управления проектами с большими функциональными возможностями, покрывающими самые изощренные требования практики [114,148,155,169]. За этот же период практиками создана целая индустрия разработки и логистика распространения программных средств для управления проектами (УП). На мировом рынке число пакетов УП достигает 350, а годовой оборот этого бизнеса превышает \$25 млрд. [98,181]. Центральное ядро пакетов, предназначенное для календарного планирования и контроля проектов, использует, как правило, сетевые модели и методы их анализа, разработанные еще в конце 1960-х гг. [272,275]. Остальные научные результаты малоизвестны практикам и специалистам.

При этом следует отметить мощными темпами расширяющуюся область применения средств управления проектами. Количество сложных проектов и объемы инвестиций в них растут со скоростью, значительно превышающей возможности их эффективного управления. Как упомянуто в отчете независимого исследовательского подразделения компании McKinsey [255] *“оценки глобальных расходов на разработку проектов по расширению инфраструктуры составят 3.4 триллиона долларов США в год между 2013 и 2030”*. Все крупнейшие банки развития призывают к большему количеству инвестиций в инфраструктуру на развивающихся рынках во всем мире.

*“90% мегапроектов не покрывают затраты, нарушают график или исполнительные цели... из-за недооценок стоимости и из-за переоценок будущих требований»* [269].

*“Если бы это не было настолько серьезно, то это могло бы быть забавно”, добавляет Пеллс. “Как могут столько высокообразованных и опытных экспертов получать результаты по этим проектам с такими погрешностями? В то время как есть много исследователей, занятых изучением этого предмета, я подозреваю, что существуют некоторые невидимые проблемы и причины такой малоэффективной работы”.*

В чем же причина такой ситуации? К чему это может привести? Каков выход из создавшегося положения?

Ответы на эти вопросы требуют специальных исследований. Одна из причин очевидна: неадекватность моделей и методов, используемых в доступных на рынке пакетах УП, сложным реалиям моделируемых процессов проектной деятельности.

В то же время моделирование процессов осуществления проектов остается главной методологической основой дисциплины «Управление проектами» [41,179,235]. От степени адекватности используемых моделей реальным процессам и задачам управления проектами во многом зависит эффективность принимаемых решений и успех проектов.

За последние годы сильно возросли сложность и комплексность проектов, выполняемых в условиях турбулентной окружающей среды с высокой степенью рисков и неопределенности. Для успешного управления проектами требуются новые подходы и технологии. Один из таких подходов развивается проф. Д. Добкинсом [65,216] под названием «Управление комплексными проектами».

При осуществлении достаточно сложных масштабных проектов и деятельности в процессе управления ими могут одновременно принимать участие разные заинтересованные стороны (*стейхолдеры*), каждая из которых может иметь свою команду управления проектом во главе с собственным руководителем, наделенным соответствующими полномочиями и представляющим в проекте интересы данной стороны.

Выбор методов и средств управления проектами в значительной мере определяется тем, какая из заинтересованных сторон проекта рассматривается в качестве субъекта управления проектной деятельностью в каждом конкретном случае. Разные заинтересованные стороны в проекте отличаются разными ожиданиями, ролями, мерой ответственности и действиями. Это вызвано следующим: несмотря на то, что в проекте они являются партнерами, работающими на общий результат, у них могут быть различные цели и интересы в проекте, разные критерии успеха и оценки степени достижения своих целей, разные ценности и стратегии достижения целей. Эти различия существенно влияют на постановку ими задач проекта, используемые методы, инструменты и технологии решения управленческих задач, ориентированные на их специфические потребности.

В последнее время в нормативных документах и профессиональной литературе (в частности, в исследованиях ЦЭМИ, ИСУ РАН и других институтах), все больше внимания уделяется особенностям управления проектами с позиций различных заинтересованных сторон (стейкхолдеров). Большинство источников, к сожалению, ограничиваются рассмотрением этого весьма, на наш взгляд, актуального вопроса на содержательно-описательном уровне [37,142]. Дискрептивный подход имеет свои ограничения и не решает задачи повышения эффективности реализуемых проектов. В этом вопросе остается много нерешенного и не проработанного, что затрудняет попытки подойти к его решению с практической стороны.

Таким образом, выявлены основные причины неудач при реализации сложных комплексных проектов, к которым относятся:

- недооценка значимости процессов, происходящих в современном мире, таких как обострение противоречий между крупнейшими мировыми державами, усиление борьбы за ресурсы, территории, рынки и умонастроения, стремление к лидерству в сфере военных, промышленных и информационных технологий;

- несоответствие традиционных методологических подходов и их инструментария новым вызовам, концепциям и изменившемуся положению дел в современном мире в целом, и в области проектного управления в частности;

- сложившаяся практика управления проектами не в полной мере соответствует известному закону необходимого разнообразия Р.Эшби, сущность которого заключается в том, что разнообразие управляющей системы не должно быть меньше разнообразия поведения управляемой системы. В противном случае такая система не сможет отвечать задачам управления, выдвигаемым внешней средой, и будет малоэффективной. Отсутствие или недостаточность разнообразия могут свидетельствовать о нарушении целостности подсистем, составляющих данную систему.

В главе 1 представлен анализ этапов развития теории стейкхолдеров применительно к управлению проектами. К числу основных стейкхолдеров отнесены: инвестор, заказчик, генконтрактор, генпоставщик, руководитель проекта и его команда, регулирующие органы, коммерческая служба. Для каждого из них определены состав и содержание компетенций управления проектами, цели, задачи, функции, а также средства и механизмы, используемые ими в своей деятельности. Отсутствие математических моделей, адекватно описывающих задачи и функции стейкхолдеров, является одним из основных сдерживающих факторов в повышении эффективности проектной деятельности на современном этапе.

Известные к настоящему времени математические методы моделирования процессов реализации комплексных проектов (классические [72,76,180,248-250], обобщенные [40,42], вероятностные [182] и альтернативные [51] сетевые модели) не всегда оказываются адекватными моделируемым процессам.

Далее в главе 1 описана эволюция сетевых методов управления проектами, выявлены достоинства и недостатки используемых моделей и алгоритмов. При этом автором использованы единые обозначения и толкования основных параметров, как в первой главе, так и в последующих главах, содержащих

описания предлагаемых моделей, что позволило систематизировать описания всех существующих моделей и показать целесообразность создания универсальной стохастической альтернативной сетевой модели, необходимой для управления сложными комплексными проектами в современных условиях, характеризующихся разнообразием интересов различных стейкхолдеров с учетом существующих между ними противоречий.

Автор настоящей работы сделал попытку структурировать особенности ключевых стейкхолдеров и с их учетом построить новые математические модели проектного управления. Такие модели построены для инвестора, заказчика, команды проекта, основных исполнителей, поставщиков, регулирующих органов и коммерческой службы. При этом учитывалось, что при моделировании деятельности отдельной заинтересованной стороны могут быть различные варианты постановок задач, связанные с различными условиями осуществления проекта. Кроме того, методы реализации задач принятия оптимальных решений также обладают существенной многовариантностью. Комплексы математических моделей для каждого стейкхолдера описаны во второй главе диссертации.

Автором разработан и описан в данном исследовании новый класс моделей, который является синтезом обобщенных сетевых моделей (с их богатым спектром возможностей эквивалентных преобразований моделей и описанием логико-временных взаимосвязей между элементами структуры проекта) с вероятностными и альтернативными моделями, в значительной степени учитывающими факторы риска и неопределенности при осуществлении проекта. Данные модели (называемые в дальнейшем циклические альтернативные сетевые модели – ЦАСМ) являются наиболее гибкими и адекватными из известных инструментов моделирования комплексов дискретных операций и описания процесса управления реализацией сложного или комплексного проекта.

ЦАСМ имеют все преимущества обобщенных, вероятностных и альтернативных моделей, при этом язык их описания усложнен незначительно. Общие принципы ЦАСМ представлены в ряде статей и докладов [43,447,284,285].

Описание циклических альтернативных сетевых моделей (ЦАСМ) составляет содержание третьей главы диссертации.

Представленные математические модели проектного управления для разных заинтересованных сторон служат основой для проектирования интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом на всех стадиях его осуществления. Описанию структуры и функций интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом на основе интеграции и конвергенции мультиаспектных моделей разных заинтересованных сторон посвящена четвертая глава диссертации.

В главе 5 описаны результаты использования разработанных моделей и методов управления проектами в ряде организаций различной направленности:

- строительные организации (Федеральная строительная компания полного цикла «ИНСИ» г.Челябинск, Агентство недвижимости Риэлт Стройком, входящая в состав компании Стройком г.Челябинск),
- инвестиционно-консалтинговая компания ООО ПРОФ МЕДИА г.Челябинск,
- страховая компания ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО» г.Челябинск.

Кроме того, представлены результаты использования разработанной методологии управления проектами в учебном процессе в Южно-Уральском государственном университете, Высшей Школе Экономики (Москва) и Омском государственном университете.

В заключение приводятся основные выводы и результаты диссертационного исследования.

# **Глава 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

## **1.1 Эволюция развития проектного управления и формирование представления о необходимости учета взаимодействия всех заинтересованных сторон (стейкхолдеров)**

Как было уже указано во введении, только 40% реализуемых проектов в мире завершаются вовремя и в рамках бюджета, т.е. около 60% проектов оканчиваются неуспешно [261, 276]. По мнению экспертов американского Института управления проектами (*Project Management Institute — PMI*), невосполнимые потери организаций по причине низкого качества управления проектами составляют на каждый миллиард долларов США 109 млн. долл. США [276]. Примерно такая же картина наблюдается и с выполнением сложных и мегапроектов в России. Таким образом, проектное управление на практике реализует не более половины своих возможностей.

В современном мире управления проектами сформировалось отдельное направление, которое ставит своей целью исследовать феномен комплексности и ее влияния на объекты управления, такие как проекты, программы, портфели проектов и программ. Существующие подходы и методологии [53-55,121,238,273,274], которыми пользуются профессионалы в разных странах мира сегодня, позволяют планировать, отслеживать, анализировать выполнение работ по проекту, осуществлять корректировку и принимать решения для осуществления задуманной изначально идеи и претворения замысла в жизнь. Вместе с тем количество неуспешных проектов, реализованных со значительным опозданием по срокам, превышением бюджета, недостижением желаемой цели и (или) требуемого качества, остается, по оценкам разных экспертов, большим. Неудача является «следствием того, что мы чего-то не знаем или не учли» [140]. Проблема заключается в том, что применяемые методы и средства управления проектами необходимы, но недостаточны.

Задача повышения эффективности управления объектами проектной деятельности и увеличения количества успешно реализуемых проектов актуальна для организаций и требует поиска новых подходов, разработки методов и инструментов, позволяющих эту задачу решить.

Одной из важнейших причин неудач при реализации проектов является их возрастающая комплексность и сложность. Рассмотрим факторы, в силу влияния которых проект становится комплексным.

Одним из важных факторов можно назвать процессы глобализации, которые происходят в современном мире. Они оказывают значительное влияние на развитие человечества в XXI в., поскольку возникают новые задачи, которые можно и нужно решать вместе. Число международных проектов с вовлечением в них большого количества участников из многих стран с каждым годом растет. Образование новых политических, экономических и других союзов и альянсов приводит к необходимости решать общие задачи, стоящие перед человечеством, с применением лучших практик разных регионов и стран. К примерам подобного рода проектов можно отнести *COMPLEX*, финансируемый Евросоюзом, включающий 17 партнеров из 11 европейских стран, задача которых – провести исследование в области новых энергетических технологий, позволяющих перейти к обществу со сниженным количеством углерода к 2050 г. И таких примеров множество. Необходимо иметь общий «язык», инструментарий, адекватную модель управления для таких комплексных проектов.

Среди факторов, воздействующих на проекты и способствующих возрастанию их сложности, следует отметить ускоряющийся темп развития человечества в целом. Как отмечает в своей статье А.В. Полковников, в современном мире «динамика бизнеса» повышается, растет уровень неопределенности как внутри организаций, так и во внешней, окружающей их среде [143]. Автор признает, что все больше возникает так называемых «открытых» проектов, основное отличие которых от проектов традиционного

типа состоит в невозможности и необязательности фиксации четких целей и будущих результатов. В ходе реализации проектов «открытого» типа цели и результаты постоянно уточняются и выкристаллизовываются.

Еще одним фактором, повышающим сложность и комплексность проектов, можно назвать саму объективную реальность, наш мир. Он становится более сложным, комплексным. С политической точки зрения мир более не дуален, он многополярен. В производстве с большой скоростью происходит развитие новых технологий (нано, ИТ), усложняется техника и оборудование. Люди меняются – становятся более мобильными, уверенными в себе, высококвалифицированными, компетентными. Развиваются новые направления в науке, прикладные и отраслевые решения, наблюдается взаимопроникновение наук и дисциплин, возникновение новых направлений научной мысли «на стыках». Процессы, усложняющие мир, находят отражение и в проектах как средствах совершенствования и развития организаций.

Все вышеперечисленные явления и тенденции не могут не сказываться на повышении сложности задач и комплексности проектов и программ как способах достижения целей и реализации этих задач.

В то же время можно заметить, что методы и средства управления проектами остаются детерминированными, с линейными связями и зависимостями, без учета свойств комплексных адаптивных систем. Сегодня традиционные методологические подходы и их инструментарий не соответствуют сложности (комплексности) мира и скорости его изменений. Комплексными проектами невозможно управлять, применяя детерминированные модели.

Таким образом, к факторам, приводящим к возникновению «комплексности» в проектах и программах, можно отнести:

- рост числа международных проектов с вовлечением разных стран;
- увеличение количества «открытых» проектов;
- нарастающую сложность процессов, систем, средств, инструментов, которыми пользуется человечество;

- парадигма мышления и методы управления остаются прежними, линейными и не соответствуют вызовам современности.

Следовательно, для комплексных проектов необходимо разрабатывать собственные методологии и инструментальные средства, адекватные для решения поставленных задач, – достигать целей в сроки и с требуемым качеством, удовлетворяя интересы всех вовлеченных участников, в условиях неопределенности и постоянной изменчивости внутренней и внешней среды.

В настоящее время наблюдается несоответствие традиционных методологических подходов и их инструментария сложности (комплексности) мира и скорости его изменений. Нарушен закон необходимости разнообразия Р.Эшби, одна из интерпретаций которого гласит: «При создании проблеморазрешающей системы необходимо, чтобы эта система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы. В противном случае такая система не сможет отвечать задачам управления, выдвигаемым внешней средой, и будет малоэффективной. Отсутствие или недостаточность разнообразия могут свидетельствовать о нарушении целостности подсистем, составляющих данную систему».

Помимо комплексности и нелинейности окружающей среды, в которой реализуются сегодня проекты, известно множество факторов, снижающих эффективность проектного управления, но необходимо выделить главные из них и найти способы снижения их влияния.

Управление проектами осуществляется как минимум на трех уровнях:

- 1) верхние эшелоны власти и управления бизнесом – уровень принятия стратегических решений, уровень основных стейкхолдеров;
- 2) уровень исполнителей: руководители проекта, управляющая команда;
- 3) операционный уровень: члены команды управления, специалисты офисов.

Объединим для наших целей второй и третий уровни и рассмотрим два получившихся уровня управления. От первого зависит около 50% успеха проектной деятельности, именно на нем сосредоточены все ресурсы и

принимаются важнейшие решения. Уровень исполнителей тоже играет большую роль, но они не распоряжаются ресурсами, а исполняют волю своих работодателей, т.е. руководителей первого уровня. Вместе с тем практически вся мировая методология и все современные стандарты сфокусированы в основном на роли и компетентности проектного менеджера и команды управления. Исключение, пожалуй, составляют подходы Японии и Австралии: в них верхним уровням уделено существенное внимание. Таким образом, на наш взгляд, одна из основных причин неуспешности проектного управления состоит в том, что верхние уровни управления слабо вовлечены в эту деятельность, а современная методология и технология проектного управления не учитывает в должной мере их интересы. Нужно менять привычную парадигму проектного управления – вместо взгляда на управление «снизу вверх» смотреть «сверху вниз».

При осуществлении достаточно сложных масштабных проектов и деятельности в процессе управления ими могут одновременно принимать участие разные заинтересованные стороны (*стейкхолдеры*), каждая из которых может иметь свою команду управления проектом во главе с собственным руководителем, наделенным соответствующими полномочиями и представляющим в проекте интересы данной стороны.

Как показано в системной модели и системной методологии [179], выбор методов и средств управления проектами в значительной мере определяется тем, управление какой из заинтересованных сторон проекта рассматривается в данном случае. Разные заинтересованные стороны в проекте отличаются разными ожиданиями, ролями, мерой ответственности и действиями. Это вызвано следующим: несмотря на то, что в проекте они являются партнерами, работающими на общий результат, у них могут быть различные цели в проекте, разные критерии успеха и оценки степени достижения своих целей, разные ценности и стратегии достижения целей. Эти различия существенно влияют на постановку ими задач проекта, используемые методы, инструменты и

технологии решения управленческих задач, ориентированные на их специфические потребности.

Рассмотрим эволюцию понятия «стейкхолдеры».

Изначально понятие «стейкхолдеры» было введено на уровне стратегического менеджмента применительно к организации, что можно считать первым этапом в эволюции понятия. Впервые термин «стейкхолдер» был предложен Р. Фрименом, автором теории и подхода стейкхолдеров (*stakeholder approach*), в 1984 году применительно к управлению организацией [221]. Теория стейкхолдеров занимает центральное место в понимании бизнеса и общества в целом и их взаимоотношений. Основными задачами, согласно данному подходу, являются описание, понимание, анализ и управление стейкхолдерами [203-205]. В зависимости от направления исследований, в теории стейкхолдеров выделяют три основных подхода – дескриптивный (описательный), инструментальный и нормативный.

Представители дескриптивного направления делают акцент на выявлении характеристик, присущих той или иной заинтересованной стороне и объяснении способов и методов управления ими, приводят кейс-стади. Среди авторов данного подхода можно упомянуть Р. Фримена [221,222], Дональдсона [217], Престона, Р. Золин, Оландера [263-265], Ландина, Н. Брукс и других. Приверженцы инструментального подхода, такие как Р. Тернер [167,281,282], С. Вейл, Л. Борн [203-205], Лоув [253] и другие, фокусируются на исследовании влияния применения теории стейкхолдеров на достижение целей организации. Ученые, придерживающиеся нормативного подхода, концентрируют внимание на разработке рекомендаций относительно того, как нужно учитывать этические, моральные и философские аспекты в теории стейкхолдеров. Среди авторов данного исследовательского направления можно выделить Yang et al [287,888] и других.

По мере накопления знаний и опыта в дополнение к исследованиям теории стейкхолдеров применительно к организации в целом для достижения ее

стратегических целей получило развитие прикладное направление в дисциплине управление проектами. Понятие «заинтересованные стороны» было первоначально привнесено в проект менеджмент для функциональной области – управление коммуникациями в проекте. На входе для разработки плана коммуникаций первым шагом должно стать выявление всех участников проекта как внутри организации, так и за ее пределами. Таким образом, теория стейкхолдеров получила развитие в управлении проектами, что можно считать вторым этапом эволюционирования понятия «заинтересованные стороны». В контексте данного направления в разное время разными авторами рассматривались отдельные аспекты, такие как важность учета интересов стейкхолдеров, связь их с критериями успеха и неудач проекта, классификация заинтересованных сторон, разработка специализированных методов и инструментов.

Очередной ступенью развития теории стейкхолдеров применительно к управлению проектами можно считать изменение акцента с «управления» (stakeholder management) заинтересованными сторонами на «вовлечение» (stakeholder engagement). Это связано с тем, что среди заинтересованных сторон в проектах имеются участники с сильным влиянием, принимающие главные решения по проектам на стратегическом и тактическом уровнях, такие, например, как инвестор, заказчик, регулирующие органы, государство. Менеджер проекта, осуществляя руководство проектом, не всегда может оказывать влияние на могущественных стейкхолдеров, от которых зависит финансирование, политические и другие решения. Фактически, влиятельные стейкхолдеры сами принимают решения по проекту, и управлять ими не представляется возможным. В то же время, их интересы, ожидания и требования должны быть учтены менеджером и командой проекта. Именно поэтому в последние годы получил распространение термин «вовлечение стейкхолдеров» взамен «управления стейкхолдерами».

Представляется целесообразным выделить четвертый этап в эволюции понятия «стейкхолдеры» в современном управлении проектами. На рис. 1 показаны ступени эволюции понятия «заинтересованные стороны».

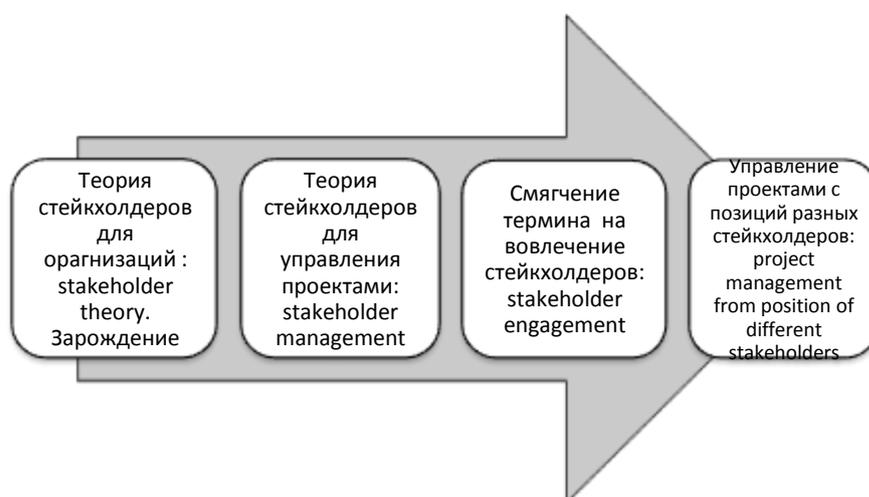


Рис. 1. Этапы эволюции понятия «стейкхолдеры»

Проанализировав эволюцию понятия «стейкхолдеры», можно отметить, что каждый их этапов отличает свой набор характеристик, которые целесообразно свести в единую табл. 1.

Таблица 1

### Характеристика этапов эволюции понятия «стейкхолдеры»

Этапы эволюции понятия «стейкхолдеры»	Аналог в англоязычной научной литературе	Область распространения	Раздел менеджмента	Особенности
Теория стейкхолдеров: зарождение	Stakeholder theory	Организация	Стратегический менеджмент	Фокус на влиянии стейкхолдеров на достижение организацией стратегических целей. Идентификация как важнейший инструмент.
Управление стейкхолдерами	Stakeholder management	Организация Проект	Стратегический и Проектный менеджмент	Фокус на управлении заинтересованными сторонами. Определены основные шаги и инструменты: идентификация, анализ интересов, классификация, оценка.
Вовлечение стейкхолдеров	Stakeholder engagement	Организация Проект	Стратегический и Проектный менеджмент	Фокус на вовлечении стейкхолдеров и разработке специализированных методов и способов. Стандартизация процессов, методов и инструментов.

Управление проектом с позиций разных стейкхол-деров	Project management from position of different interested parties	Проект и другие объекты проектной деятельности	Проджект менедж-мент	Постановка задачи моделирования деятельности разных заинтересованных сторон по управлению проектом и другими объектами проектной деятельности.
---	--	--	----------------------	--

Таким образом, рассмотрев и обобщив подходы и аспекты теории стейкхолдеров, можно сделать вывод, что понятие «стейкхолдеры» в своем эволюционном развитии:

- насчитывает четыре этапа, включая новейший подход – управление проектами и другими объектами проектной деятельности, каждый из которых характеризуется своими признаками и особенностями;
- идет по пути сужения сферы распространения – от организации в целом к проекту;
- стремится к более узкой специализации и развитию прикладных методов и инструментов.

## **1.2 Анализ этапов развития сетевых моделей, их содержание и классификация**

### **1.2.1 Детерминированные классические модели**

#### **Определения**

Наиболее часто используемым частным случаем общей модели управления проектом является классическая сетевая модель, которая содержит информацию о детерминированных параметрах работ и их логической взаимосвязи. Причем логические взаимосвязи также детерминированы и включают технологические зависимости между работами «конец-начало» только типа «не ранее».

Классическая (детерминированная) сетевая модель есть конечный граф  $G=(\Omega,A)$ , где  $\Omega$  – есть множество вершин, отождествляемых с событиями, а технологическая матрица (матрица смежности)  $A=\{p_{ij}\}$  задает множество ориентированных дуг, отождествляемых с работами ( $p_{ij}=1$  определяет работу

$(i,j)$ ; если события  $i$  и  $j$  дугой не связаны, то  $p_{ij}=0$ ). Каждой дуге  $(i,j)$  поставлен в соответствие количественный параметр  $t_{ij}$ , который определяет время выполнения работы  $(i,j)$ .

Система сетевого планирования и управления, основанная на применении детерминированных сетевых моделей, позволяет:

- формировать календарный план реализации некоторого комплекса работ;
- выявлять и мобилизовывать резервы времени, трудовые, материальные и денежные ресурсы;
- осуществлять управление комплексом работ с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе работ;
- повышать эффективность управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разных уровней и исполнителями работ.

Диапазон применения методов классического сетевого моделирования весьма широк: от задач, касающихся деятельности отдельных лиц, до проектов, в которых участвуют сотни организаций и десятки тысяч людей.

Важнейшими понятиями сетевой модели являются понятия полного и критического пути. Полный путь – любой путь, начало которого совпадает с начальным событием сети, а конец – с завершающим. Наиболее продолжительный полный путь называется критическим. Критическими называются также работы и события, расположенные на этом пути.

Временные параметры сети состоят из временных параметров событий ( $T_j$ ) и временных параметров работ.

$T_j$  ( $j \in \Omega$ ) – сроки свершения событий, должны удовлетворять соотношению:

$$T_i + t_{ij} \leq T_j \text{ для всех дуг } (i,j). \quad (1.2.1)$$

Различают ранние ( $T_j^0$ ) и поздние ( $T_j^1$ ) сроки свершения событий.

Так как в классической сетевой модели событие не может наступить прежде, чем завершатся все предшествующие работы, то ранний ( $T_j^0$ ) срок свершения  $j$ -

го события определяется продолжительностью максимального пути, предшествующего этому событию.

Для вычисления  $T_j^0$  необходимо сначала рассмотреть все события  $i$ , соединенные дугой  $(i,j)$  с данным событием  $j$  (это обозначается  $\forall i < j$ ), вычислить для них ранние времена и при этом на каждом шаге использовать формулу

$$T_j^0 = \max_{\forall i < j} \{ T_i^0 + t_{ij} \} \quad (1.2.2)$$

Вычисления начинаются с начального события (ранний срок свершения которого приравнивается к нулю) и продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто завершающее событие всей сети.

Задержка свершения любого события не отразится на сроке завершения всего проекта, пока максимальный из последующих за этим событием путей в сумме со сроком свершения не превысит длины критического пути. Поэтому поздний ( $T_j^1$ ) срок свершения  $j$ -го события определяется разностью между длиной критического пути и продолжительностью максимального пути, следующего за данным событием.

Вычисление позднего допустимого срока свершения события производится от завершающего события  $n$  (принимается  $T_n^1 = T_n^0$ ) к начальному с использованием на каждом шаге формулы

$$T_i^1 = \min_{\forall j > i} \{ T_j^1 - t_{ij} \} \quad (1.2.3)$$

Критическим временем выполнения комплекса работ называют раннее время наступления завершающего события  $n$ , очевидно, оно совпадает с длиной критического пути.

Критический путь имеет особое значение в системах сетевого планирования и управления. Действительно, срыв сроков выполнения какой-либо работы критического пути влечет срыв срока выполнения всего комплекса в целом, и, с другой стороны, для сокращения продолжительности проекта необходимо в

первую очередь сокращать продолжительность работ, лежащих на критическом пути.

Различают несколько разновидностей резервов времени работ, мы рассмотрим два основных вида: полный резерв и свободный резерв. Полный резерв работы (i,j) определяется по формуле:

$$R_{ij}^n = T_j^1 - T_i^0 - t_{ij} \quad (1.2.4)$$

$R_{ij}^n$  показывает, на сколько можно увеличить время выполнения данной работы при условии, что срок выполнения всего комплекса работ не изменится. Полный резерв критических работ равен 0. Увеличение продолжительности некритической работы за счет использования всего ее полного резерва влечет появление нового критического пути, частью которого является эта работа.

Опоздание начала некритической работы (i,j) по сравнению с  $T_i^0$  на всю величину ее полного резерва влечет за собой необходимость начинать все работы, выходящие из события j в наиболее позднее допустимое время  $T_j^1$  наступления этого события.

Свободный резерв времени  $R_{ij}^c$  работы (i,j) представляет часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменив при этом раннего срока ее конечного события. Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые ранние сроки.

$$R_{ij}^c = T_j^0 - T_i^0 - t_{ij}. \quad (1.2.5)$$

Таким образом, свободный резерв времени может быть использован на увеличение продолжительности данной работы без нарушения резерва времени последующих работ.

При временном расчете параметров сетевых моделей определяются сроки выполнения отдельных работ и выявляются наиболее важные (критические и подкритические) цепочки работ, от которых зависит своевременное окончание проекта (ввод объекта в эксплуатацию). Таким образом, характерной особенностью временного анализа проекта является классификация

информации о работах по степени ее важности с точки зрения завершения всего комплекса работ в установленный срок.

Количественной мерой важности работ являются их резервы времени или коэффициенты напряженности

$$K_{ij}^H = 1 - \frac{R_{ij}^n}{T_n^0 - T^{kp}(i,j)}, \quad (1.2.6)$$

где  $R_{ij}^n$  – полный резерв работы (i,j),  $T_n^0$  – критическое время выполнения проекта,  $T^{kp}(i,j)$  – продолжительность совпадающего с критическим путем отрезка максимального пути, содержащего работу (i,j).  $0 \leq K_{ij}^H \leq 1$ , причем, чем ближе  $K_{ij}^H$  к 1, тем относительно меньше резерва в запасе у работы (i,j), следовательно, выше риск ее невыполнения в заданные сроки. Работы могут обладать одинаковыми полными резервами, но степень напряженности сроков их выполнения может быть различна. И наоборот, различным полным резервам могут соответствовать одинаковые коэффициенты напряженности. Имея информацию, классифицированную подобным образом, руководитель проекта в каждый момент времени может определить, на каком участке следует сосредоточить внимание (и ресурсы) для ликвидации намечающихся отклонений от заданного срока завершения всех работ.

Результатом выполняемых на сетевой модели расчетов временных параметров проекта может являться календарный график (план), где каждая работа поставлена в ранний или поздний срок ее начала. При построении подобного календарного графика не учитывается наличие ресурсов, хотя одновременное выполнение некоторых работ из-за возможных на практике ограничений, связанных с рабочей силой, оборудованием, материальными и другими видами ресурсов, может оказаться невозможным.

## Учет ограничений по ресурсам и оптимизация их использования

В 1.2.1 была рассмотрена классическая детерминированная сетевая модель без учета ограниченности ресурсов, т.е. задача наилучшего распределения ресурсов как таковая не ставилась.

Задавая временную оценку продолжительности какой-либо работы, предполагалось использование для выполнения этой работы определенных ресурсов с определенной интенсивностью (интенсивность потребления ресурса – это количество ресурса, потребляемое в единицу времени).

Наличный уровень ресурсов и возможные сроки завершения проекта взаимосвязаны. Время завершения всего проекта будет зависеть от того, когда и какое количество ресурсов будет выделено на каждую работу, а это в значительной мере определяется их предполагаемым наличием в каждый момент времени.

Таким образом, процесс производственного планирования сводится к решению задачи об эффективном использовании ресурсов в сетевой постановке.

Критерии эффективности могут быть различны, на этом важном моменте планирования (выборе и обосновании критерия) мы остановимся ниже при рассмотрении конкретных задач.

В силу разного механизма удовлетворения потребности в ресурсах их принято разделять на две группы: накапливаемые (складируемые) и ненакапливаемые (нескладируемые). Вторую группу ресурсов часто называют «ресурсы типа мощности».

Пусть  $r_{ij}^k$  – интенсивность потребления  $k$ -го ресурса на работе  $(i,j)$ . Тогда величину  $v_{ij}^k = r_{ij}^k t_{ij}$  назовем объемом работы. Обозначим  $\varepsilon^k$  – множество работ, потребляющих ресурс  $k$ , а  $\varepsilon_t^k$  – множество работ, потребляющих ресурс  $k$  в момент времени  $t$  ( $\varepsilon^k = \bigcup_{\forall t} \varepsilon_t^k$ ), тогда общая потребность на всю программу в  $k$ -м ресурсе равна

$$V^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} v_{ij}^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} r_{ij}^k t_{ij}.$$

Пусть наличие ресурсов в каждый момент времени задано функцией  $A^k(t)$ . Если наличие ресурсов во времени неизменно, т.е.  $A^k(t)=A^k$ , то величина  $V^k/A^k$  – определяет минимальное время выполнения программы с точки зрения обеспеченности ресурсами.

Обозначим  $F^k(t) = \sum_{(i,j) \in \varepsilon_t^k} r_{ij}^k$  – потребность в ресурсе k в момент времени t.

Исходя из двух возможных целевых установок при управлении проектом, описанным сетевой моделью, возможны два основных типа постановки задач. Первый тип ориентирован на жесткое соблюдение ограничений по ресурсам, тогда как второй тип предполагает строгое выполнение сроков завершения проекта.

Формулировка первого типа постановки задачи («калибровка»).

При заданных ограничениях в потреблении ресурсов найти такое их распределение с учетом технологической последовательности ведения работ, определенной топологией сетевой модели, которое обеспечивает завершение всей программы за минимальное время.

Математическая постановка этой задачи имеет вид:

Найти такие сроки свершения событий i и j:  $T_i^*$  и  $T_j^*$ , что

$$T_j^* - T_i^* - t_{ij} \geq 0, \text{ для всех работ } (i, j); \quad (1.2.7)$$

$$A^k(t) \geq F^k(t), \text{ для всех } t \text{ и } k; \quad (1.2.8)$$

$$T_n^* \rightarrow \min. \quad (1.2.9)$$

Первое ограничение отображает требование соблюдения технологической последовательности работ.

Второе ограничение учитывает ограниченность ресурсов, т.е. в каждый момент времени потребность в ресурсе не должна превышать его наличия.

$T_n^*$  – срок свершения завершающего события.

Учитывая, что время выполнения программы не может быть меньше критического ( $T_n^0$ ), вычисленного без учета ограниченности ресурсов, то получаем оценку нижней границы времени, искомого в задачах «калибровки»:

$$T \geq \max\{T_n^0, \max_k\{V^k/A^k\}\}. \quad (1.2.10)$$

Такая постановка напоминает задачу Джонсона [243]. (В задаче Джонсона сеть – это совокупность линейных логически не связанных цепочек, описывающих порядок прохождения операций). Таким образом, задача Джонсона является упрощенным частным случаем проблемы распределения ресурсов и составления расписания для сетей.

Аналогичная постановка задачи для накапливаемых ресурсов отличается от предыдущей только видом ограничения (1.2.8), которое принимает вид:

$$\sum_{t=1}^{\tau} A^k(t) \geq \sum_{t=1}^{\tau} F^k(t), \text{ для всех } \tau \text{ и } k; \quad (1.2.11)$$

т.е. суммарная потребность в накапливаемом ресурсе от начала планового периода к любому моменту  $\tau$  не должна превышать суммарного объема поставок этого же вида ресурса за соответствующий период.

Формулировка второго типа постановки задачи («сглаживание»).

При соблюдении заданной продолжительности выполнения программы требуется так распределить ресурсы по отдельным работам, чтобы их потребление было оптимальным (в смысле некоторого критерия качества равномерности потребления ресурсов). Вопрос о выборе критерия оптимальности для этой постановки будет нами рассмотрен специально. Оптимальное распределение ресурсов при заданном времени – «сглаживание», является задачей, в некотором смысле обратной к рассмотренной выше. В большинстве случаев в качестве критерия оптимальности принимают меру неравномерности потребления ресурсов. Если  $T$  – заданное время выполнения программы, то  $R^{kcp} = V^k/T$  – среднее потребное количество ресурса  $k$  в единицу времени. В качестве меры неравномерности потребления ресурса могут быть выбраны различные функции, например:

$$\phi_1 = \sum_{\forall t} |F^k(t) - R^{kcp}|, \quad (1.2.12)$$

$$\phi_2 = \sum_{\forall t} (F^k(t) - R^{kcp})^2, \quad (1.2.13)$$

$$\phi_3 = \max_t |F^k(t) - R^{kcp}|, \quad (1.2.14)$$

$$\phi_4 = \max_t F^k(t), \quad (1.2.15)$$

$$\phi_5 = \sum_{\forall t} (F^k(t) - A^k(t))^2, \quad (1.2.16)$$

$$\phi_6 = \sum_{\forall t} (F^k(t) - A^k(t))\xi, \quad (1.2.17)$$

где  $\xi = \begin{cases} \xi_1 - \text{если } (F^k(t) - A^k(t)) > 0, \\ -\xi_2 - \text{если } (F^k(t) - A^k(t)) < 0. \end{cases}$

$\xi_1$  – удельные затраты, связанные с превышением потребности над наличием (для ресурсов типа “мощности” – стоимость сверхурочного времени),  $\xi_2$  – удельные затраты, связанные с избыточным наличием ресурса (для ресурсов типа “мощности” – стоимость простоя исполнителей или оборудования).

Выбор критерия связан со спецификой конкретной системы управления проектом и будет рассмотрен подробнее ниже.

Таким образом, математическая модель задачи «сглаживания» имеет вид:

Найти такие сроки начала и окончания работ  $(i, j)$   $T_i^*$  и  $T_j^*$ , что

$$T_j^* - T_i^* - t_{ij} \geq 0, \text{ для всех работ } (i, j); \quad (1.2.18)$$

$$T_n^* \leq T; \quad (1.2.19)$$

$$\phi_i \rightarrow \min. \quad (1.2.20)$$

Рассматриваемый ниже алгоритм носит эвристический характер, и основная его идея заключается в следующем (для упрощения примем  $k=1$  и  $A^k(t)=A$ , т.е. ресурс один и его наличие постоянно во времени):

*Процедура 1.* Производится расчет временных параметров сетевой модели и составляется линейная диаграмма, при этом начала работ  $(i, j)$  ставятся в ранние сроки свершения событий  $i$ .

*Процедура 2.* Последовательно (начиная с  $t=0$ ) проверяем соотношение (1.2.8) модели. Если оно выполняется (ресурса хватает на все работы, попавшие в данный интервал), то переходим к следующему интервалу времени и так до конца, в противном случае – к процедуре 3.

*Процедура 3.* Все работы, на которые в интервале  $\tau$  не хватило ресурса, упорядочиваем в соответствии с  $K_{ij}^H$  (вычисленным по (1.2.6), корректируя при этом полный резерв в (1.2.4) ранее начатых работ на число дней от их начала до  $\tau$ ). Сдвигаем работы по календарной шкале вправо в порядке возрастания  $K_{ij}^H$

(устанавливаем начало на  $\tau+1$  или прерываем работу в интервале  $\tau$ , если разрыв возможен), пока суммарная потребность в ресурсе оставшихся в данном интервале работ не придет в соответствие с его наличием. После этого производим пересчет временных параметров работ, расположенных в правой от  $\tau$  части линейной диаграммы, возвращаемся к процедуре 2, и процесс решения продолжается с интервала  $\tau+1$ .

Подробные описания этого алгоритма в литературе по календарному планированию на основе классических сетевых моделей приведены в [72], здесь мы приводим лишь принципиальную схему его работы и, далее, иллюстрируем его применение на примере, в связи с тем, что он положен в основу разработанного автором алгоритма, входящего в состав описанных далее средств оптимизации решений на основе циклических стохастических сетевых моделей. Это замечание относится и ко всем другим алгоритмам, проанализированным в настоящем разделе.

**Пример.** Имеется сетевая модель (рис.2).

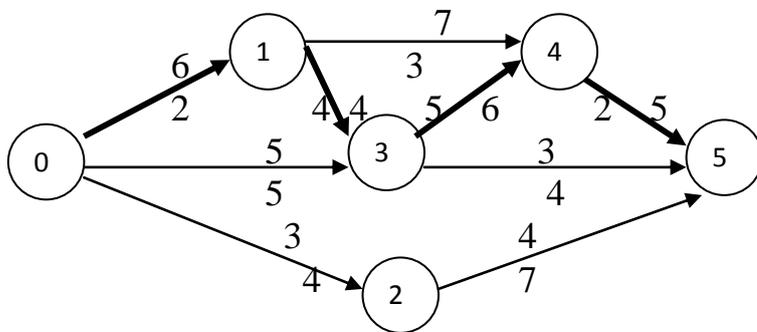


Рис.2. Пример детерминированной сетевой модели

Цифра под стрелкой означает временную оценку ( $t_{ij}$ ), цифра над стрелкой задает объем необходимого ресурса в единицу времени ( $r_{ij}$ ). Пусть  $A^k(t)=A=12$ .

Найдем суммарную трудоемкость всех работ

$$V = \sum v_{ij} = \sum r_{ij} t_{ij} = 6 \cdot 2 + 5 \cdot 5 + 3 \cdot 4 + 7 \cdot 4 + 4 \cdot 4 + 5 \cdot 6 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 7 = 173,$$

откуда получаем оценку для  $T$ :

$$T \geq \max \{ T_n^0, V/A \} = \max \{ 14, 173/12 \} = 15.$$

Применяя описанный выше алгоритм, получим время выполнения проекта  $T=17$ . Окончательный результат представлен на рис. 3-4. Как мы видим, совсем без резервов остались работы (1,4) и (4,5), у остальных работ, даже работ бывшего критического пути, появились резервы времени.

Алгоритм решения задачи «калибровка» для накапливаемых ресурсов в принципе проще предыдущего и здесь не приводится.

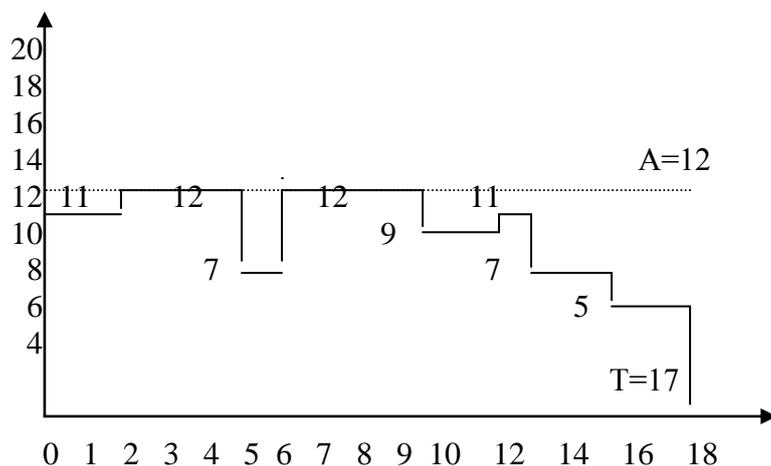


Рис.3. Откорректированный график выполнения работ

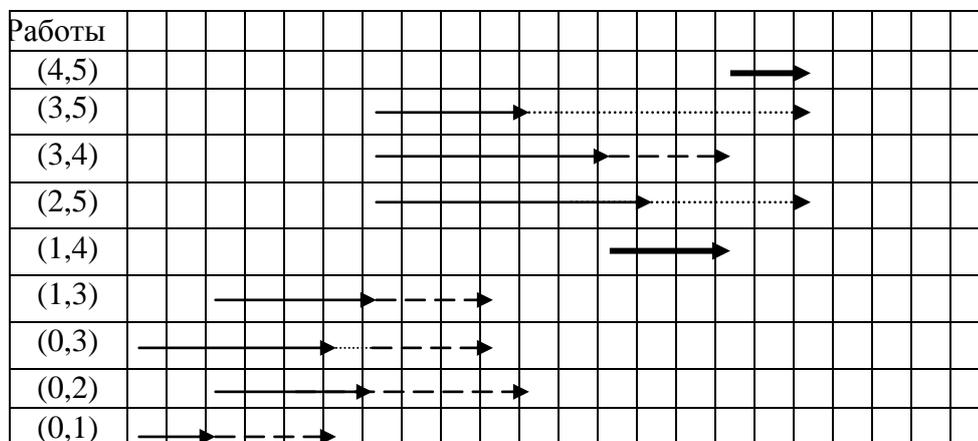


Рис. 4. Откорректированная эпюра потребности в ресурсе

Рассмотрим идею алгоритма минимизации максимального потребления ресурса (критерий  $\phi_4$  (1.2.15), см. процедуру «уплотнения» в [72]).

*Процедура 1.* Расчет временных параметров сетевой модели и составление линейной диаграммы по ранним срокам. Построение эпюры потребности в ресурсе. Вычисление уровня  $F = \max_t F^k(t)$ .

*Процедура 2.* Понижаем уровень  $F$  на 1. В интервалах времени, где наблюдается превышение потребности над уровнем  $F$ , пытаемся сдвинуть работы в пределах их резервов. Работы для сдвига выбираем в порядке возрастания коэффициентов напряженности.

Если подобным образом удалось ликвидировать все превышения над уровнем  $F$ , повторяем процедуру 2 сначала, иначе – стоп, получен оптимальный план.

Оптимизация сетевого графика методом “время– стоимость”.

Обозначим  $a_{ij}$  – минимально возможное время выполнения работы  $(i,j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^a$ ;  $b_{ij}$  – максимально возможное время выполнения работы  $(i,j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^b$ . Предполагается, что ускорение работы связано с дополнительными затратами (на привлечение дополнительной рабочей силы и оборудования, сверхурочные доплаты и т.п.). Имеем

$$\begin{aligned} a_{ij} &\leq t_{ij} \leq b_{ij}, \\ c_{ij}^b &\leq c_{ij} \leq c_{ij}^a; \end{aligned} \quad (1.2.21)$$

$c_{ij}$  – затраты, соответствующие времени выполнения  $t_{ij}$ .

Пусть зависимость затрат от времени выполнения линейная, т.е.  $c_{ij} = z_{ij} - y_{ij}t_{ij}$ , откуда, используя (1.2.21), получаем выражение для коэффициента пропорциональности

$$y_{ij} = (c_{ij}^a - c_{ij}^b)/(b_{ij} - a_{ij}) = \Delta c_{ij} / \Delta t. \quad (1.2.22)$$

Таким образом,  $y_{ij}$  характеризует затраты, связанные с сокращением продолжительности работы  $(i,j)$  на единицу времени. Будем называть  $y_{ij}$  – “ценой” сокращения работы  $(i,j)$  на единицу времени.

Если на всех работах принять  $t_{ij} = a_{ij}$ , то будет получено наименьшее критическое время  $T_{\min}^{kp}$ . Этому времени соответствуют наибольшие затраты, равные  $C^a = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij}^a$ ;

Если на всех работах принять  $t_{ij} = b_{ij}$ , то мы получим сетевой график, которому соответствуют наименьшие затраты, равные  $C^b = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij}^b$ , и наибольшее критическое время  $T_{\max}^{кр}$ .

При наименьшем критическом времени  $T_{\min}^{кр}$  можно уменьшить затраты, если «удлинить» не критические работы за счет их резервов времени. Ведь увеличение  $t_{ij}$  на единицу снижает ее стоимость на  $y_{ij}$ . Обозначим эти затраты через  $C^d$ , тогда можем утверждать, что для  $T = T_{\min}^{кр}$  минимальная стоимость равна  $C^d$ , и, в общем случае, для любого  $T \in [T_{\min}^{кр}, T_{\max}^{кр}]$  существует план с минимальными затратами  $C(T)$ . График функции  $C(T)$  приведен на рис. 5. Имея график зависимости стоимости проекта от продолжительности его выполнения можно, с одной стороны, определять минимальную стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой стороны, находить минимальную продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. С помощью функции  $C(T)$  можно также оценить дополнительные затраты, связанные с сокращением сроков завершения проекта.

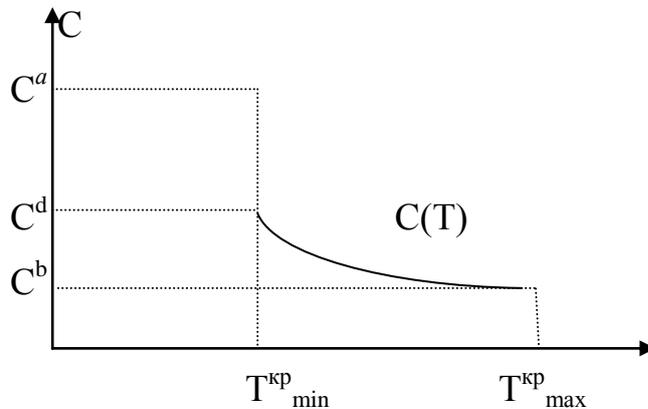


Рис. 5. Затраты и продолжительность работ

Если затраты линейно зависят от продолжительности работ, то нахождение  $C(T)$  можно свести к решению задачи линейного программирования вида:

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$ , что

$$T_j - T_i - t_{ij} \geq 0, \text{ для всех работ } (i, j); \quad (1.2.23)$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}, \quad (1.2.24)$$

$$T_n^0 \leq T, \quad (1.2.25)$$

$$C(T) = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij} = \sum_{\forall(i,j)} (z_{ij} - y_{ij} t_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1.2.26)$$

что эквивалентно

$$\sum_{\forall(i,j)} y_{ij} t_{ij} \rightarrow \max. \quad (1.2.27)$$

Эта задача решается методом Келли на основе теоремы о минимальном разрезе и максимальном потоке [72].

Мы рассматривали зависимости между затратами и временем выполнения работы, имея в виду лишь прямые затраты, поскольку выявить изменение косвенных (накладных) расходов от изменения продолжительности отдельной работы весьма затруднительно.

Косвенные затраты существенно зависят от времени завершения всей программы в целом, причем известно, что с увеличением срока выполнения проекта косвенные затраты возрастают.

В предположении линейной зависимости косвенных затрат от срока завершения проекта (что отображено на рис. 6 прямой LN) оптимальному плану (с учетом прямых и косвенных затрат) будет соответствовать точка М.

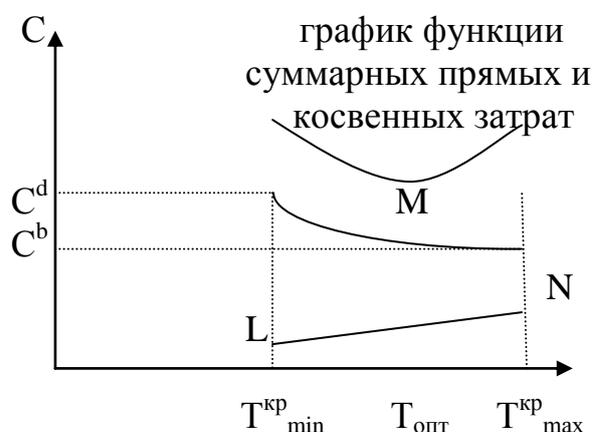


Рис. 6. Косвенные затраты и продолжительность проекта

С помощью вышерассмотренной модели “затраты – время” можно решить иную по сути, но аналогичную по математической постановке задачу минимизации общего числа исполнителей, необходимых при выполнении проекта при заданном сроке его окончания.

Будем трактовать  $c_{ij}^a$  как количество исполнителей, необходимое для выполнения работы (i,j) в минимально возможное время  $a_{ij}$ ; соответственно  $c_{ij}^b$

– количество исполнителей, необходимое для выполнения работы  $(i,j)$  в максимально возможное время  $b_{ij}$ .

Имеем аналогичные (1.2.21) соотношения

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij},$$

$$c_{ij}^b \leq c_{ij} \leq c_{ij}^a,$$

где  $c_{ij}$  – количество исполнителей, соответствующее времени выполнения  $t_{ij}$ .

В рассматриваемой задаче “цена” сокращения  $y_{ij}$  вычисляется также по формуле (1.2.22) и показывает, сколько исполнителей надо добавить, чтобы сократить время выполнения работы на единицу времени.

Расчеты детерминированной сетевой модели отличаются простотой, но в то же время дают весьма важную информацию для календарного планирования сложных проектов. Вследствие этого классические сетевые методы пользуются большой популярностью на практике. Эффективность этих методов обеспечивается благодаря наличию широкого спектра программных средств на ЭВМ, позволяющих строить, анализировать и корректировать сетевые модели проектов.

### **Многопроектные задачи детерминированного сетевого планирования с учетом ограниченности ресурсов и сроков**

Выше мы рассматривали задачи календарного планирования для одного проекта, тогда как крупная организация может одновременно выполнять несколько проектов, располагая единым резервуаром ресурсов. При этом возникают задачи оптимальной очередности проектов, когда их последовательность не ограничена или частично ограничена.

В общем виде задача оптимальной очередности проектов формулируется следующим образом. Требуется найти такую последовательность выполнения проектов, которой соответствует непротиворечивый календарный план, доставляющий экстремум целевой функции при соблюдении заданных ограничений.

В зависимости от вида целевой функции и ограничений задача очередности может иметь различные постановки, учитывающие специфику конкретных условий проектной организации.

Например, для строительной организации в качестве критериев оптимальности для многопроектных задач используют минимум общей продолжительности строительства комплекса объектов, его пусковых очередей или этапов работ; минимум простоев бригад и механизмов или перерывов работ на объектах; минимум отклонений расчетных сроков выполнения работ от директивных и др.

Ограничения в многопроектных задачах сетевого планирования формулируются как требования к использованию общего резервуара накапливаемых и ненакапливаемых ресурсов, соблюдение заданных сроков или продолжительности выполнения отдельных проектов или их групп, соблюдение объемов незавершенного производства выделенным объемам инвестиций. Таким образом, при формировании математической модели задачи оптимальной очередности проектов могут быть применены следующие критерии:

$$f = f_1 + f_2 \omega \rightarrow \min,$$

где  $\omega$  – коэффициент взвешивания цели;  $\omega$  предполагается существенно меньшим единицы.

Первое слагаемое целевой функции  $f_1$  определяет меру соответствия полученных при временном расчете сроков ввода объектов директивным срокам для объектов  $z \in M_1$  – подлежащих вводу в планируемый период.

Второе слагаемое  $f_2$  определяет меру соответствия выполнения объемов работ по задельным объектам  $z \in M_2$  согласно выделенным ассигнованиям.

При достаточно малом значении взвешивающего коэффициента  $\omega$  ( $\omega \ll 1$ ) влияние второго слагаемого целевой функции на расписание работ по объектам  $z \in M_1$  неощутимо, что соответствует принципу концентрации ресурсов на срочных объектах.

Второе слагаемое вводится в выражение целевой функции для определения приоритетности работ по заделным объектам при включении их в расписание.

Пусть  $T_z^*$  – расчетный срок ввода объекта  $z$ ,  $T_z^{дир}$  – директивный срок, тогда мера соответствия расчетных сроков ввода объектов директивным может быть выражена с помощью следующих функций:

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{дир}], \quad (1.2.28)$$

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{дир}]^2, \quad (1.2.29)$$

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} |T_z^* - T_z^{дир}|, \quad (1.2.30)$$

$$f_1 = \sum_{z \in M_{11}} [T_z^* - T_z^{дир}], \quad (1.2.31)$$

где  $M_{11} \subset M_1$  – множество объектов, для которых получено  $T_z^* > T_z^{дир}$ ,

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{дир}] \xi^z, \quad (1.2.32)$$

где  $\xi^z = \begin{cases} \xi_1^z & \text{для } z \in M_{11}, \\ \xi_2^z & \text{для } z \in M_{12}, \end{cases}$

( $M_{12} \subset M_1$  – множество объектов, для которых получено  $T_z^* < T_z^{дир}$ ),

$$f_1 = \max_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{дир}]. \quad (1.2.33)$$

Коэффициенты  $\xi_1^z$ ,  $\xi_2^z$  характеризуют соответственно потери или прибыль от задержки или досрочного ввода объекта в эксплуатацию.

В случае критерия (1.2.28) оптимальный план, которому соответствует минимальная алгебраическая сумма отклонений, допускает форсирование строительства одних объектов за счет других.

Критерий (1.2.29) является одной из лучших мер равномерности. Однако, использование этой функции не всегда целесообразно, так как она в равной мере оценивает как досрочный ввод, так и превышение директивного срока, что не всегда соответствует действительности.

Все, сказанное относительно (1.2.29), справедливо и для (1.2.30), причем при сложении абсолютных значений отклонений двухмесячное отклонение по одному объекту эквивалентно месячным отклонениям по двум объектам, что еще менее адекватно требованиям строительного производства.

Функции (1.2.31) присущи те же недостатки, что и (1.2.30), но в существенно меньшей степени, что определяет допустимость использования такого критерия для решения практических задач.

Функция (1.2.32) наилучшим образом отвечает специфике строительного производства. Однако, использование критерия такого вида предполагает обоснованное определение для каждого объекта коэффициентов  $\xi_1^z, \xi_2^z$ .

Функция (1.2.33) достаточно хорошо характеризует степень достижения основных целей строительной организации. И хотя экономическое «содержание» этой функции беднее, чем у (1.2.32), сравнительная простота алгоритмов решения задач на минимум максимального превышения расчетных сроков над директивными предопределяет ее выбор для практического использования.

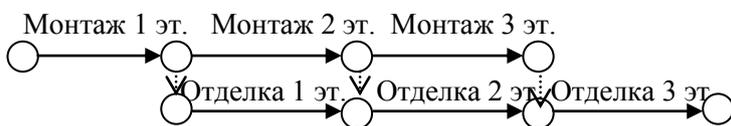
Функция  $f_2$  может принимать выражения, аналогичные (1.2.28) – (1.2.33), где множество  $M_1$  заменено на  $M_2$ ,  $T_z^*$  – на  $T_z^{**}$  ( $T_z^{**}$  срок завершения фрагмента сети, состоящей из работ объекта  $z$ , упорядоченных по возрастанию поздних сроков их начала, суммарная сметная стоимость которых равна выделенным ассигнованиям на данный объект),  $T_z^{\text{дир}}$  на  $T^{\text{пл}}$ . В силу принятых обозначений условие выполнения заданного объема работ в стоимостном выражении по объекту  $z \in M_2$  в течение планируемого периода может быть представлено как  $T_z^{**} \leq T^{\text{пл}}$ .

## 1.2.2 Обобщенные сетевые модели

### Определения

Рассмотренные выше детерминированные сетевые модели обладают рядом недостатков: они предполагают строгое предшествование работ, поэтому в таких сетевых моделях адекватно можно отобразить только независимо или последовательно выполняемые работы. Другие схемы выполнения работ (например, обязательно параллельное или частично совмещенное их выполнение) не поддаются точному описанию. Чтобы отобразить подобные

ситуации в традиционных сетевых моделях, прибегают к раздроблению работ. Например, работу «монтаж коробки здания» разбивают на работы «монтаж 1-го этажа», «монтаж 2-го этажа» и т.д., работу «отделка здания» на «отделку 1-го этажа», «отделку 2-го этажа» и т.д. Фрагмент сетевой модели представляется тогда в следующем виде:



Такой прием усложняет построение модели, увеличивает число работ сети, делает модель менее гибкой по отношению, например, к последовательности раздробленных работ или к изменению их продолжительностей. Кроме того, не исключено появление календарного плана, при котором работа «отделка здания» ведется с перерывами, что может быть неприемлемым в связи с требованием использования какого-либо ресурса (бригады, механизма) без простоя.

Традиционные сетевые модели, отражая одновариантную технологию и организацию работ, обладают низкой «устойчивостью» по отношению к изменениям, происходящим в объекте моделирования в процессе его функционирования, т.к. даже незначительные изменения в технологии выполнения работ требуют внесения существенных изменений в топологию сети.

Обобщенные сетевые модели (ОСМ), разработанные В.И.Воропаевым в конце 60-х годов [40], лишены перечисленных выше недостатков.

Основные отличия обобщенных сетевых моделей от традиционных заключаются в следующем:

- вводится возможность задавать соотношения на сроки свершения событий не только «не ранее», но и «не позднее»;
- события (вершины) в ОСМ соответствуют факту начала или окончания работы (или ее части), а не возможности начала исходящих из них работ, как это принято в традиционных сетях;

- вводятся дуги отрицательной длины;
- разрешается наличие циклов (правда, для обеспечения непротиворечивости модели, только отрицательной длины);
- можно задавать «абсолютные» ограничения на сроки свершения любых событий.

Обобщенная сетевая модель представляет собой ориентированный граф  $G=(\Omega,A)$ , который описывается системой неравенств:

$$T_j \geq T_i + \psi_{ij} \quad (1.2.34)$$

для любой дуги графа и

$$l_i \leq T_i \leq L_i, \quad (1.2.35)$$

где  $T = \{T_i\}$  – искомые сроки свершения событий,  $\psi_{ij}$  – произвольные действительные числа,  $l_i$  и  $L_i$  – “абсолютные ограничения” (на тех событиях, где они не заданы, принимается  $l_i = -\infty$ ,  $L_i = +\infty$ ).

Как и в детерминированных сетевых моделях  $\Omega$  есть множество вершин (событий), а матрица смежности  $A$  содержит только булевы значения (0 или 1).

Если событие  $i$  определяет момент начала работы  $(i,j)$ , а событие  $j$  момент ее окончания, то неравенство (1.2.34) при положительном значении  $\psi_{ij}$  совпадает по смыслу с аналогичным неравенством в традиционных сетях (1.1.2), причем  $\psi_{ij}$  равно минимальной продолжительности этой работы  $t_{ij}^{\min}$ . Максимальную продолжительность работы  $(i,j)$  задают с помощью отрицательного параметра  $\psi_{ji}$ , равного  $(-t_{ij}^{\max})$ . Требование непрерывности выполнения работы  $(i,j)$  реализуется заданием параметров  $\psi_{ij} = -\psi_{ji}$ .

Если события  $i$  и  $j$  принадлежат разным работам и связаны дугой  $(i,j)$ , то она интерпретируется как технологическая зависимость:

- при положительном значении  $\psi_{ij}$  событие  $j$  может свершиться не ранее чем через  $\psi_{ij}$  единиц времени после свершения события  $i$ ;

- при отрицательном  $\psi_{ij}$  событие  $i$  должно наступить не позднее чем через  $|\psi_{ij}|$  единиц времени после свершения события  $j$  (такие дуги называются “обратными”).

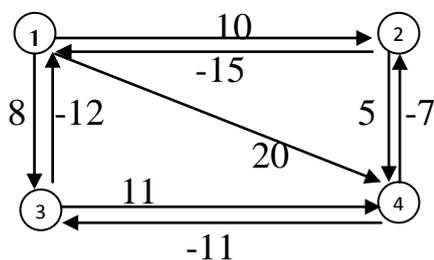


Рис. 7. Обобщенные сетевые модели (фрагмент)

На приведенном фрагменте обобщенной сетевой модели (рис. 7) заданы две работы (1,2) и (3,4), причем продолжительности работ удовлетворяют требованиям:  $10 \leq t_{1,2} \leq 15$  и  $t_{3,4}=11$  (работа (3,4) должна выполняться без перерыва). Начинать работу (3,4) можно не ранее чем через 8 дней, но и не позднее чем через 12 после начала работы (1,2). Закончена работа (3,4) должна быть не ранее чем через 5 дней и не позднее чем через 7 после окончания работы (1,2), кроме того окончание работы (3,4) технологически связано с началом работы (1,2) – между этими событиями должно пройти не менее 20 дней.

Как мы видим даже на этом маленьком примере, обобщенные сетевые модели способны обеспечивать более адекватное моделирование технологических процессов при управлении проектами, чем традиционные сетевые модели.

Особенно большое значение такие модели приобретают при решении задач оптимизации планов по различным критериям, связанным с использованием ресурсов и соблюдением специальных технологических и организационных требований. К таким требованиям относится, например, условие непрерывности выполнения работ исполнителями на одном или разных проектах, непрерывность или ограничение перерывов между работами, ограничение сроков выполнения некоторых комплексов работ и т.п.

Эти требования также реализуются заданием соотношений типа (1.2.34)–(1.2.35) для соответствующих событий сети.

### **Методы расчета параметров обобщенных сетевых моделей**

Обобщенные сетевые модели позволяют без существенных изменений использовать основные понятия традиционного сетевого моделирования, такие как ранние и поздние сроки, резервы времени, критический путь и др. Вычисление этих параметров производится с помощью некоторым образом модифицированных алгоритмов, рассмотренных нами выше для традиционных сетей.

Принципиальное отличие расчета ОСМ от традиционных сетей связано с наличием в ОСМ контуров. Прежде всего, доказывается теорема, утверждающая, что для того, чтобы обобщенная сетевая модель была технологически непротиворечивой (т.е. существовал хотя бы один допустимый план), необходимо и достаточно, чтобы сеть с условиями (1.2.34)–(1.2.35) не имела контуров положительной длины [40].

Модификация алгоритма Форда для расчета временных характеристик ОСМ получила название алгоритма «Маятник» и основана на разбиении сети  $G$  на две сети  $G_1$ ,  $G_2$  без контуров и упорядочении вершин выделенных подсетей [42].

Идея алгоритма «Маятник» для расчета плана ранних сроков состоит в том, что на первом этапе расчета находят значения  $T_j^0 = \max_{i \ll j} \{T_i^0 - \psi_{ij}\}$ , двигаясь по дугам сети  $G_1$ . Возвращаются «назад» по дугам сети  $G_2$  и корректируют полученные раннее значения. Вычисления идут до тех пор, пока результаты какого-либо этапа не совпадут с результатами предыдущего этапа. При этом число этапов не менее двух и не более, чем общее число дуг в сети  $G_2$ . Аналогичная идея лежит и в методе расчета плана поздних сроков  $T_j^1$ . Важная особенность ОСМ заключается в том, что определяются (и используются при дальнейшей оптимизации планов) резервы

времени событий, а не работ, как в традиционных сетях, т.к. события в ОСМ соответствуют началам и окончаниям работ, поэтому вычисление временных параметров событий соответственно определяет временные параметры работ.

Полные резервы времени событий определяются по формуле

$$R_i = T_i^1 - T_i^0, \quad (1.2.36)$$

а частные по формуле

$$r_i = \min_k (T_k^0 - \psi_{ik}) - T_i^0. \quad (1.2.37)$$

Справедливо соотношение  $R_i \geq r_i \geq 0$ .

Таким образом, различные состояния обобщенной работы могут иметь разные резервы времени, минимальный из которых показывает, на сколько можно отложить выполнение данной работы, не меняя продолжительности ее частей. Разность между резервами «смежных» событий одной работы показывает, насколько можно сократить (или увеличить, в зависимости от знака этой разницы) продолжительность выполнения данной части работы.

**Алгоритм решения задачи распределения ограниченных ресурсов при минимизации времени выполнения проекта (описанного обобщенной сетевой моделью).**

Алгоритм «калибровка», используемый для решения аналогичной задачи при традиционном сетевом описании проекта, не применим к ОСМ, поэтому был разработан эвристический алгоритм, который учитывает особенности ОСМ [42]. Специфика ОСМ, связанная с наличием контуров, не позволяет произвольно растягивать план, поэтому принципиальным отличием этого алгоритма от традиционной «калибровки» является разделение фронта работ  $\Phi t$ , подлежащих включению в план в рассматриваемое время  $t_{тек}$ , на так называемые «обязательные» и «необязательные» работы. Для «обязательных» работ выполняется условие

$$\min\{T_i^{n3}, T_i^{n2}\} = t_{тек} \quad (1.2.38)$$

где параметр  $T_i^{n3}$  есть поздний срок начала работы  $(i,j)$  с учетом уже включенных в план работ, т.е. он учитывает влияние «обратных» зависимостей ОСМ. Параметр  $T_i^{n2} = T_i^1 + \Delta\mu$ , где  $\Delta\mu$  есть величина разрешенной задержки, на которую можно отложить выполнение работ проекта  $\mu$  по сравнению с его поздним сроком.

“Необязательные” работы упорядочиваются в порядке возрастания  $\min\{T_i^{n3}, T_i^1\}$ , что также связано с обеспечением требования минимизации сроков выполнения работ. Кроме того, обеспечивается возможность задания приоритетов работ по желанию пользователя. Затем выполняются процедуры назначения ресурсов, проверки допустимости, пересчет временных характеристик, подобные описанным выше, при этом учитывается обобщенный характер сетевой модели, т.е. возможность наличия в ОСМ “обратных” зависимостей, идущих от не включенных в расписание работ к включенным, которые нельзя сдвигать.

#### **Задача минимизации показателя качества потребления ресурсов при заданном времени выполнения проекта.**

Задана ОСМ, которая описана системой неравенств (1.2.34)–(1.2.35). Для каждой работы  $(i,j)$  с продолжительностью  $t_{ij}$  задано количество  $v_{ij}^k$  потребления используемых ею нескладируемых ресурсов вида  $k$ , и пусть  $V^k(t) = \sum v_{ij}^k / t_{ij}$ , где суммирование ведется по всем работам  $(i,j)$ , выполняемым в момент времени  $t$ . Предполагается, что работы выполняются без перерывов с постоянной интенсивностью. Пусть  $R^k(t)$  – желаемая величина потребления  $k$ -го вида ресурса в момент времени  $t \in [T^H, T^O]$ . Она может быть равна величине наличных ресурсов или величине среднего за период  $[T^H, T^O]$  количества потребления ресурсов

$$V_{cp}^k = \sum_{t \in [T^H, T^O]} V^k(t) / (T^O - T^H). \quad (1.2.39)$$

Требуется найти такой допустимый план, чтобы отклонение потребляемых ресурсов  $V^k(t)$  от желаемой величины  $R^k(t)$  было минимальным.

В качестве критерия неравномерности отклонения  $V^k(t)$  от  $R^k(t)$  наиболее часто используются следующие критерии:

$$f_1(T^*) = \min_{T^* \in T} \sum_k \lambda_k \max_{t \in [T^H, T^O]} |V^k(t) - R^k(t)|, \quad (1.2.40)$$

где  $\lambda_k$  – весовой коэффициент, характеризующий важность  $k$ -го вида ресурса, или

$$f_2(T^*) = \min_{T^* \in T} \sum_{t \in [T^H, T^O]} \sum_k \lambda_k (V^k(t) - R^k(t))^2. \quad (1.2.41)$$

Для решения сформулированных задач разработаны ряд алгоритмов типа “Сглаживание” [42], суть которых заключается в сочетании метода статистических испытаний и метода локального спуска. Сначала с помощью датчика случайных чисел “разыгрывается” некоторое количество вариантов плана  $T_s^0 \in T$ . В каждом варианте плана времена начал работ  $(i,j)$  должны находиться в интервале  $[T_i^0, T_i^1]$ . Для каждой работы генерируется равномерно распределенная на отрезке  $[0,1]$  случайная величина  $\xi$ .

Затем вычисляется возможная координата начала этой работы по формуле  $T_i^H = T_i^0 + \xi(T_i^1 - T_i^0)$ , которая добавляется к абсолютным ограничениям системы 1.2.34–1.2.35, после чего производится пересчет временных параметров ОСМ с учетом дополнительных абсолютных ограничений алгоритмом «Маятник». Полученный  $s$ -й случайный план является допустимым по построению, затем он улучшается методом локального спуска, т.е. находится вектор  $T_s^1$  такой, что  $f(T_s^1) < f(T_s^0)$ , где  $f$  – значение выбранного критерия.

Локальный спуск при каждом критерии имеет свою специфику, так, для случая минимизации максимума отклонения ( $f_1$ ) находится момент времени  $t^{\text{пик}}$ , в котором функционал  $f_1$  принимает максимальное значение. Множество работ, стоящих в расписании во время  $t^{\text{пик}}$ , упорядочивают по приоритетам, причем в качестве приоритетов могут по желанию пользователя выступать:

- величина полных или частных резервов времени работы;
- интенсивность потребления работой различных видов ресурсов;

- величина, обратно пропорциональная числу работ, связанных с данной работой и т.п.

Последовательно в порядке убывания приоритетов работы сдвигаются с момента времени  $t^{\text{пик}}$  влево или вправо, если резерв времени позволяет это сделать, при этом пересчитывается значение функционала  $f_1$ , и данная процедура выполняется до тех пор, пока происходит уменьшение  $f_1$ .

После нахождения локального оптимума  $T_s^1$  опять возвращаются к первому этапу, т.е. моделируется методом статистических испытаний новый вектор плана  $T_{s+1}^0$  ( $s+1$  шаг), из которого ищется новый локальный оптимум  $T_{s+1}^1$ . Полученное таким итеративным способом решение и представляет собой близкий к глобальному оптимуму план.

В случае минимизации среднеквадратического отклонения (критерий  $f_2$ ) поиск локального оптимума производится пошаговым единичным сдвигом влево и вправо каждой работы. Очередь работ при этом либо соответствует порядковому номеру работы, либо представляет случайную последовательность.

Высокая степень гибкости и устойчивости обобщенных сетевых моделей при практически том же порядке трудоемкости подготовки исходных данных по сравнению с традиционными сетевыми моделями позволяет использовать их в качестве основы для развития и широкого внедрения методов моделирования и оптимизации в системах управления проектом различного назначения.

### 1.2.3 Вероятностные сетевые модели

#### Определения

Выше рассматривались постановки задач календарного планирования, не учитывающие вероятностный характер процесса проектирования. Однако во многих случаях при планировании и управлении созданием нового проекта продолжительность работ сетевого графика является случайной величиной, подчиненной некоторому закону распределения. Что касается параметров

распределения, то последние задаются для каждой работы их ответственными исполнителями на основе либо нормативных данных, либо априорных соображений, либо своего производственного опыта.

В первых вероятностных сетевых моделях (PERT) для каждой работы задавались три оценки продолжительности выполнения:

- наиболее вероятное время выполнения  $m$ ;
- оптимистическая оценка времени  $a$ ;
- пессимистическая оценка времени  $b$ .

Наиболее вероятное время определяется как время выполнения работы при нормальных условиях. Оптимистическая и пессимистическая оценки задают размах колебаний продолжительности работы под влиянием неопределенности.

Вероятностная сетевая модель типа PERT предполагает, что продолжительность любой работы  $t$  есть случайная величина, распределенная по закону бета-распределения на отрезке  $[a, b]$  с плотностью

$$\varphi(t) = C(t - a)^{p-1}(b - t)^{q-1}. \quad (1.2.42)$$

Ожидаемая продолжительность работы приближенно определяется как  $\mu = (a + 4m + b)/6$ . Среднеквадратическое отклонение от среднего значения  $\sigma = (b - a)/6$ .

### **Вероятностные методы, применяемые в системе PERT.**

В системе PERT с помощью заданных пользователем трех оценок продолжительности всех работ по вышеприведенным формулам вычисляется средняя продолжительность  $\mu$  и ее дисперсия  $\sigma^2$ . Рассматривая среднее значение как фактическую (детерминированную) продолжительность работы, определяют все временные характеристики сети (и критический путь). При этом продолжительность всего проекта определяется как случайная величина, математическое ожидание которой есть сумма средних продолжительностей работ, находящихся на критическом пути, а дисперсия, аналогично, равна сумме всех дисперсий, при допущении, что продолжительности всех работ независимы.

В общем случае ожидаемое время  $Mt(i)=M(i)$  свершения любого  $i$ -го события определяется как сумма математических ожиданий времени выполнения работ, лежащих на максимальном пути  $L$  между исходным ( $0=i_0$ ) и  $i$ -м событиями:

$$M(i) = \sum_{v=1}^n Mt(i_{v-1}, i_v), \quad (1.2.43)$$

если  $L = i_0 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_n = i$  и  $Mt(L) \geq Mt(L')$ , где  $L'$  любой другой путь между  $0$  и  $i$ -м событиями. Аналогично определяется и дисперсия времени свершения  $i$ -го события:

$$D(i) = \sigma^2(i) = Dt(L) = \sum_{v=1}^n Dt(i_{v-1}, i_v). \quad (1.2.44)$$

Предполагая выполненными условия центральной предельной теоремы, закон распределения времени окончания проекта (в общем случае, любого события  $i$ ), можно считать близким к нормальному, вследствие чего допустимо использовать интегральную формулу Муавра-Лапласа. Таким образом, оценка  $p_i$  вероятности свершения  $i$ -го события в запланированный срок  $t^{пл}(i)$  вычисляется по формуле:

$$P\{t(i) \leq t^{пл}(i)\} = (1/2)\{\Phi[(t^{пл}(i) - M(i)) / \sigma(i)] + 1\}, \quad (1.2.45)$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа (таблица ее значений приведена во всех справочниках по теории вероятности).

Вероятность отсутствия резерва времени для момента окончания работы ( $i, j$ ) оценивается по формуле:

$$P_1(j) = 1 - \Phi[(T_j^1 - T_j^0) / \sigma(j)]. \quad (1.2.46)$$

### **Двухоченочная методика.**

После анализа большого количества сетевых проектов был построен закон распределения продолжительности выполнения работ с плотностью, зависящей лишь от двух параметров [51]:

$$p(x) = [12/(b-a)^4](x-a)(b-x)^2. \quad (1.2.47)$$

Это распределение относится к классу бета-распределений и имеет следующие параметры:

- математическое ожидание  $M(x) = (3a+2b)/5$ ;
- моду  $m = (2a+b)/3$ ;

- дисперсию  $D(x) = \sigma^2(x) = 0.04(b - a)^2$ .

Методика оценки параметров распределения на основании двух задаваемых временных оценок отличается рядом преимуществ по сравнению с трехоценочной методикой системы PERT, прежде всего, за счет уменьшения объема информации, который требуется от исполнителя работы. Эту методику можно с одинаковым успехом применять как при расчете детерминированных (или близких к ним) сетей, так и при моделировании стохастических сетевых проектов.

К недостатку двухоценочной методики следует отнести тот гипотетический факт, что при отказе от использования наиболее вероятной оценки  $m$  для некоторых видов работ может деформироваться закон распределения продолжительности этих работ в сторону большего отклонения от действительного. Однако статистический анализ, проведенный в [51], показал несущественность подобных расхождений. Причем производилось сравнение двух эмпирических совокупностей, полученных по двух и трехоценочной методикам с помощью критерия Вилькоксона, а также с эмпирическим распределением реальных продолжительностей работ на основе статистических критериев согласия Пирсона и Колмогорова.

Изложенная выше двух и трехоценочная методика расчета временных параметров вероятностных сетевых моделей обладает рядом недостатков и может быть применима для достаточно узкого класса сетевых моделей, что подробно проанализировано в [22].

### **Аналитические методы оценки вероятностных параметров проекта**

В работе [182] описаны аналитические методы уточнения оценки математического ожидания самых ранних сроков свершения событий, входящих в сетевую модель. Суть предлагаемых методов заключается в следующем. Ищется нижняя оценка  $\eta_i$  математического ожидания  $\mu_i$  самого

раннего срока свершения события  $i$ , удовлетворяющая соотношению  $g_i \leq \eta_i \leq \mu_i$ , где  $g_i$  – оценка для  $\mu_i$ , полученная по методике PERT.

Если обозначить через  $B_i$  – совокупность работ, непосредственно предшествующих событию  $i$ ,  $t_{Bi}$  – случайный вектор длительностей этих работ с совместным распределением  $p(t_{Bi})$ ,  $A_i$  – совокупность номеров событий, непосредственно предшествующих событию  $i$  (при топологически упорядоченной сетевой модели), то, полагая  $\eta_1 = 0$ , для  $i=2,3,\dots,n$   $\eta_i$  вычисляются по рекуррентной формуле

$$\eta_i = \sum_{\forall B_i} p(t_{Bi}) \max_{\forall j \in A_i} \{ \eta_j + t_{ji} \}. \quad (1.2.48)$$

Оценки, полученные по формуле 1.2.48, на 15-20% имеют меньшую систематическую погрешность, нежели оценка для  $\mu$ , полученная по методике PERT, но они не могут использоваться для получения какой-либо информации о законе распределения ранних сроков. Аналитический метод решения этой задачи приведен в [182]. Однако для расчета параметров крупных сетей аналитические методы практически нереализуемы, т.к. при операции свертки получаются интегралы очень большой размерности.

### **Метод статистического моделирования**

Метод статистического моделирования, предложенный в [51], позволяет получать оценки временных параметров сети, сравнимые по погрешности с аналитическими методами. При этом метод прост в вычислительном аспекте и легко реализуем на ЭВМ.

Предполагая использование метода статистического моделирования для решения поставленной в настоящей работе задачи, разберем его подробнее.

Метод статистических испытаний для оценки временных параметров сетевой модели состоит в имитации продолжительности выполнения всех входящих в сеть работ с последующим расчетом для теперь уже детерминированной сетевой модели значений искомых параметров, в многократном повторении процедуры такого “розыгрыша” и, в заключение, в оценке вероятностных характеристик полученного эмпирического распределения этих параметров.

“Розыгрыш” значения продолжительности выполнения каждой из работ  $(i,j)$  сводится к генерации случайной величины, распределенной по закону, принятому для данной работы.

Разработаны и программно реализованы процедуры для генерации случайной величины, распределенной равномерно, нормально и по закону бета-распределения, при двух и трехоченочной методике. Кроме того, модифицированный метод Неймана является универсальным, и применим для реализации произвольных законов распределения.

Повторяя  $N$  раз «розыгрыш» значений  $t(i,j)$ , получают набор значений  $T^h_1, \dots, T^h_N$ ,  $h$ -го временного параметра сети, относящегося или к отдельной работе (ранние и поздние сроки начала и окончания, резервы), или к событиям (ранние и поздние сроки свершения), или сетевой модели в целом (длина критического пути и т.п.). Значения  $T^h_1, \dots, T^h_N$  имеют эмпирическое распределение и с помощью гистограммы этого распределения находят  $p$ -квантили каждого  $h$ -го временного параметра  $W^h_p$ . Таким образом, с вероятностью  $p$  реальное значение  $h$ -го временного параметра не превышает величины  $W^h_p$ .

Вводится понятие  $p$ -квантильного коэффициента напряженности пути  $L$ , определяемого по формуле:

$$k_p^H(L) = W_p\{k^H(L)\}, \quad (1.2.49)$$

где  $k^H(L)$  – коэффициент напряженности пути  $L$  в детерминированной сети (см. 1.2.1),

$$k^H(L) = (t(L) - t'_{кр}(L)) / (t_{кр} - t'_{кр}(L)). \quad (1.2.50)$$

Здесь  $t'_{кр}(L)$  обозначает продолжительность участка критического пути, совпадающего с путем  $L$ ,  $t(L)$  – длина пути  $L$ , а  $t_{кр}$  – длина критического пути в сети.

Значение  $p$ -квантильного коэффициента напряженности для работы  $(i,j)$  оценивается по формуле:

$$k_p^H(i,j) = W_p\{K^H_{ij}\}, \quad (1.2.51)$$

где  $K_{ij}^H$  определяется по формуле (1.2.6) для детерминированных моделей.

Используя р-квантильные коэффициенты напряженности, осуществляется разбиение входящих в сетевую модель работ на критическую, промежуточную и резервную зоны:

- р-квантильная критическая зона содержит работы с  $W_p\{K_{ij}^H\} > p_1$ , где значение  $p_1$  близко к единице ( $p_1 \approx 0.8 \div 0.9$ );
- р-квантильная зона резервов объединяет работы со значениями  $W_p\{K_{ij}^H\} < p_2$ , где  $p_2$  близко к нулю ( $p_2 \approx 0.2$ );
- р-квантильная промежуточная зона содержит работы с  $p_2 \leq W_p\{K_{ij}^H\} \leq p_1$ .

В [94] описан другой алгоритм расчета вероятностных коэффициентов напряженности, основанный на оценке вероятности попадания работы в критические зоны в случае конкретной реализации сетевого проекта.

Описанные выше р-квантильные значения параметров вероятностной сетевой модели являются теоретико-вероятностными аналогами соответствующих параметров, определяемых в детерминированных сетях с фиксированными временными оценками.

### **Характеристика области использования вероятностных моделей**

Рассмотренные нами вероятностные модели и методы определения их временных характеристик использовались большей частью для временного анализа сети и иногда для решения оптимизационных задач типа «время-стоимость».

Основные результаты, получаемые в процессе статистического моделирования вероятностных сетей, следующие:

- получение с определенным уровнем достоверности минимального и максимального времени выполнения проекта;
- получение также с некоторым уровнем уверенности минимального и максимального времени свершения наиболее важных событий;

- оценка вероятности попадания некоторого события на критический путь;
- оценка вероятности попадания работы на критический путь;
- выделение с некоторым уровнем доверительности критического и резервного подграфов.

Имитационные методы представляют собой более надежную базу (по сравнению с аналитическими) для анализа характеристик вероятностной сетевой модели, поскольку они не связаны с конкретным распределением, позволяя сравнивать между собой большое количество разных распределений. Кроме того, они позволяют просмотреть гораздо большее число возможных реализаций даже по одним и тем же распределениям.

#### **1.2.4 Альтернативные сетевые модели**

До сих пор мы рассматривали модели с детерминированной топологией сети. При моделировании сложного проекта нередко наиболее гибкими и полезными оказываются сетевые модели с альтернативной структурой. Альтернативную сеть определяют как сеть, содержащую альтернативные узлы (состояния), при этом дуги (работы) характеризуются не только вероятностным распределением продолжительности, но и вероятностью их выполнения (GERT-сеть [218,226,227,271]).

Альтернативная сетевая модель с множеством возможных исходов, являясь дальнейшим развитием традиционных сетей, дает возможность полнее отобразить процесс разработки и создания сложного проекта. Применяемый для анализа альтернативных сетевых моделей математический аппарат позволяет вычислять вероятности различных альтернативных исходов, оценивать время их возможной реализации.

Альтернативная сетевая модель есть конечный граф  $G=(\Omega,A)$ , где  $\Omega$ — есть множество детерминированных и альтернативных вершин, отождествляемых с событиями, а технологическая матрица  $A=\{p_{ij}\}$  задает множество

ориентированных дуг, отождествляемых с работами (или связями). Для альтернативных сетей  $0 \leq p_{ij} \leq 1$ , причем  $p_{ij} = 1$  определяет работу (i,j) аналогично принятым в традиционных сетях определениям, а  $0 < p_{ij} < 1$  соответствует альтернативному событию i, из которого с вероятностью  $p_{ij}$  «выходит» работа (i,j). Другими словами  $p_{ij}$  – вероятность того, что работа (i,j) будет выполнена при условии, что узел i выполнен.

Пусть  $\varphi(t_{ij})$  – плотность распределения времени выполнения работы (i,j).

$M[x]$  – математическое ожидание случайной величины x. Вводится условная производящая функция моментов случайной величины  $t_{ij}$  как  $M_{ij}(s) = M[e^{st_{ij}}]$ :

$$\left[ \begin{array}{l} M_{ij}(s) = \int_0^{\infty} e^{st_{ij}} \varphi(t_{ij}) dt_{ij} \quad (\text{для непрерывной случайной величины}), \\ \sum e^{st_{ij}} \varphi(t_{ij}) \quad (\text{для дискретной случайной величины}). \end{array} \right.$$

В частности,  $M_{ij}(s) = M[e^{sa}] = e^{sa}$  при  $t_{ij} = a = \text{const}$ ,  $M_{ij}(0) = 1$ .

Для каждой дуги (i,j) определяется  $\Psi$ -функция как

$$\Psi_{ij}(s) = p_{ij} M_{ij}(s). \quad (1.2.52)$$

Исходная сеть преобразуется в эквивалентную, используя три базисных преобразования:

- последовательные дуги,
- параллельные дуги,
- петли.

Для последовательных дуг (рис.8)

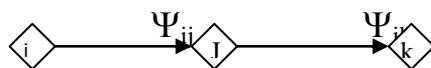


Рис. 8

$$\Psi_{ik}(s) = \Psi_{ij}(s) \Psi_{jk}(s). \quad (1.2.53)$$

Для параллельных дуг (рис.9)

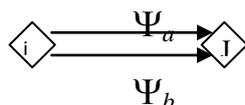


Рис. 9

$$\Psi_{ij}(s) = \Psi_a(s) + \Psi_b(s). \quad (1.2.54)$$

Для петель вида (рис. 10)

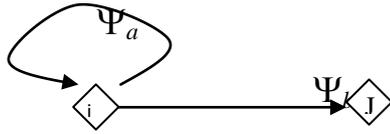


Рис. 10

$$\Psi_{ij}(s) = \Psi_b(s) / [1 - \Psi_a(s)]. \quad (1.2.55)$$

Комбинируя базисные преобразования, любую сеть можно преобразовать в эквивалентную сеть, состоящую из одной дуги (Е-дуги).

Цель временного анализа альтернативной сети состоит в вычислении математического ожидания и дисперсии времени выполнения сети (или любого ее фрагмента) и вероятности выполнения заключительного (или любого другого события) сети.

Здесь используется теория замкнутых потоковых графов, где введенная выше  $\Psi$ -функция трактуется как соответствующий коэффициент пропускания дуги. Для применения результатов этой теории к открытой сети с искомым параметром  $\Psi_E(s)$  вводится дополнительная дуга с параметром  $\Psi_A(s)$ , соединяющая конечное событие (сток) с начальным (источником).

Затем используется топологическое уравнение для замкнутых графов, известное как правило Мейсона [182], следующего вида:

$$1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^m \sum T(L_m) + \dots = 0, \quad (1.2.56)$$

где  $\sum T(L_m)$  – сумма эквивалентных коэффициентов пропускания для всех возможных петель  $m$ -го порядка.

Эквивалентный коэффициент пропускания для петли  $m$ -го порядка равен произведению коэффициентов пропускания  $m$  не связанных между собой петель первого порядка, т.е.

$$T(L_m) = \prod_{k=1}^m T_k. \quad (1.2.57)$$

Непосредственно из правила Мейсона следует, что  $1 - \Psi_A(s)\Psi_E(s) = 0$  или  $\Psi_A(s) = 1/\Psi_E(s)$ . Используя данный результат, в топологическом уравнении (1.2.56)  $\Psi_A(s)$  заменяется на  $1/\Psi_E(s)$  и затем оно решается относительно  $\Psi_E(s)$ ,

тем самым получается эквивалентная  $\Psi$ -функция для исходной альтернативной сети.

Поскольку  $\Psi_E(s) = p_E M_E(s)$ , а  $M_E(0)=1$ , то  $p_E = \Psi_E(0)$ , откуда следует, что

$$M_E(s) = \Psi_E(s) / p_E = \Psi_E(s) / \Psi_E(0). \quad (1.2.58)$$

После получения аналитического выражения для  $M_E(s)$ , вычисляют первую и вторую частную производную по  $s$  функции  $M_E(s)$  в точке  $s=0$ , т.е.

$$\mu_{1E} = \partial / \partial s [M_E(s)]_{s=0} \quad (1.2.59)$$

$$\mu_{2E} = \partial^2 / \partial s^2 [M_E(s)]_{s=0} \quad (1.2.60)$$

Первый момент  $\mu_{1E}$  относительно начала координат есть математическое ожидание времени выполнения сети (преобразованной в эквивалентную ей Е-дугу), а дисперсия времени выполнения сети равна разности между вторым моментом  $\mu_{2E}$  и квадратом первого, т.е.

$$\sigma^2 = \mu_{2E} - (\mu_{1E})^2. \quad (1.2.61)$$

Таким образом, описанный выше аппарат позволяет вычислять временные параметры любых интересующих пользователя событий альтернативной сети, а также определять вероятность их наступления.

Используя полученную информацию, можно с помощью неравенства Чебышева оценивать вероятность любых доверительных интервалов времени окончания проекта при произвольных законах распределения времени выполнения отдельных операций. В рассматриваемом примере могут быть получены более сильные утверждения. При достаточно большом числе работ в сети и выполнении некоторых условий (в частности, независимость работ) можно использовать предельную теорему Ляпунова и считать результирующее время выполнения проекта нормально распределенной случайной величиной с характеристиками, вычисленными по выше описанной методике. Это позволяет получить вероятностные оценки времени выполнения проекта, используя интегральную теорему Муавра-Лапласа.

Таким образом, альтернативная сетевая модель включает все случайные отклонения и неопределенность, возникающие непосредственно во время выполнения каждой отдельной работы.

В качестве параметра дуги мы рассматривали время выполнения операции (работы). Можно рассматривать также любой характерный параметр, который обладает аддитивностью по дугам любого пути. Это может быть стоимость работы, количество потребного накапливаемого ресурса и т.п.

### **Выводы по главе 1**

В главе 1 проанализированы существующие методологические подходы к формированию систем управления проектами, рассмотрены этапы эволюции теории стейкхолдеров применительно к управлению проектами, выявлен основной недостаток современного этапа – отсутствие математических моделей для различных стейкхолдеров.

Описаны этапы развития сетевых методов управления проектами, выявлены достоинства и недостатки используемых моделей и алгоритмов. Полностью используются в практике детерминированные модели (описанные в 1.2.1), в усеченном виде обобщенные и вероятностные, представленные в 1.2.2 и 1.2.3. Показана целесообразность создания универсальной циклической альтернативной сетевой модели, необходимой для управления сложными комплексными проектами в современных условиях, характеризующихся разнообразием интересов различных стейкхолдеров с учетом существующих между ними противоречий, и учитывающей вероятностность параметров проекта, стохастичность и альтернативность его структуры.

Описание разработанных автором математических моделей и методов, лишенных приведенных выше недостатков, является содержанием глав 2-4 диссертационного исследования.

## Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ С ПОЗИЦИЙ РАЗНЫХ СТЕЙКХОЛДЕРОВ

### 2.1 Постановка проблемы и определения

#### 2.1.1 Ключевые определения

*Заинтересованные стороны (стейкхолдеры)* – физические и юридические лица, как непосредственно участвующие в проекте или в отдельных фазах его жизненного цикла (участники проекта), так и те, чьи интересы могут быть затронуты процессами осуществления проекта и его результатами. Термин был принят ISO (International Organization for Standardization) и адаптирован для IPMA ICB.

*Инвестор* – юридическое или физическое лицо, вкладывающее собственные, заемные или иные привлеченные средства в проектную деятельность.

*Заказчик* – юридическое или физическое лицо, в интересах которого выполняется проект, как правило, будущий владелец продукта проекта.

*Руководитель и команда управления проектом* (возможно, компания, управляющая реализацией проекта) – специфическая организационная структура, возглавляемая руководителем проекта и создаваемая для всеобъемлющего руководства и координации работ на протяжении всего жизненного цикла проекта до достижения определенных в проекте целей и результатов при соблюдении сроков, бюджета и качества.

*Генконтрактор* (генеральный контрактор, генеральный подрядчик) – участник проекта, несущий ответственность за организацию выполнения всего комплекса подрядных работ по проекту, включенных в контракт.

*Поставщик* – компания, управляющая процессом обеспечения поставок и закупок по контрактам.

*Регулирующие органы* – международные, государственные, местные органы власти, осуществляющие надзорные и разрешительные функции в отношении различных работ в составе проекта.

*Коммерческая служба* – организация или часть организации, отвечающая за реализацию продукта проекта клиенту (конечному потребителю) и обеспечение денежного потока в виде выручки от реализации.

Каждый стейкхолдер исполняет свои функции на разных уровнях управления проектной деятельностью. Инвестор действует на стратегическом уровне, Заказчик, Регулирующие и надзорные органы (органы власти) могут исполнять свои функции на стратегическом и тактическом уровнях, Генеральный подрядчик – на тактическом уровне. Модели для этих стейкхолдеров будут укрупненными и с возможностью средней детализации. Группа стейкхолдеров, исполняющих свои функции в проектной деятельности на оперативном уровне, включает Поставщика, Команду управления проектом (проектный офис) и Коммерческую службу.

Важнейшей компетенцией руководителя проекта должна быть способность выявлять интересы всех стейкхолдеров и умение добиваться результатов, соответствующих ожиданиям или превышающих их. В существующих стандартах и методологиях сегодня уделено особое внимание процессам, методам и инструментам вовлечения заинтересованных сторон и управления их ожиданиями [50,63,64,68,89,94,95,118]. В обязанности руководителя проекта входит выявление всех заинтересованных сторон проекта, их заинтересованности и ожиданий, оценка и ранжирование стейкхолдеров по степени вовлеченности и силе влияния, планирование способов и методов взаимодействия. Руководитель проекта должен отслеживать изменения ожиданий и интересов стейкхолдеров в ходе осуществления проектной деятельности, анализировать их причины и возможные последствия, а также при необходимости своевременно и адекватно на них реагировать.

## **2.1.2 Состав и содержание компетенций управления проектами для заинтересованных сторон**

Состав и содержание компетенций управления проектами для заинтересованных сторон подразделяется на две группы – базовые и специальные:

- *базовые компетенции* определяют единые для всех заинтересованных сторон требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств;
- *специальные компетенции* определяют специфические для определенной заинтересованной стороны проекта требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств с учетом ее (стороны) роли, интересов и выполняемых функций.

В табл. 2 приведены примеры специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах выбранных нами стейкхолдеров. Таким образом, таблица не претендует на исчерпывающую полноту, а лишь служит носителем исходных данных для примеров соответствующих моделей постановки задач УП.

### Пример специфических характеристик управления проектами

Основные заинтересованные стороны	Специфические характеристики управления проектами разными заинтересованными сторонами							
	Ожидания	Видение проекта	Цель в проекте	Критерии	Ограничения	Стратегия	Основные риски	Основные инструменты УП
1. Инвестор	Возврат вложений с максимальной возможной прибылью	Процесс движения денег, динамика в центрах затрат и доходов	Получение прибыли путем инвестирования проекта	Максимизация прибыли	Объемы средств, сроки, кредитные ставки	Планирование, контроль, прогноз, регулирование денежных потоков в проекте	Невозврат кредитов, недополучение прибыли	План по вехам, бизнес-план, бюджет, план финансирования, сводная отчетность
2. Заказчик	Готовый продукт, приносящий прибыль	Процесс создания продукта	Конкурентно способный продукт, приносящий определенную прибыль	Минимум отклонений по конфигурации и качеству продукта, получение продукта в срок с минимумом затрат	Конфигурация и качество продукта, технические требования, сроки, бюджет	Обеспечение выполнения функций заказчика с соблюдением его выгод в проекте	Низкое качество продукта, нарушение сроков, превышение стоимости	Комплексный укрупненный план, мониторинг, управление конфигурацией и изменениями, текущая отчетность, оптимизация налогов

3.Руководитель и команда проекта	Удовлетворение ожиданий клиента и остальных заинтересованных сторон, максимальные выгоды для команды, приглашение в следующие проекты	Процесс управления созданием продукта	Результат требуемого качества, в срок, в рамках бюджета, удовлетворение клиента и команды	Показатели соответствия стратегии и ожиданиям клиента и команды проекта (сроки, бюджет, качество, выгоды)	Стандарт УП, результаты, качество, сроки, бюджет, другие условия контракта и этические ограничения	Выполнение в полном объеме установленного профессионального УП с соблюдением интересов клиента и команды проекта	Низкий уровень взаимопонимания, взаимодействия, недолжное выполнение обязательств руководства и стейкхолдеров, большой объем изменений	Корпоративный стандарт и передовая практика управления проектами
4.Генконтрактор	Успешная продажа услуг	Процесс выполнения работ по контракту	Выполнение обязательств по проекту с максимальной выгодой для исполнителя	Минимизация производственных потерь при соблюдении требований и условий контракта	Условия контракта, технические требования к выполнению работ и их безопасности	Детальное планирование и оперативное управление выполнением работ с соблюдением требований контракта и интересов исполнителя	Высокая себестоимость работ, низкая квалификация рабочих, низкое качество работ, срыв сроков, высокий уровень травматизма	Детальный план, оперативный учет, отчетность и регулирование выполнения, оптимизация налогов
5.Генпоставщик	Заработок на поставках	Процесс обеспечения поставок по контрактам	Обеспечение нужных поставок, в нужном месте, в нужное время по выгодной для поставщика цене	Минимизация рисков и потерь, максимизация выгоды	Спецификации, сроки, цены и место поставок	Оптимизация управления процессом поставок и закупок с соблюдением интересов клиента и поставщика	Несвоевременность поставки, высокая себестоимость и возможные штрафы	План поставок, контракты на закупки и поставки, мониторинг и контроль

6. Регулирующие органы	Решение проблем в пределах своих полномочий и сбор налогов в бюджет	Процесс осуществления разрешения разрешительных и фискальных функций, выполнения региональных требований и условий проекта	Решение вопросов проекта и соблюдение условий его выполнения с максимальной выгодой для территории государства	Максимизация сбора налогов, оптимизация выгод и потерь для территории	Требования законодательных и нормативных актов	Активное участие в проекте для оказания содействия в рамках властных полномочий и соблюдения государственных интересов	Невыполнение социальных и экологических требований, недополучение налогов, нарушение налоговой дисциплины	План социально-экономического развития зоны влияния проекта, бюджет, нормативные акты, план налогообложения, санкции
7. Коммерческая служба	Успешная реализация плана продаж продукта проекту конечному потребителю (клиенту) и обеспечение входящего денежного потока в виде выручки от реализации	Процесс осуществления поиска и привлечения клиента, продажа продукта проекта и получение выручки	Получение дохода и направление потупающих денежных средств на нужды проекта	Максимизация выручки от продаж Выполнение плана продаж	Покупательская способность клиента, объем реализуемых единиц продукта проекта, качество продукта проекта	Маркетинговые мероприятия, активные продажи	Невыполнение плана продаж, неспособность обеспечить денежного потока в виде выручки от реализации, в силу рисков внутри самого проекта – невыполнение обязательств перед клиентом	Маркетинговая стратегия, план продаж, план по вехам, бизнес – план, бюджет проекта, мониторинг, управление взаимоотношениями с клиентами (CRM), текущая отчетность

В данном разделе рассмотрен широкий спектр возможных ролей и функций каждой заинтересованной стороны и приведены описания сформированной системы взаимосвязанных математических моделей управления проектом для заинтересованных сторон с учетом зафиксированных в таблице специфических характеристик и параметров. Для некоторых моделей приводятся соответствующие им задачи и способы их решения.

## **2.2 Математические модели проектного управления для инвестора**

### **2.2.1 Основные понятия**

В настоящем параграфе предлагаются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях, с участием одной из заинтересованных сторон – инвестора проекта. Для каждого предлагаемого варианта рассматриваются специфические условия, которым адекватна данная модель, при этом анализируются методы решения, которые также могут быть многовариантны. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности инвестора, обеспечивает реализацию его компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

*Инвестор* – это лицо, вкладывающее собственные, заемные или иные привлеченные средства в проектную деятельность. Инвесторы осуществляют капитальные вложения на территории Российской Федерации в соответствии с законодательством страны (Федеральный закон от 25 февраля 1999 г. № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» и ГК РФ). Инвесторами могут быть физические и юридические лица, создаваемые на основе договора о совместной деятельности и не имеющие статуса юридического лица объединения

юридических лиц, государственные органы, органы местного самоуправления, а также иностранные субъекты предпринимательской деятельности. Инвестор самостоятельно определяет объемы, направления, размеры и эффективность инвестиций и по своему усмотрению привлекает на договорной основе физических лиц или юридические лица, необходимые ему для реализации инвестиций.

Важнейшая предпосылка финансового успеха инвестора – тщательный отбор проектов для инвестирования. По оценкам американской инвестиционно-консалтинговой компании Baganov International Group, только одно из десяти бизнес-предложений получает финансирование. В силу малого числа отечественных инвесторов в России доля получающих инвестиции проектов еще меньше. Процедура анализа и отбора проектов может сильно варьироваться в зависимости от пристрастий и привычек конкретных инвесторов. Основными источниками информации о проектах становятся описания, включающие прогнозные значения прибыли (по годам, по векам) и возможные риски инвестора.

Все инвестиции, так или иначе, направлены на получение прибыли с низкой степенью риска (чаще всего низкая степень риска не обеспечивает высокой прибыльности). Кроме того, инвестор стремится обеспечить высокую степень ликвидности вложений. Степень ликвидности зависит от того, как легко и быстро инвестор сможет найти покупателя на свою долю проекта (при желании досрочного расторжения договора с заказчиком).

Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах инвестора приведен в табл. 2 (строка.1).

Взаимосвязь математических моделей управления проектами со стороны инвестора с другими заинтересованными сторонами представлена на рис. 11.



Рис. 11. Схема взаимосвязей математических моделей управления проектами со стороны инвестора с другими заинтересованными сторонами

### 2.2.2 Вербальная постановка задач инвестора

В литературе достаточно подробно исследована проблема оптимального распределения средств между несколькими инвестиционными предложениями – оптимизация инвестиционного портфеля [24, 76, 120, 163, 196]. Каждый из инвестиционных проектов с финансовой точки зрения описывается как временной ряд чистых денежных потоков, связанных с проектом. Обычно, кроме того, каждый из инвестиционных проектов (инвестиционных замыслов) имеет время актуальности, т.е. его реализация может быть начата в определенном интервале времени (дат). Таким образом, с математической точки зрения задача оптимизации инвестиционного портфеля сводится, во-первых, к выбору подмножества проектов, подлежащих реализации, а во-вторых, к определению временного графика их осуществления. Основную проблему, которую необходимо решать при формировании инвестиционного портфеля, составляет распределение инвестором некоторой суммы денег по различным альтернативным вложениям, включая и доленое участие в

инвестиционных проектах, так, чтобы наилучшим образом достичь своих целей.

В первую очередь инвестор стремится к получению максимальной прибыли от инвестированных средств. В то же время любое вложение капитала связано не только с ожиданием получения дохода, но и с постоянной опасностью проигрыша, а значит, в оптимизационных задачах по формированию инвестиционного портфеля необходимо учитывать и риски. Смысл портфеля – улучшить условия инвестирования, придав совокупности проектов такие инвестиционные характеристики, которые недостижимы с позиции отдельно взятого проекта и возможны только при их комбинации.

В данном параграфе мы рассматриваем проблему финансирования одного, но сложного проекта, представленного планом по вехам (пусковым комплексам). При этом возникают разные варианты реализации проекта, отличающиеся сроками ввода в эксплуатацию отдельных пусковых комплексов, объемами их финансирования (в заданных пределах), потоками прогнозируемой прибыли, оценками ликвидности проекта и степени риска недополучения прибыли. Методы формирования временного ряда чистых денежных потоков для разных типов инвестиционных проектов различны, также различны и способы оценки рисков.

Риск, или вариация доходности, может быть рассчитан с помощью такого статистического показателя, как среднеквадратическое отклонение. При формировании инвестиционной стратегии будем рассматривать динамические прогнозы движения денежных и материальных потоков, бизнес-планы по вехам с конкретными оценками будущих денежных потоков. В данной главе примем эти параметры заданными для каждого варианта реализации рассматриваемого проекта в планируемый интервал времени, причем для общности моделей будем считать их зависимыми от начального момента инвестиций. В дальнейшем изложении будем использовать как известные подходы к оптимизации инвестиционного портфеля, так и оригинальные модели

применительно к сложному проекту, представленному совокупностью возможных вариантов его реализации.

Следует отметить, что исходный для рассматриваемых ниже моделей план по вехам формируется командой проекта на основе анализа его стохастической сетевой модели. Также при расчете многих показателей проекта, входящих в ограничения представленных моделей, учитывается их стохастический характер.

### 2.2.3 Базовая математическая модель деятельности инвестора

Задаются следующие исходные данные:

$I_t^k$  – требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ ;

$V_t^k$  – прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ ;

$B_t^{max}(r)$  – максимально возможный объем кредитования в период  $t$  по ставке  $r$ ;

$B_t^\tau$  – план погашения в период  $t$  кредита (основного долга и процентов), взятого в период  $\tau$  в объеме  $B_\tau$ ;

$Q_t$  – собственные средства инвестора, которые он может вложить в проект в период  $t$ ;

$r_{min}$  – минимально возможная ставка кредитования;

$d$  – ставка дисконтирования.

Чистый дисконтированный доход (NPV)  $k$ -го варианта проекта при объеме финансирования его собственными силами в объеме  $x_t^k$  будет вычисляться по формуле:

$$NPV^k = \sum_{t=1}^n \frac{V_t^k - x_t^k - \sum_{\tau=0}^{t-1} B_t^\tau}{(1+d)^{-t}}. \quad (2.2.1)$$

Вербальная постановка задачи: найти такие объемы финансирования проекта собственными силами и объемы кредитования по периодам, которые удовлетворяют ограничениям по необходимому объему инвестиций, по

собственными средствами и по возможным объемам кредитования, максимизируя при этом чистый дисконтированный доход проекта.

Тогда математическая модель данной задачи будет выглядеть следующим образом: найти  $\{x_t^k\}$  – объемы финансирования проекта собственными силами,  $B_t(r)$  – объемы кредитования в период  $t$  по ставке  $r$  и наиболее эффективный вариант  $k$ , при котором:

$$NPV^{k_s} = \max_k NPV^k ; \quad (2.2.2)$$

$$I_t^k = x_t^k + B_t(r) \quad (2.2.3)$$

– обеспечение необходимого объема инвестиций;

$$x_t^k \leq Q_t \quad (2.2.4)$$

– ограничение по собственным средствам;

$$B_t(r) \leq B_t^{\max(r)} \quad (2.2.5)$$

– ограничение по возможным объемам кредитования;

$$r \geq r_{\min}.$$

Данная модель реализует многие компетенции, входящие в состав специфических характеристик управления проектам со стороны инвестора. Действительно, ожидания (возврат вложений с максимально возможной прибылью), цель в проекте (получение прибыли путем инвестирования) и критерии (максимизация прибыли) задаются целевой функцией (2.2.2), видение проекта (процесс движения денег, динамика в центрах затрат и доходов), ограничения (объемы средств, сроки, кредитные ставки), элементы стратегии (планирование и прогноз) учитываются в формулах (2.2.3) – (2.2.5).

Такие элементы стратегии, как контроль и регулирование, реализуются за счет получения данных о фактических объемах инвестирования (включая объемы кредитования), корректировки прогнозной информации и пересчета задачи по предложенной модели (при необходимости).

Риски невозврата кредитов и недополучения прибыли могут быть учтены в дополнительном ограничении:

$$V_t^k \geq V_t^{\min}, \quad (2.2.6)$$

где  $V_t^{min}$  – минимально допустимый объем прибыли, гарантирующий возврат кредитов и получение минимально желаемой нормы прибыли.

Предложенная модель использует все основные инструменты УП, соответствующие данной заинтересованной стороне: план по вехам, бизнес-план, бюджет, план финансирования. В процессе функционирования модели формируется сводная отчетность. Таким образом, использование данной модели обеспечивает реализацию всех основных функций управления проектом, что способствует повышению эффективности деятельности инвестора.

#### **2.2.4 Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с детерминированными объемами финансирования (минимизация риска и максимизация ожидаемой прибыли)**

Пусть инвестор обладает финансовыми средствами в объеме  $Q = \sum_{t=0}^T Q^t$  на интервале  $[0, T]$ . Эти финансовые средства он может использовать для вложения в один из вариантов проекта  $k$  ( $k=1, \dots, n$ ), требующий финансирования в период  $t$  в объеме  $V_k^t$ . Пусть чистый дисконтированный доход варианта проекта  $k$  на начало периода  $t$  составляет  $NPV_k^t$ , а прогнозируемая оценка риска недополучения прибыли составляет  $r_k^t$ . Необходимо выбрать такой вариант реализации проекта и такие объемы инвестиций, которые обеспечивали бы максимальную ожидаемую доходность для некоторого уровня риска или минимальный риск для некоторого значения ожидаемой доходности.

Проблема выбора варианта реализации проекта может быть сформулирована как следующая двухкритериальная задача целочисленного программирования с булевыми переменными. Найти:

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если инвестируем в вариант проекта } k, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^n V_k^t \cdot x_k \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (2.2.7)$$

Целевые функции:

максимизация ожидаемой доходности:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^n x_k \cdot NPV_k^t \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.2.8)$$

минимизация риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^n x_k \cdot r_k^t \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \min. \quad (2.2.9)$$

Оценку риска  $r_k^t$  рассматриваем как среднеквадратичное отклонение ожидаемого чистого дисконтированного дохода инвестиции  $k$ , начатой в период  $t$  в объеме  $V_k^t$  от всех возможных реализаций данного проекта, начатых в тот же период. Эти оценки имеют ту же размерность, что и  $V_k^t$  и  $NPV_k^t$ . Коэффициент дисконтирования  $d$  принимаем как минимально желаемый уровень доходности наших инвестиций. Поскольку в дальнейшем не будет производиться какой-либо свертки критериев, а будет использован метод последовательных уступок, то коэффициент дисконтирования  $d$  может быть применен и для второй целевой функции в качестве меры эквивалентности значений для среднеквадратичного отклонения доходности разных временных периодов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод последовательных уступок, заключающийся в следующем: на первом этапе решаем задачу (2.2.7)–(2.2.8) без учета второго критерия (2.2.9). Получаем решение  $\{x_k(1)\}$  со значением первой целевой функции  $F_1^1$ . Вычисляем значение второго критерия  $F_2^1$  при данном решении. Делаем уступку по первому критерию (например, в размере 5%) –  $F_1^2 = 0,95F_1^1$  и переводим первый критерий в ограничение:

$$\sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^n x_k \cdot NPV_k^t \right) (1+d)^{-t} \geq F_1^2. \quad (2.2.10)$$

Затем решаем исходную задачу (2.2.7)–(2.2.8) с дополнительным ограничением (2.2.10), минимизируя вторую целевую функцию (2.2.9). Получаем новое решение  $\{x_k(2)\}$  со значением первой целевой функции  $F_1^2 \leq F_1^1$  и второго критерия  $F_2^2 \geq F_2^1$ . Продолжаем этот пошаговый процесс, получая последовательно решения  $\{x_k(1)\}$ ,  $\{x_k(2)\}$ , ...,  $\{x_k(N)\}$  с соответствующими значениями критериев.

Любое из полученных решений является Парето-оптимальным и может быть принято к реализации. При этом мы получаем упорядоченную последовательность вариантов проекта – при убывающей прибыльности убывает и риск ее недополучения. Полученные варианты наглядно демонстрируют взаимосвязь между прибыльностью и риском и позволяют принять осознанный вариант проекта.

В предложенной выше постановке выбор варианта проекта позволяет однозначно определить объем инвестиций в него по годам –  $V_k^t$ .

### 2.2.5 Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с переменными объемами финансирования

Усложним задачу, допустив, что объемы инвестиций в проекты  $k$  ( $k=1, \dots, n$ ) в период  $t$  могут варьироваться в пределах от  $V_{kmin}^t$  до  $V_{kmax}^t$ . При этом чистый дисконтированный доход варианта проекта  $i$  на начало периода  $t$  при минимальном и максимальном объеме инвестиций составляет соответственно  $NPV_{kmin}^t$  и  $NPV_{kmax}^t$ , а прогнозируемая оценка риска –  $r_{kmin}^t$  и  $r_{kmax}^t$ . Статистический анализ показывает, что чистый дисконтированный доход имеет постоянную эластичность при частично инвестируемом проекте, следовательно, он может быть описан степенной функцией  $X^\alpha$ , где  $X$  — объем инвестиций. Найдем  $\alpha$ .

Имеем  $NPV_{kmax}^t = NPV_{kmin}^t \left( \frac{V_{kmax}^t}{V_{kmin}^t} \right)^\alpha$ , откуда:

$$\alpha = \frac{\ln(NPV_{kmax}^t) - \ln(NPV_{kmin}^t)}{\ln(V_{kmax}^t) - \ln(V_{kmin}^t)}. \quad (2.2.11)$$

Прогнозируемая оценка риска выражается функцией  $X^\beta$ , где:

$$\beta = \frac{\ln(r_{kmax}^t) - \ln(r_{kmin}^t)}{\ln(V_{kmax}^t) - \ln(V_{kmin}^t)}. \quad (2.2.12)$$

Математическая модель выбора варианта проекта в этом случае примет следующий вид.

Найти:

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если инвестируем в вариант проекта } k, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.2.13)$$

$V_k^t$  – объемы инвестирования в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ .

При ограничениях:

$$V_{kmin}^t \leq V_k^t \leq V_{kmax}^t. \quad (2.2.14)$$

$$\sum_{k=1}^n V_k^t \cdot x_k \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (2.2.15)$$

Целевые функции:

максимизация ожидаемой доходности:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^n x_k \cdot (V_k^t)^\alpha \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.2.16)$$

минимизация риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^n x_k \cdot (V_k^t)^\beta \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \min, \quad (2.2.17)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  вычисляются по формулам (2.2.11) и (2.2.12).

Представленная модель позволяет находить объемы частичного инвестирования пусковых комплексов в допустимых пределах, при этом весь проект будет обладать максимальной доходностью при заданном (приемлемом) уровне риска.

## 2.2.6 Математическая модель деятельности инвестора, максимизирующая степень ликвидности проекта

Специфика проекта определяет зависимость степени ликвидности проекта от определяющих ее факторов. В данной модели в качестве таких факторов рассмотрим объемы финансирования отдельных этапов и проекта в целом, сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов.

Пусть  $F(K, T)$  – функция зависимости степени ликвидности проекта от вектора  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $T$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция определяется экспертно, чаще всего на дискретном наборе значений факторов  $P(K, T)$  (задаются наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации). Каждый из множества возможных (допустимых) вариантов плана реализации проекта  $k \in P(K, T)$  должен удовлетворять ограничениям модели, которые состоят из ресурсных (2.2.14–2.2.15) и временных:

$$t_{ij}^k \leq T_j^k - T_i^k,$$

где  $t_{ij}^k$  – продолжительность работы (i,j) укрупненного сетевого графика k-го варианта проекта,

$T_i^k$  – срок свершения i-го события укрупненного сетевого графика k-го варианта проекта.

Функция  $F(K, T)$  может носить весьма специфический характер в зависимости от типа проекта. В дальнейшем авторы планируют разработать методические рекомендации по формированию данной функции для проектов разного вида и сложности. Кроме того, необходимо учесть дополнительные временные ограничения, налагаемые на сроки выполнения отдельных комплексов работ.

Целевой функцией в данной модели является  $F(K, T)$ , т.е. необходимо максимизировать степень ликвидности проекта при соблюдении временных и ресурсных ограничений.

### **2.2.7 Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора**

К модели, рассмотренной в предыдущем разделе, добавим целевые функции (2.2.16) и (2.2.17). Таким образом, формируется математическая модель задачи по выбору варианта финансирования проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего прибыльность, минимизирующего риски и имеющего максимальную степень ликвидности. Множество альтернатив  $P(K,T)$  формирует команда проекта (см.2.5), используя при этом стохастическую и альтернативную природу сетевой модели проекта, параллельно формируются и варианты планов обеспечения проекта необходимыми ресурсами и варианты планов налогообложения. Данные варианты планов при согласовании с поставщиком и заказчиком могут, в свою очередь, получать оценки степени ликвидности, связанные с возможностями поставщика и требованиями заказчика. В этих случаях целесообразно включать в модель и данные критерии отбора вариантов. Возникает многокритериальная задача по выбору варианта реализации проекта. В общем виде задача не имеет решения, т.е. не существует плана реализации проекта, удовлетворяющего всем перечисленным критериям, но в теории и практике решения подобных задач имеются методологические подходы, обеспечивающие выбор приемлемых вариантов. Подробно они будут рассмотрены в 2.3.

### **2.2.8 Принципы отбора стратегий для оценки эффективности инвестиционного проекта**

Инвестиционный проект может заключаться в последовательном внедрении отдельных (пусковых) комплексов. Это может быть обусловлено, например, тем, что реконструкция предприятия должна осуществляться без остановки производства, а одновременное внедрение всех комплексов потребует его остановки. Кроме того, оно связано с большими единовременными затратами.

При отсутствии такого количества средств необходим кредит, что потребует больших расходов по его обслуживанию. Зачастую последовательное внедрение комплексов также позволяет реинвестировать полученную прибыль для покрытия последующих затрат.

В связи с тем, что пусковые комплексы существенно отличаются по величине затрат, результатов и эффективности, общая эффективность всей инвестиционной программы будет зависеть от той очередности их внедрения, которая будет принята, т.к. этот порядок определяет динамику инвестиционных затрат и результатов (притоков средств от операций). Тем самым может быть получен эффект от реинвестирования результатов внедрения в последующие комплексы. Кроме того, при привлечении заемных средств выбор последовательности пусковых комплексов повлияет на величину заимствования, сроки возмещения затрат по кредитам и величину затрат на обслуживание кредита, поэтому возникает необходимость выбора оптимальной поэтапной последовательности пусковых комплексов и соответствующего этой последовательности плана финансового обеспечения и обслуживания долговых обязательств.

Для решения подобной задачи при условии, что комплексы независимы и могут внедряться в произвольном порядке, был предложен метод ветвей и границ [46]. В настоящей статье предлагается алгоритм, основанный на минимизации чистого дисконтированного дохода.

Различные последовательности пусковых комплексов будем называть стратегиями. Пусть  $n$  – количество пусковых комплексов, тогда общее количество различных стратегий равно количеству перестановок из  $n$  элементов, т.е. равно  $n!$ . Например,  $10! = 3628800$ . Таким образом, перед нами стоит задача: выбрать из достаточно большого количества возможных стратегий такую, которая с учетом финансового обеспечения реализации проекта даст наилучшие показатели коммерческой эффективности.

В качестве критерия оценки эффективности проекта, состоящего из пусковых комплексов, возьмем чистый дисконтированный доход (ЧДД). Из множества всех стратегий рассмотрим некоторые варианты, «подозрительные» в плане возможности достижения наибольшей коммерческой эффективности (максимум ЧДД). Эти варианты будем называть *основными стратегиями*. Формула для вычисления ЧДД имеет вид:

$$\text{ЧДД} = R_{np} - K_{np}, \quad (2.2.18)$$

где  $R_{np}$  – приведенный результат (приток от операции);

$K_{np}$  – приведенные затраты.

В формуле (2.2.18) для вычисления ЧДД две составляющие –  $R_{np}$  и  $K_{np}$ , поэтому в качестве первых основных стратегий возьмем такие, при которых первая составляющая  $R_{np}$  принимает максимальное значение, а вторая составляющая  $K_{np}$  – минимальное.

**Лемма 1.** Если расположить пусковые комплексы в порядке возрастания затрат, то  $K_{np}$  принимает минимальное значение, иначе говоря, чем ближе более дорогие комплексы к получению результата, тем меньше будут приведенные затраты.

**Лемма 2.** Если расположить пусковые комплексы в порядке убывания результатов, то  $R_{np}$  достигает максимального значения.

В качестве третьей основной стратегии возьмем вариант расположения комплексов в порядке убывания текущей нормы доходности каждого комплекса.

Для формирования следующего варианта основной стратегии введем понятие локального чистого дисконтированного дохода (ЛЧДД). Присвоим каждому комплексу индекс  $j$ . Под ЛЧДД будем понимать чистый дисконтированный доход, относящийся к каждому отдельному комплексу, при котором результаты и затраты приведены к началу внедрения этого комплекса. Поскольку комплексы выполняются последовательно, то  $j$ -й комплекс может занимать  $i$ -й порядковый номер в очереди, т.е. выполняться в  $i$ -й временной интервал.

Под общим чистым дисконтированным доходом (ОЧДД) будем понимать ЧДД от осуществления всех комплексов, включенных в инвестиционную программу в определенной последовательности. Имеем:

$$ОЧДД = \sum_{i=1}^n ЛЧДД_i^j \cdot \alpha_{i-1}, \quad (2.2.19)$$

где  $j$  – индекс ЛЧДД;

$i$  – порядковый номер комплекса в очереди;

$\alpha_i$  – коэффициент дисконтирования  $i$ -го интервала ( $\alpha_0 = 1 > \alpha_1 > \dots > \alpha_i > \alpha_{i+1} > \dots$ ).

**Лемма 3.** Максимальное значение ОЧДД достигается при очередности комплексов, расположенных по убыванию ЛЧДД.

**Доказательство.** Пусть максимальное значение ОЧДД достигается при очередности комплексов, в которой хотя бы два значения  $ЛЧДД_i$  и  $ЛЧДД_k$  – расположены не по убыванию, т.е.  $ЛЧДД_i < ЛЧДД_k$  при  $i < k$ . Все значения в (2.2.19) положительны, поэтому, переставляя местами  $ЛЧДД_i$  и  $ЛЧДД_k$ , получим значение суммы (2.2.19) больше предыдущего, что противоречит допущению. Лемма доказана, аналогично доказываются лемма 1 и лемма 2.

Таким образом, мы выделили следующие четыре основные стратегии (очередности) внедрения пусковых комплексов:

- 1) по возрастанию затрат  $K_{np}$ , т.е.  $K_1 < K_2 < \dots < K_n$ ;
- 2) по убыванию результатов  $R_{np}$ , т.е.  $R_1 > R_2 > \dots > R_n$ ;
- 3) по убыванию текущей нормы доходности  $D$ , т.е.  $D_1 > D_2 > \dots > D_n$ ;
- 4) по убыванию ЛЧДД, т.е.  $ЛЧДД_1 > ЛЧДД_2 > \dots > ЛЧДД_n$ .

В качестве эффективного критерия выбора стратегии рекомендуется применять максимизацию ОЧДД, т.е. четвертую стратегию, но при условии, что стоимость привлекаемого капитала не будет превышать барьерной нормы. Поскольку для реализации проекта может потребоваться привлечение заемного капитала по стоимости выше этой нормы, то окончательный выбор стратегии следует производить после разработки финансового обеспечения каждой из стратегий с учетом затрат на обслуживание долговых обязательств.

Проиллюстрируем высказанные соображения на небольшом примере. Пусть инвестиционный проект включает в себя 10 пусковых комплексов, их ранжирование по описанным выше основным стратегиям представлено в табл. 3. Результаты всех расчетов сведены в табл. 4.

Таблица 3

### Ранжирование пусковых комплексов

Номер ком- плекса	Принцип ранжирования			
	По возрастанию затрат (стратегия 1)	По убыванию результатов (стратегия 2)	По убыванию доходности (стратегия 3)	По убыванию ЛЧДД (стратегия 4)
1	10	1	6	1
2	6	5	8	7
3	1	10	3	5
4	3	6	1	2
5	2	9	2	4
6	9	2	7	10
7	8	3	9	8
8	7	4	10	9
9	4	8	4	3
10	5	7	5	6

Источник: данные взяты из инвестиционного проекта по техническому перевооружению ОАО «Уралавтоприцеп».

Таблица 4

### Значения ЧДД и ВНД для стратегий с учетом плана финансирования

Стратегии		ЧДД	ВНД
Стратегия 1	Без кредита	56574,7	Не существует
Стратегия 2	Сложные проценты	46066	43
	Простые проценты	38840,6	36
Стратегия 3	Без кредита	57675	47
Стратегия 4	Сложные проценты	53153	42
	Простые проценты	42394	38

В данном случае мы видим, что наилучшие показатели имеет стратегия 3, т.е. лучше обойтись собственными средствами.

В предложенных выше моделях проанализирована степень заинтересованности со стороны инвестора – участника проекта: каковы его

ценности, интересы, место, роль и ответственность в проектной деятельности, как распределены между инвестором и другими заинтересованными сторонами деньги, власть и другие ценности. Как правило, они часто пересекаются. Рассмотрен алгоритм выбора оптимальной поэтапной последовательности пусковых комплексов и соответствующего этой последовательности плана финансового обеспечения и обслуживания долговых обязательств. Решение этой задачи весьма актуально для сложных долгосрочных проектов.

## **2.3 Математические модели проектного управления для заказчика**

### **2.3.1 Основные понятия**

В данном параграфе рассматриваются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех фазах жизненного цикла с участием одной из заинтересованных сторон – заказчика проекта. Впервые в явном виде сформулирована и поставлена задача управления конфигурацией проекта и продукта. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности заказчика, обеспечивает реализацию его компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

*Заказчик* – юридическое или физическое лицо, в интересах которого выполняется проект, как правило, будущий владелец продукта проекта.

Основная функция заказчика заключается в выполнении комплекса мероприятий, конечной целью которых является обеспечение совместно с другими участниками достижения результата проекта.

Главной заботой при управлении проектом у заказчика является управление предметной областью проекта. При этом основными объектами внимания Заказчика являются:

- *Управление требованиями.* Процедуры управления специальными требованиями заказчика к результатам проекта, а также для оборудования,

материалов, услуг и процедур управления, включающих количественные и качественные характеристики.

- *Управление конфигурацией продукта и проекта.* Процедуры, используемые для технического и административного руководства работами, связанными с созданием, поддержанием и контролем за изменениями в конфигурации проекта и продукта на протяжении его жизненного цикла.
- *Управление составом работ.* Процессы, необходимые для обеспечения того, что в проект включены все требуемые работы и только те работы, которые необходимы для успешного завершения проекта.

Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах заказчика приведен в табл. 2 (строка.2).

Схема взаимосвязи предлагаемых моделей представлена на рис. 12.



Рис.12. Схема взаимосвязей математических моделей управления проектами Заказчика с другими заинтересованными сторонами

### 2.3.2 Математическая модель деятельности заказчика, минимизирующая степень изменения конфигурации проекта

Дано: комплексный укрупненный план проекта в виде обобщенной сетевой модели, который разрабатывается командой проекта на основе детализированной модели проекта (см. 3.1), которая в свою очередь разрабатывается и используется руководителем проекта, его командой и генконтрактором. При этом задаются следующие исходные данные:

$T_i^p, T_i^n$  – ранние и поздние сроки свершения событий  $i$  в укрупненной сетевой модели;

$a_{ij}, b_{ij}$  – минимальные и максимальные оценки продолжительности работ укрупненного графика;

$r_{ij}$  – затраты на производство работ укрупненного графика;

$I_t$  – бюджетные ограничения временного интервала  $t$  (год, квартал, месяц);

$ЭОК_{ij}$  – экспертные оценки предельно допустимой степени изменения конфигурации работ.

Под изменением конфигурации проекта будем понимать нарушение сроков выполнения работ, исключение работ из реализации и их замену. Для каждой работы по десятибалльной системе экспертно оценивается степень изменения конфигурации:

$\alpha_{ij}(t)$  – нарушение сроков выполнения работы на  $t$  дней;

$\beta_{ij}$  – исключение работы из реализации;

$\gamma_{ij}$  – замена работы или изменение ее характеристик,

где значения  $\alpha, \gamma, \beta$ , близкие к 0, показывают малозначимые изменения, близкие к 5 – среднезначимые, близкие к 10 – недопустимые изменения. Остальные значения используются для промежуточных состояний.

Определим степень изменения конфигурации проекта как интегрированный показатель (ИПК), вычисляемый с помощью некоторой функции ФОК (заданной экспертно) по показателям качества выполнения отдельных работ укрупненного плана  $ПК_{ij}$ , задаваемым также экспертно. Статистический анализ

большого числа проектов, проведенный авторами, показывает, что эти функции возрастающие, вогнутые, т.е. положительные первые и вторые производные (возрастают значения, как самих функций, так и темпов ее роста). При небольших значениях аргумента (малых изменениях конфигурации работ) функции ФОК могут рассматриваться как степенные функции с показателем степени  $a > 1$ . Кстати, данный показатель  $a$  является эластичностью, т.е. показывает, на сколько процентов возрастет степень изменения конфигурации проекта при изменении качества выполнения отдельных работ на 1%.

*Вербальная постановка задачи:*

Разработать укрупненный календарный план реализации проекта, удовлетворяющий ограничениям по отдельным директивным срокам, ограничениям по объемам финансирования, по качеству выполнения отдельных работ, с учетом показателя надежности проекта, минимизируя при этом степень изменения конфигурации проекта.

Математическая модель задачи будет выглядеть следующим образом:

Найти такие сроки свершения событий укрупненного графика  $T_i$  и продолжительности укрупненных работ  $t_{ij}$ , при которых:

$$T_i^p \leq T_i \leq T_i^n, \quad (2.3.1)$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} + \delta_{ij}, \quad (2.3.2)$$

где  $\delta_{ij}$  – нарушение сроков выполнения работы  $(i, j)$ ;

$$\sum_{(i, j) \in \Omega_t} r_{ij} \cdot \lambda_{ij}^t \leq I_t, \quad (2.3.3)$$

– ограничение по объемам финансирования в период  $t$ ,

где  $\Omega_t$  – множество работ, выполняемых в интервале  $t$ ;

$\lambda_{ij}^t$  – доля работы  $(i, j)$ , выполняемой в период  $t$ .

$$\alpha_{ij}(\delta_{ij}) + \beta_{ij} + \gamma_{ij} \leq \varepsilon OK_{ij}; \quad (2.3.4)$$

В данной модели необходимо учитывать суммарный риск проекта – риск недостижения целей, который определяет надежность проекта. При этом под надежностью проекта необходимо понимать, с одной стороны, свойство

проекта, проявляющееся в способности быть реализованным при определенных условиях взаимодействия с внешней средой, а с другой стороны – количественную оценку проекта, однозначно увязывающую вероятность реализации со временем или другими параметрами, характеризующими процесс реализации при заданных условиях.

Для количественной оценки надёжности используют так называемые единичные показатели надёжности (характеризуют только одно свойство надёжности) и комплексные показатели надёжности (характеризуют несколько свойств надёжности).

Таковыми показателями могут быть: оценка вероятности своевременного или досрочного завершения строительства объекта, положительная репутация Заказчика и его способность выполнить финансовые обязательства перед всеми *стейкхолдерами*, степень готовности, соответствие фазы строительства графику, аккредитация в банках, страховые гарантии, нагрузка за счет обременений и сетей, конкурентное окружение, схема продаж, состояние исходно-разрешительной документации и пр.

В [170] предложена модель надёжности сетевого проекта как сложной технической системы, в которой в качестве количественного показателя надёжности работы – компоненты проекта – принимается вероятность ее безотказного выполнения  $P_{\text{над}}$ , а в качестве показателя надёжности проекта – полученная гарантированная оценка снизу  $O_{\text{над}}$ . На этой основе сформулирована задача календарного планирования не только с ресурсными ограничениями, но и с учетом показателя надёжности проекта. Представляется целесообразным использовать предложенный метод расчета надёжности проекта для рассматриваемой модели деятельности заказчика. Только здесь в качестве исходной сетевой модели рассматривается комплексный укрупненный план проекта в виде обобщенной сетевой модели. Итак, потребуем:

$$P_{\text{над}} \geq O_{\text{над}}, \quad (2.3.5)$$

$$\Phi OK (PK_{ij}) \rightarrow \min, \quad (2.3.6)$$

где аргументом функции  $\Phi OK$  является вектор качества выполнения всех работ укрупненного плана.

Целевая функция (2.3.6) определяется эмпирическим путем экспертами и может носить весьма специфический характер в зависимости от типа проекта.

В результате использования данной модели формируется укрупненный план выполнения работ проекта, обеспеченный финансированием, необходимой степенью надежности и оптимальный по качеству.

В рассматриваемой модели (и в последующем изложении) все параметры обобщенной укрупненной сети носят детерминированный характер. Стохастические и альтернативные сети подробно проанализированы в п.3.4-3.5 и будут использованы в описании математических моделей управления Командой проекта в п.2.5. Там же будет предложен алгоритм расчета показателей для оценки уровня надёжности проекта, входящие в ограничение (2.2.5). Часть рассмотренных в настоящей главе показателей будет заменена их  $p$ -квантильной оценкой.

Спецификой модели является экспертное определение показателей качества (степени изменения конфигурации по каждой укрупненной работе и оценки их предельно допустимых значений), а также экспертное же задание вида целевой функции, служащей для вычисления интегрированного показателя качества проекта. Представляется нецелесообразным строить универсальную систему перечисленных показателей в силу уникальности многих проектов и различной важности входящих в него работ, поэтому задание экспертами (представителями заказчика) оценок качества выполнения работ проекта является логичным и методически обоснованным.

### **2.3.3 Математическая модель деятельности заказчика, минимизирующая степень отклонения от плана финансирования проекта**

Дано: комплексный укрупненный план проекта в виде обобщенной сетевой модели (как и в модели 2.3.2).

Пусть  $T_i^p, T_i^n$  – ранние и поздние сроки свершения событий  $i$  в укрупненной сетевой модели;

$a_{ij}, b_{ij}$  – минимальные и максимальные оценки продолжительности работ укрупненного графика;

$r_{ij}$  – затраты на производство работ укрупненного графика;

$I_t$  – бюджетные ограничения временного интервала  $t$  (год, квартал, месяц);

$\text{ЭОК}_{ij}$  – экспертные оценки предельно допустимой степени изменения конфигурации работ.

Под изменением конфигурации проекта будем понимать, как и в модели 3.3.2, нарушение сроков выполнения работ, исключение работ из реализации и их замену. Примем те же обозначения:

$\alpha_{ij}(t)$  – нарушение сроков выполнения работы на  $t$  дней;

$\beta_{ij}$  –исключение работы из реализации;

$\gamma_{ij}$  –замена работы или изменение ее характеристик,

где значения  $\alpha, \gamma, \beta$ , близкие к 0, показывают малозначимые изменения, близкие к 5 – среднезначимые, близкие к 10 – недопустимые изменения. Остальные значения используются для промежуточных состояний.

Вербальная постановка задачи:

Сформировать укрупненный план выполнения работ проекта, степень изменения конфигурации которого лежит в заданных пределах, имеющий минимальные отклонения от плана финансирования, согласованного с Инвестором.

Математическая модель задачи будет выглядеть следующим образом:

Найти такие сроки свершения событий укрупненного графика  $T_i$  и продолжительности укрупненных работ  $t_{ij}$ , при которых:

$$T_i^p \leq T_i \leq T_i^n, \quad (2.3.7)$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} + \delta_{ij}, \quad (2.3.8)$$

где  $\delta_{ij}$  – нарушение сроков выполнения работы  $(i, j)$ ;

$$\alpha_{ij}(\delta_{ij}) + \beta_{ij} + \gamma_{ij} \leq \text{ЭОК}_{ij}, \quad (2.3.9)$$

степень изменения конфигурации работ не должна превышать ее предельно допустимой экспертной оценки.

В качестве целевой функции возьмем взвешенную сумму отклонений от плана финансирования проекта:

$$G = \sum_{\forall t} \mu_t \left| \sum_{(i,j) \in \Omega_t} r_{ij} \lambda_{ij}^t - I_t \right| \rightarrow \min, \quad (2.3.10)$$

где  $\Omega_t$  – множество работ, выполняемых в интервале  $t$ ;

$\lambda_{ij}^t$  –доля работы  $(i,j)$ , выполняемой в период  $t$ ;

$\mu_t$  – весовой коэффициент периода  $t$ , задаваемый экспертно (логично предположить, что ранние периоды имеют больший вес по сравнению с более поздними, т.к. на ближайших периодах труднее изменить финансирование проекта).

#### **2.3.4 Математическая модель деятельности заказчика, максимизирующая степень качества проекта**

В данном и следующем подразделе приводятся только вербальные постановки задач, т.к. их математические модели подобны рассмотренным в 2.3.3, они отличаются только видом целевой (целевых) функции. Кроме того, в 2.3.5 рассматриваются и некоторые подходы к решению сформулированных задач.

Можно рассматривать множество факторов, определяющих качество проекта – это и экологические факторы, социальные, технические, финансовые и пр. Специфика проекта определяет зависимость качества проекта от определяющих его факторов. В данной модели в качестве определяющих качество факторов рассмотрим объемы финансирования отдельных этапов и в целом проекта, сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов.

Пусть  $F(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  – функция зависимости качества проекта от вектора  $\mathbf{K}$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $\mathbf{T}$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция

определяется экспертно, чаще всего на дискретном наборе значений определяющих ее факторов  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  (задаются наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации). Каждый из множества возможных (допустимых) вариантов плана реализации проекта  $p \in P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  должен удовлетворять ограничениям модели 2.3.3. Кроме того, необходимо учесть дополнительные временные ограничения, накладываемые сроками выполнения отдельных комплексов работ.

Целевой функцией в данной модели является  $F(\mathbf{K}, \mathbf{T})$ , т.е. необходимо максимизировать качество проекта, при соблюдении временных и ресурсных ограничений.

### **2.3.5 Многокритериальная математическая модель деятельности заказчика**

К модели, рассмотренной в 2.3.4, добавим целевые функции 2.3.6 и 2.3.10. Таким образом, формируется математическая модель задачи нахождения плана реализации проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего качество проекта, минимизирующего степень изменения конфигурации проекта и имеющего минимальные отклонения от плана финансирования, согласованного с Инвестором. Множество альтернатив  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  формируется Командой проекта, при этом параллельно формируются и варианты планов обеспечения необходимыми ресурсами и варианты планов налогообложения. Данные варианты планов при согласовании с Поставщиком, Регулирующими органами могут в свою очередь получать оценки качества (связанные с неравномерностью поставок, возможностями поставщика, требованиями Регулирующих органов). В этих случаях целесообразно в модель включать и данные критерии отбора вариантов. Возникает многокритериальная задача формирования плана реализации проекта. В общем виде задача не имеет решения, т.е. не существует плана реализации проекта, удовлетворяющего всем

перечисленным критериям. Но в теории и практике решения подобных задач имеются методологические подходы, обеспечивающие выбор приемлемых вариантов[104]. Ниже будут рассмотрены основные из них. При относительной простоте рассматриваемых методов (в частности, метод Саати), они позволяют получать достаточно объективные и эффективные решения.

В нижеприведенный перечень сознательно не включены различные варианты свертки критериев (аддитивные, мультипликативные, смешанные) в связи с трудностью и, зачастую, практической невозможностью их нормализации (то есть обеспечения одинаковой размерности и важности). Определение нормирующих весовых коэффициентов в данной задаче носит весьма субъективный характер.

### **Оптимизация по Парето**

Имеем задачу с  $k$  критериями  $F_1, F_2, \dots, F_k$ . Пусть в составе множества возможных решений есть два решения  $p_1, p_2$  такие, что значения всех критериев  $F_1, F_2, \dots, F_k$  для первого решения лучше значений соответствующих критериев для второго решения. Тогда из состава множества  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  решение  $p_2$  вытесняется (говорят «доминируется») решением  $p_1$ .

В результате такой процедуры отбрасывания заведомо невыгодных решений во множестве  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  сохраняются только *эффективные* («по Парето» или «паретовские») решения, характерные тем, что ни для одного из них не существует доминирующего решения. Множество эффективных по Парето решений легче обозримо, чем все множество  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$ . Что касается окончательного *выбора решения*, то он по-прежнему остается прерогативой человека. Только человек, с его непревзойденным умением решать неформальные задачи, принимать компромиссные решения (не строго-оптимальные, но *приемлемые* по ряду критериев) может взять на себя ответственность за окончательный выбор.

Однако сама процедура выбора решения, будучи повторена неоднократно, может послужить основой для выработки некоторых формальных правил,

применяемых уже без участия человека. Речь идет о так называемых «эвристических» методах выбора решений. Предположим, что Заказчик многократно выбирает компромиссное решение в многокритериальной задаче нахождения плана реализации проекта, решаемой при разных условиях  $\alpha$ . Набирая статистику по результатам выбора, можно разработать алгоритм, в общем случае зависящий от условий  $\alpha$  и самих показателей  $F_1, F_2, \dots$ , и воспользоваться таким алгоритмом для выбора решения, на этот раз уже автоматического, без участия человека.

В некоторых случаях очень полезной оказывается процедура выбора решения в *диалоговом интерактивном* режиме [75], когда компьютер последовательно выводит на экран серию вопросов о значениях управляемых параметрах проекта и варианты ответов (или допустимые интервалы значений), а Заказчик выбирает один из них. Каждый следующий вопрос и варианты ответов выбираются Заказчиком в зависимости от ответа на предыдущий вопрос и содержимого базы знаний системы. Результатом такого диалога может стать вариант проекта, а также описание рекомендуемых мероприятий.

*Интерактивный режим* позволяет пользователю: выбрать вариант постановки задачи оптимизации (из заданной пользователем совокупности критериев оптимальности и соответствующих наборов оптимизирующих переменных); выбрать варианты расчета (по уровню детализации моделей); выбрать метод оптимизации из имеющихся в библиотеке и задать его параметры; выбрать и задать параметры метода оптимизации; выбрать варианты печати результатов моделирования в начальной и конечной точке поиска, промежуточных результатов оптимизации.

Значение *диалогового интерактивного режима взаимодействия* в процессе выбора решения трудно переоценить. Оперативный диалог Заказчика и ЭВМ часто необходим, так как обычно реальные задачи при выборе оптимальных параметров проекта включают трудно формализуемые этапы, требующие вмешательства человека, принятия с его стороны тех или иных решений. Кроме

того, оперативная связь с ЭВМ реализует возможность просмотра за короткое время множества вариантов технических решений и выбора оптимального, ускоряет процессы поиска информации, создает условия для ее эффективного использования.

### **Метод последовательных уступок**

Расположим показатели  $F_1, F_2, \dots$  в порядке убывающей важности. Сначала ищется решение, обращающее в экстремум первый (важнейший) показатель  $F_1 = F_1^*$ . Затем назначается, исходя из практических соображений, с учетом той точности, с которой нам известны входные данные, некоторая «уступка»  $\Delta F_1$ , которую мы согласны сделать (изменив на величину уступки экстремальное значение  $F_1^*$ ) для того, чтобы добиться экстремума второго показателя  $F_2$ . Таким образом, показатель  $F_1$  с учетом уступки переводится в ограничение, и при этом ограничении ищем решение, обращающее в экстремум  $F_2$ . Далее снова назначаем «уступку»  $\Delta F_2$ , ценой которой можно обеспечить экстремум  $F_3$ , и т.д. Такой способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе приобретается выигрыш в другом и какова цена этого выигрыша.

В рассматриваемой многокритериальной математической модели деятельности заказчика критерии могут иметь разные приоритеты, но наиболее целесообразным представляется следующий порядок:

$F_1 = F(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  – функция зависимости качества проекта от вектора  $\mathbf{K}$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $\mathbf{T}$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов) из модели 2.3.4;

$F_2 = \Phi_{OK}$  – степень изменения конфигурации проекта из модели 2.3.3;

$F_3 = G$  – взвешенная сумма отклонений от плана финансирования проекта из модели 2.3.4;

$F_4$  – качество плана поставок (оценка вариантов производится совместно с Поставщиком);

$F_5$  – качество плана налогообложения (оценка вариантов производится совместно с Регулирующими органами).

### **Метод иерархий**

Метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Т. Саати в конце семидесятых годов прошлого века [157], так же относится к многокритериальным методам принятия решений. Его преимущество заключается в простоте используемой экспертизы, которая предполагает декомпозицию существующей проблемы на все более простые составляющие части. В результате такой процедуры определяется относительная значимость исследуемых альтернатив для всех критериев, находящихся в иерархии, выражаемая численно в виде векторов приоритетов.

Иерархия включает в себя цель, расположенную в вершине, промежуточные уровни (критерии), и альтернативы, расположенные на нижнем уровне.

Для установления относительной важности элементов иерархии  $v_{ij}$  используется шкала отношений (табл.5), позволяющая методом попарного сравнения численно оценить степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим.

Таблица 5

### **Шкала отношений**

<i>Степень значимости <math>v_{ij}</math></i>	<i>Определение</i>	<i>Объяснение</i>
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другими (слабая значимость)	Имеются некоторые соображения в пользу предпочтения одного из действий, но недостаточно убедительные
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные суждения или логические выводы для предпочтительности одного из действий
7	Очень сильная значимость	Существуют убедительные свидетельства в пользу одного действия перед другим

9	Абсолютная значимость	Степень предпочтительности устанавливается абсолютно
2,4,6,8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями	Для ситуации, когда необходимо компромиссное суждение
Обратные величины $1/v_{ij}$	Действию $j$ при сравнении с $i$ приписывается обратное значение	При сопоставлении двух действий в обратном порядке значение шкалы $v_{ij}$ приобретает обратную величину $1/v_{ij}$

В результате строится множество матриц парных сравнений. Каждая матрица  $A$  имеет следующий вид:

$A = \{a_{ij}\}$ , где  $a_{ij} = v_{ij}$  и  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ,  $n$  – порядок матрицы парных сравнений.

Для каждой матрицы парных сравнений рассчитываются *собственные вектора* ( $W^E$ ) – вектора приоритетов по следующему алгоритму:

нормализуется матрица  $A$ , путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца. Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

Соответственно, для каждой матрицы сравнений следует оценить:

*максимальное собственное значение*  $\lambda_{max}$  по формуле

$$\lambda_{max} = e^T [A] W^E$$

(матрица  $A$  справа умножается на вектор  $W^E$  и затем все компоненты полученного вектора складываются).

*однородность суждений* путем расчета

индекса согласованности  $ИС = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$ ;

отношения согласованности  $ОС = ИС/СС$ , где  $СС$  – среднее значение (математическое ожидание) индекса согласованности случайным образом составленной матрицы парных сравнений. Приближенно  $СС$  можно вычислять по формуле

$$СС = \frac{1.98 (n - 2)}{n}$$

Величина ОС должна быть порядка 10% или менее, чтобы быть приемлемой (в редких случаях до 15%). В противном случае следует перепроверить предоставленные суждения.

**Пример.** Рассматривается проблема выбора проекта из трех вариантов по четырем критериям: Качество, Изменение конфигурации, Отклонение от плана финансирования и Затраты. Иерархия критериев и альтернатив представлена на рис.13.

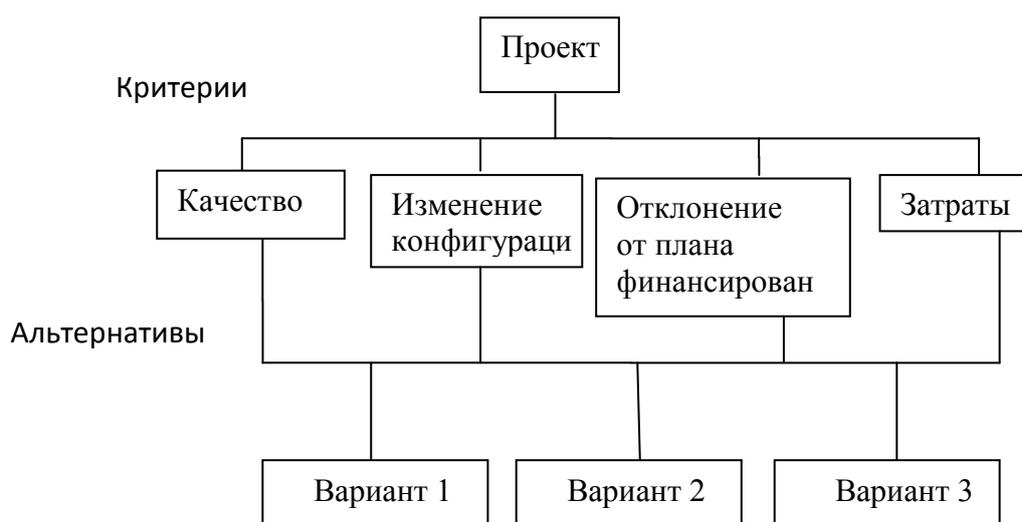


Рис. 13. Иерархия критериев и альтернатив при выборе проекта

Вначале строится матрица попарных сравнений критериев и формируется вектор приоритетов критериев. Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений альтернатив, и формируются соответствующие вектора приоритетов. Полученные вектора приоритетов альтернатив по каждому критерию умножаются скалярно на вектор приоритетов критериев и, таким образом, получается результирующий вектор приоритетов альтернатив по отношению к исходной цели – выбору проекта.

Если в процессе расчетов обнаруживается несогласованность суждений экспертов по критериям или альтернативам, то в подобных случаях следует перепроверить предоставленные суждения и произвести повторные расчеты.

Приведённые выше модели позволяют проанализировать степень заинтересованности со стороны заказчика — участника проекта: определить

каковы его ценности, интересы, место, роль и ответственность в проектной деятельности, как распределены между заказчиком и другими заинтересованными сторонами деньги, власть и другие ресурсы.

В явном виде сформулирована и поставлена задача управления конфигурацией проекта и продукта. При этом приведенные выше математические модели реализуют многие компетенции Заказчика проекта. Они могут уже сейчас служить методологической основой для разработки прикладных пакетов программного обеспечения (автоматизированной системы) для решения заказчиком описанных выше задач управления проектом на всех стадиях его осуществления.

## **2.4 Математические модели проектного управления для поставщика**

### **2.4.1 Основные понятия**

В данном параграфе предлагаются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях с участием одной из заинтересованных сторон – Генпоставщика. Для каждого предлагаемого варианта рассматриваются специфические условия, которым адекватна данная модель, при этом предлагаются и анализируются методы решения, которые также могут быть многовариантны. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности Генпоставщика, обеспечивает реализацию его соответствующих компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

*Генпоставщик* – компания, управляющая процессом обеспечения поставок и закупок по контрактам с различными поставщиками.

Генпоставщик реализует согласованный, упорядоченный и систематический процесс управления поставками всех необходимых материалов и оборудования для осуществления проекта, позволяющий обеспечить выполнение проекта в заданные сроки с заданным качеством, при этом, по возможности, снизить общую стоимость закупаемых материалов, товаров и услуг при сохранении или повышении качества, услуг и технологий.

Система управления генпоставщика предназначена для решения следующих задач:

- анализ потребностей всех работ проекта в необходимых материалах и оборудовании;
- выбор оптимальных источников поставок (проведение оценки квалификации поставщиков, тендеры и аукционы);
- заключение и контроль исполнения контрактов (договоров) с поставщиками;
- организация централизованного снабжения всего проекта и учет общих затрат на снабжение;

- осуществление тактического и стратегического анализа отношений с поставщиками.

В результате деятельности генпоставщика реализуются возможности:

- снижение расходов на закупки путем консолидации потребностей различных работ проекта, сокращения разовых закупок, оптимизации цен в результате тендеров и аукционов;
- сокращение закупочного цикла за счет автоматизации рутинных операций взаимодействия с поставщиками;
- оптимизация поставок и повышение качества снабжения проекта.

Примеры специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах Генпоставщика приведены в таблице 2 (строка 4).

Взаимосвязь математических моделей управления проектами Генпоставщика с другими заинтересованными сторонами представлена на рис. 14:



Рис. 14. Схема взаимосвязей математических моделей управления Генпоставщика с другими заинтересованными сторонами проекта.

## 2.4.2 Процесс управления поставками

Поставки – одна из важнейших проблем в управлении проектом. Снижение расходов, связанных с обеспечением проекта различными ресурсами, позволяет повысить его рентабельность. Вместе с тем, недопустимо снижение качества поставляемых ресурсов, следовательно, необходим выбор квалифицированных поставщиков, установление с ними устойчивых и взаимовыгодных партнерских отношений. Управление этими процессами позволяет уменьшить риски поставок. Таким образом, система управления генпоставщика должна заключаться в оптимизации деятельности по поставкам ресурсов при реализации проекта. Необходимо иметь в виду и наличие прямых, безальтернативных поставок, где нет проблемы выбора.

Привлечение генпоставщика на начальном этапе разработки проекта может привести к сокращению затрат до 18%. По данным исследований, интеграция процессов разработки проекта и привлечение сторонних ресурсов приводит к сокращению складских запасов более чем на 30%, а своевременность поставок увеличивается до 73% [174].

Процесс выбора поставщика состоит из следующих этапов:

### 1. Сбор и ранжирование требований к поставщику.

Требования могут быть специфичны для разных проектов, но в основном это своевременность поставок, оптимальное соотношение цена/качество, ответственность поставщика (сопровождение поставленных товаров, своевременная замена брака и пр.).

### 2. Анализ следующих характеристик потенциальных поставщиков:

- Производственные возможности
- Технологические возможности
- Права интеллектуальной собственности
- Управленческая зрелость, включая управление проектами
- Финансовое состояние / стабильность

- Организационная форма и величина предприятия
- Право собственности
- Отзывы

### 3. Создание "длинного списка" поставщиков.

Осуществляется поиск всех потенциальных поставщиков, которые соответствуют выдвинутым требованиям (использование Интернет, рекламных журналов, рекомендаций других компаний и т.п.)

### 4. Создание "короткого списка" поставщиков.

Предлагается несколько подходов к формированию "короткого списка" поставщиков:

- отбор поставщиков по степени влияния объемов поставок на интегрированный показатель качества продукции (модель 2.4.3);
- проведение качественного экспертного отбора возможных поставщиков с использованием критериев корреляции Спирмена и Кэндалла (модель 2.4.4);
- проведение качественного экспертного отбора возможных поставщиков с использованием принципов попарного сравнения (модель 2.4.5).

Предложенные модели можно использовать как отдельно, так и в сочетании их друг с другом.

### 5. Оценивание поставщиков по "короткому списку".

На данном этапе необходимо сопоставить их возможности с требованиями к поставщику и приоритетами этих требований. Это сопоставление заключается в формировании численных оценок, показывающих, насколько хорошо претендент соответствует каждому качественному требованию. Полученные оценки будут использованы на следующем этапе при построении математических моделей формирования плана поставок.

### 6. Выбор поставщика.

На этой стадии происходят анализ всех поступивших на заявку предложения ответов, выбор поставщика и заключение контракта.

Существуют различные методы выбора поставщика и присуждения контракта. Часто эта процедура осуществляется не формализуемо, для чего создается отборочный комитет, который анализирует и распределяет ответы на основе одной из методик. Наиболее распространенной из них является Позиционная система, которая заключается в экспертной оценке поставщиков по выдвинутым критериям и собранным характеристикам.

Модель количественной оценки, или позиционная система, представляет собой неплохой инструмент оценки ответов на заявку предложения. Модель достаточно объективна и гарантирует, что при анализе ответов все члены отборочного комитета используют одинаковые критерии.

Позиционная модель количественной оценки в настоящее время довольно часто используется в процессе закупки и выбора методов оценки и сопоставления различных критериев и принятия окончательного решения. Она довольно эффективна при малой номенклатуре поставляемых продуктов и небольшом количестве поставщиков. При значительном же количестве поставщиков и большой номенклатуре поставляемых продуктов, разных вариантов приобретения и использования оборудования этот «ручной» подход весьма затруднителен и не способствует получению оптимального решения. А современные проекты характеризуются как раз большой информационной емкостью.

В настоящем параграфе приводятся математические модели управления деятельностью генпоставщика в части выбора наиболее эффективных поставщиков и формирования оптимального плана поставок (модели 2.4.6-2.4.8). В случае безальтернативных поставок процесс описывается простой линейной моделью Гантта или сетевым графиком как субпроект в основном проекте. Временем окончания субпроекта является расчетная дата поставки по комплексному графику в виде вехи или ограничения по времени. Рассчитав

прямым счетом продолжительность субпроекта, определяем дату, когда поставкой надо начать заниматься, чтобы она появилась вовремя в нужном месте и в нужном объеме.

Используя предлагаемые ниже модели, можно будет решать рассмотренные выше задачи генпоставщика для проектов любой степени сложности, при этом появляется возможность автоматизировать эти процессы.

### **2.4.3 Математическая модель, описывающая характер влияния объемов поставок каждого поставщика на качество продукта**

Пусть поставляемый продукт характеризуется параметром  $Y$ , который является показателем его качества. Если продукция разных поставщиков различается по качеству, то, возможно, параметр качества будет меняться в зависимости от объема поставок того или иного поставщика  $X_i$ . Данная модель предназначена для выявления характера зависимости параметра качества от объема поставок каждого поставщика.

Исходные данные представляют месячные ряды объемов поставок каждого поставщика  $x_{it}$  и значения показателя качества  $y_t (i=1, \dots, n; t=1, \dots, T)$ .

Построение регрессионной линейной (аддитивной) модели влияния объемов поставок на параметр качества. Ищется зависимость вида:

$$Y = a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n, \quad (2.4.1)$$

где  $a_i$  – коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния объема поставки поставщика  $i$  на параметр качества. При изменении объема поставок для некоторого поставщика на единицу (единицу измерения представленных данных) значение показателя качества меняется на величину соответствующего коэффициента регрессии.

В процессе построения модели определяется оптимальное множество поставщиков. Проверка обоснованности вхождения поставщиков в модель проводится методом расчета коэффициентов корреляции  $r_{ij}$  для каждой пары переменных  $X_i, X_j$  в уравнении (2.4.1). Корреляция переменных показывает,

насколько велика их связь между собой. Если связь достаточно велика ( $|r_{ij}| \geq 0.8$ ), то использование одной из переменных нецелесообразно и является избыточным. Следовательно, ее можно исключить из модели без большой потери в объясняющих свойствах. Исключается поставщик, к которому имеется больше претензий по качеству продукции, срокам поставки и пр. При равном отношении к ним исключается любой из них. Кроме того, следует исключать поставщиков, имеющих слабую степень влияния на показатель качества  $Y$ . Данное решение принимается ответственным лицом индивидуально по каждому поставщику, путем анализа полученных коэффициентов регрессии. В итоге мы получим некоторое множество поставщиков, влияние которых на исследуемый параметр  $Y$  наиболее значимо, причем будет устранена избыточность переменных.

Опыт использования данной модели показывает, что чаще всего характер влияния объемов поставок на показатель качества отрицательный. Данный факт диктует следующую тактику отбора поставщиков: или отказываемся от крупных поставщиков, у которых больший по модулю отрицательный коэффициент регрессии (при этом возможны потери финансового характера из-за разницы в ценах на крупный и мелкий опт), или организуем усиленный контроль качества таких больших поставок (что также сопряжено с затратами). Сравниваем затраты, связанные с отказом от крупных поставщиков, с затратами на осуществление контроля за их деятельностью, и из двух зол выбираем меньшее.

Построение нелинейной (мультипликативной) модели влияния объемов поставок на параметр качества. Ищется зависимость вида:

$$Y = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} * \dots * x_n^{a_n}. \quad (2.4.2)$$

Здесь полученные показатели степени  $a_i$  – коэффициенты эластичности, они показывают, насколько процентов меняется анализируемый показатель  $Y$  при изменении фактора  $i$  на один процент. Легко показать и обратное [20], а именно, если коэффициенты эластичности являются константами, т.е. не

зависят от объемов поставок, то зависимость между показателем качества и объемами поставок выражается уравнением (2.4.2). Таким образом, мы получаем правило для выбора между (2.4.1) или (2.4.2). Анализируя статистические данные об объемах поставок и вычисляя коэффициенты эластичности при малых и больших значениях объемов, делаем выводы об их вариабельности относительно этих значений. При вариабельности, близкой к нулю, выбираем модель (2.4.2), в противном случае (2.4.1). Пошаговая работа с моделью (2.4.2) по определению оптимального множества поставщиков аналогична работе с моделью (2.4.1).

#### **2.4.4 Экспертный отбор возможных поставщиков с использованием критериев корреляции Спирмена и Кэндалла**

Пусть экспертам предлагают проранжировать  $n$  потенциально возможных поставщиков, приписав им порядковые номера (ранги)  $1, 2, 3, \dots, n$  в зависимости от индивидуального представления. Причем ранжирование может производиться как по отдельным критериям, предложенным ниже в модели 2.4.5, так и по их совокупности. Степень согласованности результатов ранжирования двух экспертов может быть оценена с помощью коэффициента ранговой корреляции  $R$ , предложенного Спирменом. Если обозначить через  $\{x_p\}$  и  $\{y_p\}$  ранги, установленные двумя экспертами для поставщика  $p$ , то коэффициент корреляции  $R$  будет определяться формулой

$$R = 1 - \frac{6 \sum d_p^2}{n^3 - n}, \quad (2.4.3)$$

где  $n$  – число сравниваемых поставщиков,  $d_p = x_p - y_p$  – разность рангов поставщиков двух экспертов.

Естественно, что максимальным значением степени согласованности экспертов является  $+1$  (достигается, когда ранги обоих экспертов совпадают), а минимальным значением является  $-1$  (соответствует случаю, когда мнения экспертов противоположны).

В принципе число ранжируемых поставщиков может быть любым, но сам процесс ранжирования большего, чем 20 числа поставщиков – затруднителен. Возможно, что именно поэтому таблица критических значений рангового коэффициента корреляции рассчитана лишь для 30 ранжируемых признаков [99]. При большем числе сравниваемых переменных следует использовать таблицу для пирсоновского коэффициента корреляции [268]. Нахождение критических значений осуществляется при  $k = n$ .

Используя ранговый коэффициент корреляции Спирмена, рассмотрим следующий пример. Эксперты проранжировали 11 поставщиков по совокупности критериев.

№ поставщика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксперт 1	3	5	6	1	4	11	9	2	8	7	10
Эксперт 2	2	7	8	3	4	6	11	1	10	5	9
$d_p$	1	-2	-2	-2	0	5	-2	1	-2	2	1
$d_p^2$	1	4	4	4	0	25	4	1	4	4	1

Подставляем полученные данные в формулу (2.4.3) и производим расчет. Получаем:

$$R = 1 - \frac{6 * 52}{11(11 * 11 - 1)} = 0.76.$$

Для нахождения уровня значимости обращаемся к [99], в которой приведены критические значения для коэффициентов ранговой корреляции.

Подчеркнем, что в этой таблице все величины коэффициентов корреляции даны по абсолютной величине. Поэтому, знак коэффициента корреляции учитывается только при его интерпретации.

Нахождение уровней значимости в данной таблице осуществляется по числу  $n$ , т. е. по числу поставщиков. В нашем случае  $n = 11$ . Для этого числа находим  $r_{кр}$ :

0,52 для  $P \leq 0,05$ ; 0,74 для  $P \leq 0,01$ .

Полученный коэффициент корреляции совпал с критическим значением для уровня значимости в 1%. Следовательно, можно утверждать, что мнения экспертов очень хорошо согласованы.

### Случай одинаковых (равных) рангов.

Нередко возникает ситуация, когда эксперт не может провести четкого разграничения между двумя объектами оценивания. В этом случае целесообразно вводить «связанные ранги», когда тем объектам оценивания, среди которых эксперт затрудняется выбрать предпочтительный, приписывается один и тот же (возможно дробный) номер. Например, эксперт не может чётко разграничить по значимости третьего и четвертого поставщика. Тогда им обоим присваивается один и тот же дробный ранг 3,5. При наличии одинаковых рангов (у каждого эксперта их может быть несколько групп) формула расчета коэффициента корреляции Спирмена будет несколько иной. В этом случае в формулу вычисления коэффициентов корреляции добавляются новые члены, учитывающие одинаковые ранги. Они называются поправками на одинаковые ранги и добавляются в числитель расчетной формулы.

$$D_j = (k_j^3 - k_j) / 12,$$

где  $k_j$  - число одинаковых рангов в группе  $j$ .

Формула расчёта коэффициента корреляции Спирмена с поправками:

$$R = 1 - \frac{6 \sum d_p^2 + \sum_j D_j}{n^3 - n}. \quad (2.4.4)$$

Пример.

№ поставщика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эксперт 1	6	7	4	5	9	12	2,5	2,5	10	8	11	1
Эксперт 2	5	8	7	11	3	6	11	11	1	3	3	9
$d_p$	1	-1	-3	-6	6	6	-8.5	-8.5	9	5	8	-8
$d_p^2$	1	1	9	36	36	36	77.25	77.25	81	25	64	64

В данном случае у первого эксперта одна группа имеет два одинаковых ранга (2,5), следовательно, величина поправки  $D_1 = \frac{2^3 - 2}{12} = 0.5$ .

У второго эксперта две группы по три одинаковых ранга (3 и 11), следовательно, величина поправки будет:  $D_2 + D_3 = \frac{(3^3-3)+(3^3-3)}{12} = 4$ .

Считаем ранговый коэффициент с учетом добавок по формуле (2.4.4). Получаем:

$$R = 1 - \frac{6 * 471.5 + 0.5 + 4}{12 * 143} = -0.651.$$

Подсчитаем без учета добавки:

$$R = 1 - \frac{6 * 471.5}{12 * 143} = -0.648.$$

Различия оказались очень незначительны. По [214] находим критические значения коэффициентов корреляции при  $n = 12$ .

0,50 для  $P \leq 0,05$ ,

0,70 для  $P \leq 0,01$ .

В этом случае полученный результат говорит о том, что экспертные оценки поставщиков согласованы с погрешностью менее 5%, но более 1%. Но мнения экспертов об этих поставщиках диаметрально противоположны! Чем выше оценивает поставщика один эксперт, тем ниже у него оценка второго эксперта. Такая анти согласованность не может быть случайной, это свидетельствует или о некомпетентности одного из экспертов, или о криминальной преднамеренности его действий.

Используемый в некоторых системах оценки коэффициент корреляции Кендалла  $\tau$  вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{s^+ - s^-}{0.5n(n-1)} \quad (2.4.5)$$

Для вычисления  $S^+$  и  $S^-$  сравниваются ранги всех различных пар поставщиков по одному эксперту и по другому. Добавляется 1 к  $S^+$ , если ранги расположены в одинаковой последовательности, и к  $S^-$ , если в обратной. Имеем

всего пар  $= S^+ + S^-$ , где  $S^+$  – число положительных, а  $S^-$  – отрицательных единиц, приписанных парам при сопоставлении их рангов по обоим экспертам.

Из формулы (2.4.5) видно, что коэффициент  $\tau$  представляет собой разность доли пар поставщиков, у которых совпадает порядок по обоим экспертам (по отношению к числу всех пар) и доли пар поставщиков, у которых порядок не совпадает. Например, значение коэффициента Кэндалла 0,60 означает, что у 80% пар порядок совпадает, а у 20% не совпадает ( $80\% + 20\% = 100\%$ ;  $0,80 - 0,20 = 0,60$ ). Т.е.  $\tau$  можно трактовать как разность вероятностей совпадения и не совпадения порядков по обоим экспертам для наугад выбранной пары поставщиков. В общем случае расчёт  $\tau$  даже для  $n=10$  оказывается громоздким. Кроме того, практические расчёты показывают, что коэффициент Кендалла  $\tau$  дает более осторожную оценку корреляции, чем коэффициент Спирмена  $R$  (числовое значение  $\tau$  всегда меньше, чем  $R$ ), т.е. коэффициент Спирмена  $R$  сильнее реагирует на несогласие ранжировок, чем  $\tau$ , поэтому мы предлагаем использовать коэффициент Спирмена для определения степени согласованности экспертов.

На практике больший интерес представляет наряду с коэффициентами ранговой корреляции, характеризующими согласованность мнений каждой пары экспертов, *коэффициент конкордации*, определяющий согласованность мнений группы экспертов.

Поясним смысл этого понятия на примере табл. 6, в которую занесены ранги, проставленные  $m$  экспертами для оценки поставщиков. В нижней строке таблицы суммируются ранги всех экспертов для каждого поставщика  $p$ . Переставим столбцы в порядке возрастания этих сумм. Среднее значение этих сумм обозначим через  $A_p$ .

$$A_p = \sum_{i=1}^m a_{ip} / m. \quad (2.4.6)$$

Таблица 6

**Ранжирование поставщиков**

Эксперт	Ранги для поставщиков			
	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
Первый	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
Второй	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
...	...	...	...	...
$m$ -й	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$
Суммы	$\sum_{i=1}^m a_{i1}$	$\sum_{i=1}^m a_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^m a_{in}$

Если бы все наблюдения были одинаковыми, то мы получили бы по столбцам следующие суммы:  $m, 2m, \dots, nm$ . Действительно, в первом столбце находился бы поставщик, которому все эксперты присвоили ранг 1, во втором поставщик с рангом 2 и т.д.

Можно рассчитать сумму квадратов отклонений:

$$S = \sum_{p=1}^n \sum_{i=1}^m (a_{ip} - A_p)^2. \quad (2.4.7)$$

Это значение характеризует степень совпадения мнений всех экспертов. При полностью согласованных мнениях значение  $S$  будет равно нулю или очень маленькой величине. Поэтому для определения степени согласованности мнений группы экспертов предлагается определять коэффициент конкордации следующим образом:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 (n^3 - n)}. \quad (2.4.8)$$

Изменение  $W$  от 1 до 0 указывает на увеличение степени согласованности во мнениях экспертов.

Работа с группой экспертов по определению оценок поставщиков производится в несколько этапов. На первом этапе определяются и анализируются парные коэффициенты корреляции Спирмена, проводится работа по выявлению и исключению из группы некомпетентных и коррумпированных экспертов. Затем по формуле (2.4.8) вычисляется коэффициент конкордации, организационная работа с экспертами (их

информирование, отсев и последующие перерасчеты) продолжается до тех пор, пока не получим значение  $W \leq 0.15$ , что говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов. Тогда  $A_p$ , вычисленные по формуле (2.4.6), будут являться приоритетами поставщиков.

#### **2.4.5 Экспертный отбор возможных поставщиков с использованием принципов попарного сравнения (метод иерархий Саати)**

В качестве критериев выбора поставщика предлагаются следующие:

- своевременность поставок,
- соотношение цена/качество (с учетом транспортных издержек),
- ответственность поставщика (сопровождение поставленных товаров, своевременная замена брака и пр.),
- производственные и технологические возможности,
- финансовое состояние (кредитоспособность, стабильность).

Выбор поставщиков с использованием методов свертки критериев и (или) комплексных критериев рассмотрены в [12,13]. Здесь мы предлагаем метод анализа иерархий Саати [157].

Вначале строится матрица попарных сравнений критериев (см.табл.9) и формируется вектор приоритетов критериев. Каждый проект уникален, уникальны и сравнительные оценки критериев. В табл. 7 приведен пример попарных сравнений критериев для некоторого проекта (для анализа взят проект строительства гипермаркета «Горки» в г. Челябинске).

**Матрица А попарных сравнений критериев**

<i>Критерии</i>	<i>Своевременность поставок</i>	<i>Соотношение цена/качество</i>	<i>Ответственность поставщика</i>	<i>Производ. и технол. возможности</i>	<i>Финансовое состояние</i>
<i>Своевременность поставок</i>	1	3	5	3	5
<i>Соотношение цена/качество</i>	1/3	1	1/3	1/3	5
<i>Ответственность поставщика</i>	1/5	3	1	1/5	3
<i>Производ. и технол. возможности</i>	1/3	3	5	1	3
<i>Финансовое состояние</i>	1/5	1/5	1/3	1/3	1

Для формирования вектора приоритетов критериев сначала нормализуем матрицу А, путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца.

$$N_A = \begin{pmatrix} 0.48 & 0.29 & 0.43 & 0.62 & 0.29 \\ 0.16 & 0.10 & 0.03 & 0.07 & 0.29 \\ 0.10 & 0.29 & 0.08 & 0.04 & 0.18 \\ 0.16 & 0.29 & 0.43 & 0.20 & 0.18 \\ 0.10 & 0.03 & 0.03 & 0.07 & 0.06 \end{pmatrix}$$

Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

$$W^E = (0.422 \quad 0.13 \quad 0.138 \quad 0.252 \quad 0.058). \quad (2.4.9)$$

На данном проекте самым приоритетным является критерий «своевременность поставок» (0,422), затем «производственные и технологические возможности» (0,252), потом «ответственность поставщика», «соотношение цена/качество», и на последнем месте «финансовое состояние поставщика».

Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений поставщиков, и формируются соответствующие вектора приоритетов. Полученные вектора приоритетов поставщиков по каждому критерию умножаются скалярно на вектор приоритетов критериев и, таким образом, получается результирующий вектор приоритетов поставщиков  $\{A_p\}$ .

#### 2.4.6 Однопродуктовая статическая задача выбора поставщика

Рассмотрим совокупность поставщиков (всего  $n$ ), которые могут поставлять определенный вид продукта в заданное время. Пусть:

$X_p$  – объем поставок продукции, осуществляемых  $p$ -м поставщиком в заданный временной интервал, ограничен возможностями предприятия-поставщика  $V^{ozp}_p$ ;

$V$  – потребность потребителя в продукции в заданный интервал времени;

$V_{min}$  – минимально необходимый объем продукции, обеспечивающий непрерывность деятельности потребителя в заданном интервале времени;

$V_{max}$  – максимальный объем поставки продукции, гарантирующий избежание простоев транспортных средств, которыми доставляется продукция потребителю, в заданный интервал времени;

$Z_p$  – закупочная цена единицы объема продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком;

$D^{mp}_p$  – стоимость транспортировки единицы объема продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком;

$P_p$  – показатель качества продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком, определяется как вероятность получения продукции, соответствующей всем требованиям качества, (устанавливается из статистических данных входного контроля качества поставляемой продукции).

Условия поставок и формы расчетов, исходя из ограниченности бюджета потребителя, определяются соответствующими долями возможных закупок в общем объеме поставок:

- а)  $Q_1$  – доля закупок с отсрочкой платежа;
- б)  $Q_2$  – доля закупок по условиям оплаты по факту поставки;
- в)  $Q_3$  – доля закупок на условиях предоплаты.

**Критерии эффективности, по которым будем оценивать решение о выборе поставщика.**

Для формирования критерия, соответствующего стоимостной оценке закупок, определим суммарные затраты на объем закупок в заданный интервал времени у всех поставщиков:

$$SC = \sum_{p=1}^n (Z_p + D_p^{TP}) X_p \quad (2.4.10)$$

и суммарный объем поставок

$$SV = \sum_{p=1}^n X_p. \quad (2.4.11)$$

Минимальная цена единицы объема продукции во всем объеме  $SV$  составит:

$$C_{min} = \min_p (Z_p + D_p^{mp}). \quad (2.4.12)$$

Сформируем первый частный критерий эффективности в виде отношения величины  $C_{min}$ , соответствующей минимальной цене, предлагаемой поставщиками (с учетом транспортных расходов), к средней цене закупок  $C_{cp}=SC/SV$ :

$$K_1 = C_{min} / C_{cp}. \quad (2.4.13)$$

Критерий  $K_1$  характеризует долю, составляемую минимально возможной ценой закупки в средней закупочной цене. Этот показатель имеет максимальное значение ( $K_1=1$ ), если все закупки осуществляются только у поставщика, стоимость продукции у которого является наименьшей. Во всех других случаях  $K_1 < 1$ , что соответствует менее выгодным ценовым условиям закупок. Таким образом, из условия снижения затрат на закупки критерий  $K_1$  следует максимизировать.

В качестве второго частного критерия выбираем критерий, который позволит оценить условия поставок и формы расчетов. Естественно, потребителю выгоднее производить закупки на условиях отсрочки платежа, менее выгодно, если оплата осуществляется по факту поставки, еще менее

выгодно закупать на условиях предоплаты. Выгодность закупок, производимых по различным описанным вариантам форм оплаты, можно оценить посредством соответствующих коэффициентов эффективности:  $E_{on}$  (с отсрочкой платежа),  $E_{\phi n}$  (при оплате по факту поставки),  $E_{np}$  (при условии предоплаты).

В этом случае сформируем следующий комплексный критерий:

$$K_2 = (E_{on}SV_{on} + E_{\phi n}SV_{\phi n} + E_{np}SV_{np}) / SV, \quad (2.4.14)$$

где:  $SV_{on}$  – суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков, допускающих отсрочку платежа;

$SV_{\phi n}$  – суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков на условиях оплаты по факту поставки;

$SV_{np}$  – суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков, требующих предоплату.

Критерий  $K_2$  характеризует (с учетом коэффициентов эффективности) долю закупок, производимых на тех или иных условиях в общем объеме закупок, и имеет максимальное значение  $K_2=E_{on}$ , если все закупки осуществляются у поставщиков, допускающих отсрочку платежа. Пусть, например, закупки каждой единицы объема продукции, производимые с отсрочкой платежа, имеют показатель эффективности  $E_{on}=1$ , закупки единицы объема продукции при оплате по факту поставки имеют показатель эффективности  $E_{\phi n} = 0,5$ , а наименее выгодные закупки (на условиях предоплаты) пусть имеют показатель эффективности  $E_{np} = 0,2$ . Тогда максимальное значение комплексного критерия  $K_2=1$ . Во всех остальных случаях  $K_2 < 1$ , что соответствует менее выгодным условиям поставок. Конкретные значения коэффициентов эффективности закупок из условия форм оплаты могут быть получены экспертными оценками или путем отражения ограниченных бюджетных возможностей предприятия-потребителя. Таким образом, эффективное решение на основе данного критерия сводится к максимизации  $K_2$ .

В качестве третьего частного критерия рассмотрим показатель, характеризующий качество поставляемой продукции. Поскольку качество продукции представлено через вероятностные показатели, определим математическое ожидание объемов поставки качественной продукции в общем объеме поставок:

$$MV = \sum_{p=1}^n P_p X_p.$$

Критерий качества в этом случае имеет следующий вид:

$$K_3 = MV/SV. \quad (2.4.15)$$

Критерий  $K_3$  имеет максимальное значение, соответствующее показателю качества поставщика самой качественной продукции, если все закупки осуществляются именно у него. Во всех остальных случаях  $K_3$  имеет меньшие значения, что соответствует менее качественной продукции, следовательно, требуется максимизация  $K_3$ .

В качестве четвертого частного критерия возьмем отклонение суммарного объема поставок от его необходимого количества:

$$K_4 = |SV - V|. \quad (2.4.16)$$

Отклонение поставленного объема продукта от его необходимого количества может вызвать дополнительные издержки, связанные как с хранением излишков, так и с простоями исполнителей из-за нехватки продукта. Следовательно, по этому критерию необходима минимизация.

Методы решения многокритериальных задач достаточно подробно описаны [104]. В п.2.3 мы применяли некоторые из них, в частности, метод последовательных уступок. Здесь также он может быть применен, но наряду с ним представляется целесообразным в данном случае осуществить свертку полученных критериев, используя метод суммирования с заданием весовых коэффициентов. При определении весовых коэффициентов целесообразно воспользоваться методом экспертных оценок, при этом определяя их значения как напрямую, так и посредством попарных сравнений, формируя вектор

приоритетов подобно (2.4.9). Вместе с тем следует отметить, что варьирование численных значений коэффициентов принципиально не изменяет задачу, а лишь меняет приоритеты потребителя при покупке продукции, что позволяет ему принять решение исходя из конкретных обстоятельств, складывающихся в данный момент. Тогда суммарный критерий эффективности в виде свертки частных комплексных критериев  $K_1, K_2, K_3, K_4$  представим так:

$$W = g_1 K_1 + g_2 K_2 + g_3 K_3 - g_4 K_4, \quad (2.4.17)$$

где:  $g_1, g_2, g_3, g_4$  – весовые коэффициенты,  $g_i > 0$ .

Целевая функция  $W$  и ее весовые коэффициенты отражают интересы Генпоставщика при поставке конкретного вида продукта в анализируемый период. Увеличение  $g_1$  отражает повышенный ценовой интерес (купить дешевле), увеличение  $g_2$  придаст большее значение условиям поставки, увеличение  $g_3$  отражает большее внимание к качеству поставляемой продукции, увеличение  $g_4$  приведет к уменьшению фактов срыва поставок.

Составим математическую модель задачи.

Система ограничений состоит из двух подсистем, первая из которых обусловлена потребностями потребителя и возможностями поставщиков:

$$V_{min} \leq SV \leq V_{max}, \quad (2.4.18)$$

$$0 \leq X_p \leq V_p^{orp}, \quad (2.4.19)$$

Вторая подсистема обусловлена ограниченными бюджетными возможностями потребителя, что выражается соответствующими требованиями к условиям поставок:

$$SV_{on} / SV \geq Q_1, \quad (2.4.20)$$

$$SV_{\phi n} / SV \leq Q_2, \quad (2.4.21)$$

$$SV_{np} / SV \leq Q_3. \quad (2.4.22)$$

Подсистема (2.4.20)–(2.4.22) отражает требования, что доля закупок продукции на условиях отсрочки платежа в общем объеме закупок должна

быть не менее  $Q_1$ , а доли закупок на условиях оплаты по факту поставки и условиях предоплаты не должны превышать  $Q_2$  и  $Q_3$  соответственно.

Таким образом, требуется определить объемы закупок  $X_p$ , соответствующие системам ограничений (2.4.18)–(2.4.22) и максимизирующие суммарный критерий эффективности (2.4.17).

Пример. Исходные данные взяты из [12]. Потребность проекта в металле составляет 4200т в месяц. При этом из условий нормального выполнения проекта минимальная потребная поставка металла должна составлять не менее двух вагонов (120 т) в сутки.

В то же время, чтобы не нести затрат по оплате вынужденных простоев вагонов, максимальная суточная поставка не должна превышать пяти вагонов (300 т).

Перечень поставщиков и их характеристики представлены в табл. 8.

Таблица 8

#### Характеристики поставщиков

	Поставщик	Стоимость с НДС за 1т, тыс.руб.	Железнодорож. тариф, за 1в, тыс.руб.	Ограничение объема поставок, т. в мес.	Условия поставки	Показатель качества
1	Сатка, Челябинская обл.	2,800	200	300	По факту поставки	0,86
2	Челябинский мет. комбинат	2,770	220	Без ограничений	Предоплата	0,87
3	Липецк, "Свободный сокол"	2,976	124	Без ограничений	По факту поставки	0,89
4	Новотроицкий мет.комбинат, Оренбургская обл.	2,880	237	1200	Отсрочка платежа	0,8
5	Нижнетагильский мет.комбинат	3,120	249	Без ограничений	По факту поставки	0,9

6	Екатеринбург-ский мет.комбинат	3,250	199	Без ограничений	Отсрочка платежа	0,92
7	Магнитогорский мет.комбинат	3,780	234	360	Отсрочка платежа	0,97
8	Пашня, Пермская обл.	2,700	253	300	Предоплата	0,87
9	Тульский "Чермет"	3,060	130	Без ограничений	Отсрочка платежа	0,93
10	Московский мет.комбинат	3,200	125	Без ограничений	По факту поставки	0,96

Показатель качества, приведенный в табл. 8, представляет собой величину вероятности получения продукции, соответствующей всем требованиям качества (устанавливается из статистических данных входного контроля качества поставляемой продукции).

Исходя из существующего в настоящее время постоянного дефицита финансирования, зададим следующие коэффициенты эффективности закупок продукции:

- закупки, производимые с отсрочкой платежа:  $E_{on} = 1$ ;
- закупки по факту поставки:  $E_{fn} = 0,5$ ;
- закупки по условиям предоплаты:  $E_{np} = 0,2$ .

Зададим доли возможных закупок в общем объеме поставок:

$$Q_1 = 0,5;$$

$$Q_2 = 0,35;$$

$$Q_3 = 0,15.$$

Определим весовые коэффициенты частных критериев эффективности:

$$g_1 = 0,7; g_2 = 0,2; g_3 = 0,1; g_4 = 0,3.$$

Составим математическую модель задачи оптимизации поставок.

Система ограничений имеет следующий вид:

При среднем числе рабочих дней в месяц 21,8  $V_{min} = 21,8 * 120 = 2616$ ,  
 $V_{max} = 21,8 * 300 = 6540$ , откуда

$$2616 \leq SV \leq 6540,$$

$$SV = \sum_{p=1}^n X_p.$$

$$X_1 \leq 300,$$

$$X_4 \leq 1200,$$

$$X_7 \leq 360, \tag{2.4.23}$$

$$X_8 \leq 300,$$

$$(X_4 + X_6 + X_7 + X_9) / SV \geq 0,5,$$

$$(X_1 + X_3 + X_5 + X_{10}) / SV \leq 0,35,$$

$$(X_2 + X_8) / SV \leq 0,15,$$

$$0 \leq X_p.$$

Таким образом, требуется определить значения  $X_p$ , соответствующие системе ограничений (2.4.23) и максимизирующие суммарный критерий эффективности:

$$W = 0,7 K_1 + 0,2 K_2 + 0,1 K_3 - 0,3 K_4 \rightarrow \max.$$

Найдем

$$C_{min} = \min_p (Z_p + D_p^{mp}) =$$

$$= \min \left( 2.8 + \frac{200}{60}, 2.77 + \frac{220}{60}, 2.976 + \frac{124}{60}, 2.88 + \frac{237}{60}, 3.12 \frac{249}{60}, \right.$$

$$\left. 3.25 + \frac{199}{60}, 3.78 + \frac{234}{60}, 2.7 + \frac{253}{60}, 3.06 + \frac{130}{60}, 3.2 + \frac{125}{60} \right) =$$

$$= \min(6.13, 6.44, 5.04, 6.83, 7.27, 6.57, 7.68, 6.92, 5.23, 5.28) = 5.04.$$

$$K_1 = 5.04 * SV / (6.13 X_1 + 6.44 X_2 + 5.04 X_3 + 6.83 X_4 + 7.27 X_5 + 6.57 X_6 + 7.68 X_7 + 6.92 X_8 + 5.23 X_9 + 5.28 X_{10}).$$

$$K_2 = (1 * (X_4 + X_6 + X_7 + X_9) + 0,5 * (X_1 + X_3 + X_5 + X_{10}) + 0,2 * (X_2 + X_8)) / SV.$$

$$K_3 = (0,86 X_1 + 0,87 X_2 + 0,89 X_3 + 0,8 X_4 + 0,9 X_5 + 0,92 X_6 + 0,97 X_7 + 0,87 X_8 + 0,93 X_9 + 0,96 X_{10}) / SV.$$

$$K_4 = |SV - 4200|.$$

Решение задачи с использованием Microsoft Excel (программа "Поиск решения") дало следующий результат:

$$X_1=56, X_2=0, X_3=176, X_4=56, X_5=0, X_6=116, X_7=0, X_8=0, X_9=3561, X_{10}=236, \\ W=0.948.$$

Если выбрать другие весовые коэффициенты свертки критериев, результат решения изменится. Так, например, если положить  $g_1 = 0,8$  (что соответствует большей значимости стоимостного критерия),  $g_2 = g_3 = 0,1$ ,  $g_4 = 0,3$ , получим следующие оптимальные объемы закупок:

$$X_1=121, X_2=2, X_3=168, X_4=2, X_5=0, X_6=98, X_7=0, X_8=0, X_9=3589, X_{10}=220.$$

Если не требовать точного соблюдения поставок заданным объемам (убрать критерий  $K_4$ ), то результат получается  $X_9=3584$  (остальные 0), т.е. поставки должны идти от поставщика с отсрочкой платежа с самой низкой ценой.

На практике, зачастую, требуется поставлять продукцию полными вагонами (требование ЖД). Введем дополнительное ограничение: все переменные должны быть кратны 60.

Результат:  $X_1=60, X_3=180, X_4=60, X_6=120, X_9=3540, X_{10}=240$ , остальные 0, значения частных критериев  $K_1=0.95, K_2=0.94, K_3=0.93, K_4=0, W=0.947$ . Т.к. оптимальные значения частных критериев  $K_1=K_2=K_3=1, K_4=0$ , то мы получили решение, близкое к идеальному.

#### **2.4.7 Многопродуктовая динамическая математическая модель деятельности генерального поставщика**

Рассматривается транспортная задача определения оптимального плана поставок нескольких продуктов. Дано:

$PP_T^R$  – плановые объемы поставок по всей номенклатуре ресурсов  $R$  в период  $T$ ;

$L_T^{GR}$  – лимиты финансирования в период  $T$  по группам ресурсов (группа может состоять из одного ресурса).

Возможности приобретения продукта у субпоставщика  $p$ :

$W_{pT}^R$  – объемы возможных закупок с доставкой в период  $T$ ;

$Z_p^R$  – закупочные цены;

$D_p^R$  – стоимость доставки единицы ресурса  $R$ ;

$PZ_p^R(t)$  – вероятность задержки на  $t$  дней;

$SS^R(t)$  – штрафные санкции за срыв поставок на  $t$  дней.

Необходимо осуществить оптимизацию управления процессом поставок и закупок с соблюдением плана поставок и минимизацией затрат и штрафных санкций. Таким образом, нужно найти  $X_T^R$  – объемы и сроки поставок всех материальных ресурсов,  $X_{Tp}^R$  – объемы и сроки закупок у субпоставщиков  $p$  с доставкой в период  $T$ , удовлетворяющие следующим условиям:

$$X_T^R = \sum_{\forall p} X_{Tp}^R; \quad (2.4.24)$$

$$X_{Tp}^R \leq W_{pT}^R; \quad (2.4.25)$$

$$\sum_{\forall p} \sum_{\forall R \in GR} X_{Tp}^R (Z_p^R + D_p^R) \leq L_T^{GR}. \quad (2.4.26)$$

Обеспечение плановых объемов поставок:

$$\forall S \sum_{T=1}^{S+\delta R} X_T^R \geq \sum_{\tau=1}^S P P_{\tau}^R, \quad (2.4.27)$$

где  $\delta R$  – максимально допустимый срок срыва поставок ресурса  $R$ .

Целевая функция – суммарные издержки на закупку и транспортировку ресурсов:

$$\sum_{T=1}^{T_{\text{дир}}} \sum_{\forall p} \sum_{\forall R} X_{Tp}^R \left( Z_p^R + D_p^R + \sum_{t=1}^{\delta} PZ_p^R(t) \times SS^R(t) \right) \rightarrow \min. \quad (2.4.28)$$

$T_{\text{дир}}$  – директивный период завершения проекта.

Полученные в результате решения объемы  $X_{Tp}^R$  необходимы для заключения контрактов на закупки с соблюдением интересов клиента и поставщика.

## 2.4.8 Математическая модель многопродуктовой динамической задачи оптимизации поставок с учетом приоритетов поставщиков

В данной модели объединены некоторые идеи моделей 2.4.6. и 2.4.7.

Дано:

$V_{Rmin}^t, V_{Rmax}^t$  – минимально и максимально необходимые объемы поставок R-го ресурса в  $t$ -й период;

$\delta_{ран}, \delta_{поз}$  – допустимые отклонения от требуемых сроков поставок (раньше, позже);

$C_{Rp}^t$  – стоимость единицы поставляемого ресурса R от поставщика  $p$  в  $t$ -й период;

$A_p$  – приоритеты поставщиков (рассчитываются по формуле (2.4.6) или по методу, изложенному в 2.3.4);

$B_{Rpmin}^t, B_{Rpmax}^t$  – минимально и максимально возможные объемы поставок R-го ресурса от поставщика  $p$  в  $t$ -й период;

$S_R^{tcp}$  – потери, связанные с единичными отклонениями от требуемых сроков поставок R-го ресурса в  $t$ -й период;

$S_R^{тоб}$  – потери, связанные с единичными отклонениями от требуемых объемов поставок R-го ресурса в  $t$ -й период;

$V_R$  – общая потребность проекта в ресурсе R.

Необходимо найти  $X_{tp}^R$  – объемы поставок R-го ресурса от поставщика  $p$  в  $t$ -й период, удовлетворяющие следующим условиям:

$$B_{Rpmin}^t \leq X_{tp}^R \leq B_{Rpmax}^t \quad (2.4.29)$$

$$\sum_{\forall p} X_{tp}^R \in \Omega V_R^t, \quad (2.4.30)$$

где  $\Omega V_R^t$  – множество допустимых по объему и времени поставок (при необходимом объеме поставок R-го ресурса в  $t$ -й период  $V_R^t$  допустимы отклонения по объему от  $V_{Rmin}^t$  до  $V_{Rmax}^t$  и по времени  $t - \delta_{ран} \leq \tau \leq t + \delta_{поз}$ ).

$$\sum_{\forall p,t} X_{tp}^R = V_R. \quad (2.4.31)$$

Критерии оптимизации:

$$F_1 = \sum_{\forall t,p,R} A_p \cdot C_{Rp}^t \cdot X_{tp}^R \rightarrow \min, \quad (2.4.32)$$

$$F_2 = \sum_{\forall t,R} \left( \sum_{\forall p} X_{tp}^R - V_R^t \right) \cdot S_R^{тоб} + |t - \tau| \cdot S_R^{tcp} \rightarrow \min. \quad (2.4.33)$$

Предложенные модели реализуют задачи математического программирования с линейными и нелинейными ограничениями и целевыми функциями. В настоящее время существует широкий спектр программных средств для решения подобных задач, достаточно указать входящий в EXCEL пакет Solver (Поиск решения). Для построения регрессионной модели и численной оценки коэффициентов регрессии в 2.4.3 можно использовать функцию «Регрессия» пакета Анализ Данных, входящего в состав EXCEL, или модули пакета STATISTICA "Множественная регрессия" и "Нелинейное оценивание".

Представленные математические модели с использованием разработанных критериев многокритериальной оценки поставщиков являются эффективным инструментом решения проблемы выбора поставщика, позволяя при изменяющихся условиях рынка на основе компьютерной реализации оперативно выявлять не только наиболее выгодных поставщиков, но и одновременно определять оптимальные объемы закупок продукции у каждого из конкурирующих поставщиков. Рассмотренные выше постановки задач для Генпоставщика могут служить методологической основой разработки прикладных пакетов программного обеспечения (автоматизированной системы) для решения описанных выше задач взаимодействия с поставщиком при управлении проектом на всех стадиях его осуществления.

## **2.5 Математические модели управления для генконтрактора, руководителя и его команды управления проектом**

### **2.5.1 Основные понятия**

В данном разделе предлагаемые математические модели управления для важнейшей заинтересованной стороны – руководителя и его команды управления проектом, предназначены для расчета всех технико-экономических параметров проекта, формирования набора вариантов его реализации для последующего выбора из них наиболее эффективных. При этом рассматривается сложный многоцелевой проект, описание которого произведено с помощью сетевого моделирования, причем могут быть использованы как традиционные детерминированные модели, так и обобщенные, вероятностные и альтернативные. Описание подобных сетевых моделей и методы расчета основных показателей проекта (ранних и поздних сроков начала и окончания работ, вероятностей выполнения основных этапов и всего проекта в целом и пр.) приведено в п.3.1. Предполагается, что реализация проекта может осуществляться N вариантами. Для каждого варианта командой проекта рассчитываются свои временные, ресурсные и финансовые показатели, экологические и социальные характеристики.

Руководитель Проекта (в принятой на Западе терминологии – Проджект-менеджер или Менеджер проекта) – это юридическое лицо, которому заказчик (инвестор или другой участник проекта) делегируют полномочия по руководству работами по проекту: планированию, контролю и координации работ участников проекта. Под руководством Руководителя проекта работает Команда проекта – специфическая организационная структура, возглавляемая руководителем проекта и создаваемая на период осуществления проекта с целью эффективного достижения его целей.

Если речь идет о крупном строительном проекте, то стараются создать комплексную организацию, которая выполняет функции генконтрактора – заключает контракт на создание объекта “под ключ”. Например, в РАО “ЕЭС

России” создана новая структура – компания “ЭМК-Инжиниринг”, которую возглавляет Леонид Коган, бывший строитель, а затем директор Тюменской ТЭЦ. Пройдя путь от строительства до эксплуатации, он понял, что не обязательно иметь огромные тресты и подрядные коллективы, а достаточно создать “мозговой центр”, в котором будут собраны все специалисты, организаторы, управленцы – словом, штаб, который может сделать “под ключ” любой энергетический объект в любой точке России и других странах. Сделать от задумки, от концепций до ввода в эксплуатацию. Это – пример современной управляющей компании.

Она, в свою очередь, объявляет конкурсы на проектирование – там есть менеджер по проектированию, но это вовсе не главный инженер проекта, есть менеджер по строительству, но это, опять же, не прораб и не управляющий трестом, а менеджер, который работает со строительными организациями, подбирает их, проводит конкурсы, нанимает и т. д., есть менеджеры по поставкам, оборудованию, эксплуатации и т. д. Это – тип западной компании, совсем иная структура, нежели были у нас прежде. Там нужны не только руководители, но и профессионально подготовленные члены команды.

Генконтрактор сдает объект “под ключ” и несет ответственность за построенное. Он руководит не стройкой, а всем проектом в целом! В этом отличие от прежних методов управления.

В силу близости функций Руководителя Проекта и Генконтрактора, в данном параграфе объединено описание математических моделей для них. Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах Руководителя Проекта и Генконтрактора приведен в таблице 6 (строки 3 и 4).

Все перечисленные характеристики используются при построении математических моделей.

Взаимосвязь математических моделей управления руководителя и его команды управления проектом (и генконтрактора) с другими заинтересованными сторонами представлена на рис. 15:



Рис. 15. Схема взаимосвязей математических моделей управления руководителя и его команды с другими заинтересованными сторонами.

### 2.5.2 Функции деятельности руководителя и его команды управления проектом

**Методологическая основа деятельности руководителя и его команды управления проектом.**

Работа данной группы является основополагающей для обеспечения деятельности по проектному управлению всех остальных заинтересованных сторон. Ее результаты согласовываются и могут использоваться на всех стадиях жизненного цикла проекта другими стейкхолдерами. Прежде всего, конструируется сетевая модель проекта, которая в зависимости от его специфики может иметь детерминированный, вероятностный, альтернативный, стохастический или смешанный характер. На основании топологии сетевой модели проекта рассчитываются его временные и ресурсные показатели, которые согласовываются с каждой заинтересованной стороной с учетом их

специфических характеристик и параметров. При этом, формируется как детализированный, так и агрегированный график выполнения работ. Степень детализации зависит от масштаба проекта и периода планирования. Более детальное планирование требует дополнительных усилий при составлении расчетов, причем практика показывает, что при удвоении точности расчетов в четыре раза увеличиваются трудозатраты на планирование, при этом погрешности результатов также растут квадратично [167]. Опыт показывает, что оптимальным соотношением между периодом выполнения проекта и временным дискретом детализации является 5%. Т.е. на стадии инициализации проекта длительностью 5 лет, при разработке и анализе альтернативных вариантов управления проектом, а также на стадии планирования всего проекта и его отдельных пусковых комплексов (вех) следует детализировать работы до квартала, при двухгодичном планировании составлять ежемесячные планы, и только при составлении оперативных месячных планов разбивать работы до дня.

Для постановки и реализации оптимизационных задач управления проектом используется универсальная математическая модель. Общее описание универсальной математической модели управления проектом приведено в п.2.1. Предложенные авторами настоящей статьи алгоритмы с учетом степени риска позволяют провести анализ и построить непротиворечивые модели процесса реализации проектов, что, в свою очередь, способствует формированию оптимальных календарных планов их выполнения.

**Задачи и функции управления, реализуемые руководителем проекта и его командой.**

Основные задачи руководителя и его команды управления проектом:

- согласование целей в отношении требований по качеству, срокам, издержкам, ресурсам и т.д. со всеми заинтересованными сторонами;
- утверждение согласованных целей в проектном задании со стороны заказчика;

- разработка организационной структуры проекта и порядка его выполнения;
- организация планирования, управления и контроля в соответствии с видом и масштабом проекта и осуществление этих функций;
- разработка альтернативных решений процесса выполнения проекта;
- осуществление необходимых расчетов для обеспечения проекта требуемыми ресурсами;
- разработка и реализация мероприятий по мотивации сотрудников;
- координация всех участников проекта как внутри проекта, так и во внешней среде;
- обеспечение технико-экономической информацией о проекте и ходе его реализации заказчика и других заинтересованных сторон в соответствии с установленным порядком.

Функции управления, реализуемые руководителем проекта и его командой:

- управление предметной областью проекта (управление содержанием проекта, объемами работ);
- управление проектом по временным параметрам;
- управление стоимостью и финансами проекта;
- управление качеством в проекте;
- управление рисками в проекте;
- управление персоналом в проекте;
- управление коммуникациями в проекте;
- управление стейкхолдерами в проекте;
- управление поставками и контрактами в проекте, включая управление распределением ресурсов, управление запасами ресурсов;
- управление изменениями в проекте;
- интегративное (координационное) управление.

Перечисленные функции реализуются посредством решения соответствующих задач, математические модели которых представлены ниже.

Выделение задач довольно условно, т.к. функции управления тесно взаимодействуют друг с другом, переплетаются. Действительно, управление рисками тесно связано с управлением по времени, по финансам, по качеству, по ресурсам и так далее. В работе приводятся базовые математические модели задач основных функций управления, более углубленное и развернутое представление моделей автор надеется привести в последующих исследованиях. Следует отметить, что на практике в зависимости от масштаба и специфики проекта происходит организационное объединение, как функций, так и заинтересованных сторон, причем в различных сочетаниях. Например, команда проекта может не только готовить информацию, но и выполнять расчеты, реализующие функции заказчика и генпоставщика, в других случаях заказчик может выступать инвестором и т.п. Вне зависимости, где организационно находится руководитель проекта и его команда – в составе заказчика, инвестора, подрядчика, или это отдельная управляющая компания профессиональных менеджеров проекта, мы будем ориентировать математические модели строго на реализацию вышеприведенных функций.

Внутри конкретной функции управления задачи различаются по фазам жизненного цикла проекта. На предпроектной фазе управление предметной областью происходит посредством создания агрегированных сетевых моделей и на их базе формирования набора вариантов реализации проекта, отличающихся как сроками выполнения отдельных этапов (вех), так и затратами на их реализацию. Та же информационная база на этой фазе жизненного цикла лежит в основе решения задач управления временем и стоимостью. Что касается задач управления качеством, рисками и персоналом, то на этой фазе реализуются обобщенные модели, дающие весьма общие представления о данных характеристиках проекта. Более конкретные значения этих характеристик мы получим на фазе реализации проекта, здесь же следует решать задачи управления поставками и контрактами в проекте, включая управление распределением ресурсов, управление запасами ресурсов. При этом

формируется и используется детализированное описание проекта. Представляя в данной работе математические модели задач разных функций управления, мы выделили основные, на наш взгляд, не претендуя здесь на их полноту и всеохватность.

Построение оптимальных календарных планов реализации проектов, а также оптимального сводного плана для комплекса проектов позволяет определить необходимые потребности в ресурсах (в том числе финансовых), графики назначений исполнителей, использования машин и оборудования. Таким образом, определяется инвестиционная матрица альтернатив  $\{I_t^k\}$ , где  $I_t^k$  – требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$  (месяц, квартал, год – в зависимости от масштаба проекта). Осуществляется прогноз, и формируется матрица прибыли  $\{V_t^k\}$ , где  $V_t^k$  – прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ .  $t \in [0, T]$ , где  $T$  – срок полного жизненного цикла проекта с начала его реализации до максимально возможного прогноза прибыли от осуществления деятельности после реализации (данная информация является исходной для работы инвестора).

Процесс управления реализацией проекта осуществляется посредством разработки детального плана производства работ (является исходным для работы генконтрактора), бизнес-плана и плана по вехам для инвестора, комплексного укрупненного плана для заказчика, плана поставок для поставщика, плана налогообложения для регулирующих органов.

Периодическая актуализация исходных данных дает возможность уточнять эти потребности, планы и графики (снижать уровень неопределенности), создает необходимые предпосылки для гармонизации технологических переделов проектов в сжатые сроки и интенсификации процедур реализации проектов в пространстве «время – ресурсы – стоимость».

### 2.5.3 Математическая модель предметной области

Для описания сложного проекта используется циклическая альтернативная сетевая модель (ЦАСМ), подробно представленная в разделе 3.1, при этом классические, обобщенные и стохастические сетевые модели являются ее частными случаями.

В табл. 9 приведено концентрированное описание ЦАСМ, и показано, при каких условиях все другие известные модели становятся ее частными случаями.

Следует отметить, что с методологической точки зрения альтернативные сетевые модели GANN и Эйснера [52] носят более общий характер в силу наличия в их структуре управляемых альтернативных работ. Однако при реализации алгоритмического аппарата ЦАСМ данные элементы структуры сводятся к стохастическим, при этом используются известные из теории принятия решений способы сведения неопределенности к риску. При полной неопределенности применяется критерий Лапласа (если из некоторого события выходят  $n$  управляемых альтернативных работ и заранее не известно, с какой вероятностью управляющий проектом будет реализовывать те или другие работы, то вероятность их выполнения принимается равной  $1/n$ ). Если имеется возможность определения  $p$  – вероятности реализации «пессимистического» варианта выполнения проекта, тогда  $1-p$  означает вероятность реализации «оптимистического» варианта (критерий Гурвица).

После построения сетевой модели производится расчет всех необходимых временных характеристик. Подробно алгоритмы расчетов приведены в разделе 1.4, там же приведены алгоритмы формирования планов ранних и поздних сроков, планов минимальной продолжительности.

## Описание циклической альтернативной сетевой модели.



#### 2.5.4 Формирование комплексного укрупненного плана проекта

Данный план разрабатывается командой проекта на основе детализированной модели проекта. При этом рассчитываются следующие показатели:

$T_i^p, T_i^n$  – ранние и поздние сроки свершения событий  $i$  в укрупненной сетевой модели;

$a_{ij}, b_{ij}$  – минимальные и максимальные оценки продолжительности работ укрупненного графика;

$r_{ij}$  – затраты на производство работ укрупненного графика.

Методы и алгоритмы агрегирования работ подробно описаны в [18]. Здесь мы приведем процедуру формирования дополнительных характеристик работ укрупненной модели, которые необходимы для математических моделей управления другими заинтересованными сторонами.

Для каждой укрупненной работы вычисляем  $\mathcal{EOK}_{ij}$  – оценки предельно допустимой степени изменения конфигурации работ. Под изменением конфигурации проекта будем понимать нарушение сроков выполнения работ, исключение работ из реализации и их замену. Для каждой работы по десятибалльной системе экспертно оценивается степень изменения конфигурации:

$\alpha_{ij}(t)$  – нарушение сроков выполнения работы на  $t$  дней;

$\beta_{ij}$  – исключение работы из реализации;

$\gamma_{ij}$  – замена работы или изменение ее характеристик,

где значения  $\alpha, \gamma, \beta$ , близкие к 0, показывают малозначимые изменения, близкие к 5 – среднезначимые, близкие к 10 – недопустимые изменения. Остальные значения используются для промежуточных состояний.

Затем определяем степень изменения конфигурации проекта как интегрированный показатель (ИПК), вычисляемый с помощью некоторой функции (заданной экспертно) ФОК по показателям качества выполнения отдельных работ укрупненного плана  $PK_{ij}$ , задаваемым также экспертно.

Статистический анализ большого числа проектов, проведенный авторами, показывает, что эти функции возрастающие, вогнутые, т.е. положительные первые и вторые производные (возрастают значения, как самих функций, так и темпов ее роста). При небольших значениях аргумента (малых изменениях конфигурации работ) функции ФОК могут рассматриваться как степенные функции с показателем степени  $a > 1$ . Кстати, данный показатель  $a$  является эластичностью, т.е. показывает, на сколько процентов возрастет степень изменения конфигурации проекта при изменении качества выполнения отдельных работ на 1%. Сформированная здесь функция оценки качества проекта является исходной информацией для моделей управления Заказчика.

Все описанные выше расчеты производим для каждого возможного варианта выполнения проекта. Формирование вариантов может проводиться различными способами исходя из масштаба и специфики проекта. Далее мы используем один из таких способов (п.3.5.5), другие методы будут приведены при дальнейшем развитии моделей, изложенных в данной книге.

### **2.5.5 Отбор вариантов реализации проекта методом главных компонент**

Формирование вариантов проекта связано с анализом большого количества взаимосвязанных факторов, влияющих на качество проекта, его рискованность и пр. Уменьшение их количества, выделение наиболее «влиятельных» является весьма актуальной задачей. Средством ее решения может служить метод главных компонент, который применяется для такой группировки исходных признаков, чтобы члены группы обладали корреляцией между собой, но группа в целом была бы независима от других групп.

Суть метода заключается в следующем.

Пусть состояние проекта описывается набором факторов  $x_{ki}^0$ , где  $i$  – номер фактора проекта ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ),  $k$  – номер варианта проекта ( $k =$

1, 2, 3, ..., N),  $m$  – количество факторов,  $N$  – количество вариантов. Значения каждого фактора для различных вариантов образуют вектор  $x_i^0 = \{x_{1i}^0, x_{2i}^0, \dots, x_{Ni}^0\}^T$ .

Пространство факторов проекта можно представить в виде матрицы исходных факторов  $x^0$ , где каждый столбец матрицы содержит значения одного фактора для различных вариантов проекта, а каждая строка включает значения всех факторов и описывает отдельный вариант. Таким образом, множество вариантов проекта будет описываться в виде

$$X^0 = [x_1^0 \quad x_2^0 \quad \dots \quad x_N^0]. \quad (2.5.1)$$

Среднеарифметические значения факторов используются в качестве центра распределения множества вариантов. Отцентрированное множество вариантов будем обозначать матрицей  $x$ , каждый элемент которой определяется как:

$$x_{ki} = x_{ki}^0 - \bar{x}_i, \quad (2.5.2)$$

где  $\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ki}^0$ .

Главные компоненты представляют такую группировку исходных факторов, в которой члены группы (исходные факторы) связаны между собой, но группа (главная компонента) в целом была бы независима от других групп (главных компонент).

Для расчета весовых коэффициентов главных компонент решается задача определения собственных значений матрицы

$$(A - \lambda I)v = 0, \quad (2.5.3)$$

где  $A$  – ковариационная матрица,  $I$  – единичная матрица,  $v$  – собственный вектор уравнения (2.5.3),  $\lambda$  – собственное значение. Собственные векторы уравнения (2.5.3) масштабируются так, что  $v_i^T v_i = 1$  и обладают свойством ортогональности

$$V^T A V = \Lambda \quad \text{и} \quad V^T V = I, \quad (2.5.4)$$

где  $\Lambda$  – диагональная матрица, диагональные коэффициенты которой равны собственным значениям уравнения (2.5.3).

Каждый собственный вектор имеет ту же размерность, что и вектор варианта проекта, что позволяет называть его собственным вариантом. Так как собственный вектор определяется с точностью до множителя, компоненты собственного варианта показывают не столько величину исходных факторов, сколько их взаимосвязь друг с другом. В дальнейшем компоненты собственного варианта будем называть характеристиками собственного варианта.

Таким образом, весь проект в любой момент времени может быть описан взвешенной комбинацией собственных вариантов. При этом проект описывается не набором исходных факторов, а набором главных компонент и каждая главная компонента уже отражает не отдельный исходный фактор, а группу исходных факторов (собственный вариант объекта).

Так как собственные векторы вычисляются по ковариационной матрице, собственные значения показывают изменчивость собственного варианта в проекте и численно равны дисперсии главных компонент.

Матрица собственных вариантов  $v_0$  формируется из собственных векторов уравнения (2.5.3) и позволяет сформировать новые факторы (главные компоненты) в виде комбинации исходных факторов  $z_{ki} = \sum_{h=1}^m v_{hi} x_{kh}$ , где  $z_{ki}$  – значение  $i$ -го нового фактора для  $k$ -го варианта,  $v_{hi}$  – элемент, соответствующий  $h$ -му исходному фактору при преобразовании его к  $i$ -му новому фактору. Значение  $i$ -й главной компоненты для различных вариантов проекта объединяются в вектор  $z_i$ , из которых образуется матрица  $Z$ , которая определяется как

$$Z = X V . \quad (2.5.5)$$

Анализ собственных вариантов проекта строится на проверке того, удовлетворяет ли собственный вариант требованиям управления проекта в

целом. Собственные варианты, которые не удовлетворяют этим требованиям, отбрасываются, оставшиеся используются в качестве исходной информации для моделей управления других заинтересованных сторон.

Общая изменчивость процесса изменения проекта определяется суммой дисперсий всех исходных факторов, описывающих его поведение

$$\sigma = \sum_i^n \sigma_i, \quad (2.5.6)$$

где  $\sigma_i$  – дисперсия  $i$ -го фактора.

Вклад каждой главной компоненты в общую изменчивость проекта можно оценить через его дисперсию. Сумма всех собственных значений главных компонент равна сумме дисперсий исходных факторов. Однако дисперсия главных компонент может служить приближенной оценкой, так как существует большая разница в изменчивости исходных факторов, и исходные факторы с наибольшей изменчивостью будут доминировать в первых главных компонентах. Данный метод позволяет значительно уменьшить объем информации, формируемой при управлении предметной областью и предназначенной для передачи другим заинтересованным сторонам.

### **2.5.6 Математические модели и алгоритмы решения задач управления временем**

Функция управления временем тесно связана с функцией управления предметной областью и включает в себя определение продолжительности, сроков начала и завершения проекта, его частей, важнейших (контрольных) событий и каждой из выполняемых работ; минимизацию (оптимизацию) временных характеристик; разумное использование резервов времени; контроль за развитием проекта по его временным характеристикам; прогнозирование сроков завершения работ, этапов и проекта в целом.

## Математическая модель формирования вариантов реализации проекта по принципу «Время – стоимость».

Пусть  $a_{ij}$  – минимально возможное время выполнения работы  $(i, j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^a$ , и  $b_{ij}$  – максимально возможное время выполнения работы  $(i, j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^b$ . Величины  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  определяются исходя из максимальной и минимальной величин ведущего ненакапливаемого ресурса, которые потенциально могут быть задействованы на работе  $(i, j)$ . Принимая во внимание возможные сбои в работе оборудования, колебания производительности труда исполнителей и другие непредвиденные затраты, полагаем вышеприведенные параметры случайными величинами с заданными законами распределения. Также предполагается, что ускорение работы связано с дополнительными затратами: привлечение дополнительной рабочей силы и оборудования, сверхурочные доплаты и т. п.

Задав некоторый уровень значимости  $p$ , выполняем имитационное моделирование вышеописанных параметров в соответствии с методом, описанным в п.1.2.3, получая их  $p$ -квантильные оценки  $W^p(a_{ij})$ ,  $W^p(b_{ij})$ ,  $W^p(c_{ij}^a)$ ,  $W^p(c_{ij}^b)$ .  $p$ -квантильная оценка  $W^p(x)$  какого-либо показателя  $x$  дает нам его значение, подтверждающееся на практике с вероятностью не меньшей  $p$ .

Полагаем, что зависимость затрат от времени выполнения линейная, т. е.  $c_{ij} = z_{ij} - y_{ij}t_{ij}$ , откуда получаем следующее выражение для коэффициента пропорциональности

$$y_{ij}^p = (W^p(c_{ij}^a) - W^p(c_{ij}^b)) / (W^p(b_{ij}) - W^p(a_{ij})) = \Delta W^p(c) / \Delta t. \quad (2.5.7)$$

Таким образом,  $y_{ij}^p$  с вероятностью  $p$  характеризует затраты, связанные с сокращением продолжительности работы на единицу времени. Если на всех работах принять  $t_{ij} = W^p(a_{ij})$ , то будет получено наименьшее критическое время  $W^p(T_{\min}^{\text{кр}})$ . Этому времени соответствуют наибольшие затраты, равные  $W^p(C_a) = \sum_{\forall(i,j)} W^p(c_{ij}^a)$ .

Если на всех работах принять  $t_{ij} = W^p(b_{ij})$ , то получим сетевой график, которому соответствуют наименьшие затраты, равные  $W^p(C_b) = \sum_{\forall(i,j)} W^p(c_{ij}^b)$ , и наибольшее критическое время  $W^p(T_{\max}^{\text{кр}})$ .

При наименьшем критическом времени  $W^p(T_{\min}^{\text{кр}})$  можно уменьшить затраты, если «удлиннить» не критические работы за счет полного использования их  $p$ -квантильных резервов времени. Ведь увеличение  $t_{ij}$  на единицу снижает ее стоимость на  $y_{ij}^p$ . Обозначим полученные затраты через  $C^p_d$ , тогда можем утверждать, что для  $T^p = W^p(T_{\min}^{\text{кр}})$  минимальная стоимость равна  $C^p_d$ , и, в общем случае, для любого  $T^p \in [W^p(T_{\min}^{\text{кр}}), W^p(T_{\max}^{\text{кр}})]$  получаем план с минимальными затратами  $C(T^p)$ . Имея график оптимальной зависимости стоимости проекта от продолжительности его выполнения, с одной стороны, определяем минимальную стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой – находим минимальную продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. С помощью функции  $C(T^p)$  можно также оценить дополнительные затраты, связанные с сокращением сроков завершения проекта.

Разбиваем интервал  $[W^p(T_{\min}^{\text{кр}}), W^p(T_{\max}^{\text{кр}})]$  на  $N$  частей  $T_1^p, \dots, T_N^p$ . Предполагая, что затраты линейно зависят от продолжительности работ, формирование  $k$ -го варианта проекта сводится к решению задачи линейного программирования следующего вида:

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$ , чтобы:

$$W^p(T_j) - W^p(T_i) - t_{ij} \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.5.8)$$

$$W^p(a_{ij}) \leq t_{ij} \leq W^p(b_{ij}), \quad (2.5.9)$$

$$W^p(T_n^0) \leq T_k^p, \quad (2.5.10)$$

$$C(T_k^p) = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij} = \sum_{\forall(i,j)} (z_{ij} - y_{ij} t_{ij}) \rightarrow \min, \quad (2.5.11)$$

что эквивалентно

$$\sum_{\forall(i,j)} y_{ij} t_{ij} \rightarrow \max. \quad (2.5.12)$$

Таким образом, получаем  $k$ -й вариант плана минимальной стоимости, соответствующий времени выполнения проекта  $T_k^p$  ( $k = 1, \dots, N$ ) и суммарным объемам финансирования  $C(T_k^p)$ .

При определении инвестиционной политики этот алгоритм позволяет с заданным уровнем значимости  $p$  определять оптимальные варианты финансирования проекта в условиях риска и неопределенности.

При этом мы получаем все интересующие нас для дальнейших расчетов временные параметры проекта:  $p$ -квантильные оценки ранних и поздних сроков начала и окончания работ ( $W_k^p(T_i^{\text{ран}}), W_k^p(T_i^{\text{поз}})$ ) и пр.

### **2.5.7 Математическая модель управления стоимостью и финансами проекта**

Функции управления стоимостью включают в себя предварительную оценку расходов, связанных с проектом, определение сметы расходов, источников финансирования и бюджета проекта, планирование денежных потоков, прогнозирование доходов и прибылей. Главной задачей управления стоимостью является соблюдение бюджетных рамок проекта и получение предусмотренной прибыли от его осуществления.

Исходной информацией для задач управления стоимостью и финансами проекта являются варианты планов минимальной стоимости, формируемые в 2.5.6.

При этом используется стохастическая и альтернативная природа сетевой модели проекта, описанная в 3.4-3.5.

А. В каждом варианте проекта со сроком его выполнения  $T_k^p$  и стоимостью  $C(T_k^p)$  рассчитываем требуемый объем инвестиций  $I_k^t$  в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ , используя математические ожидания сроков начала всех работ. В зависимости от масштаба проекта периодом может быть месяц, квартал, год. Таким образом, будут получены:

$I_k^t = \sum_{\forall (i,j) \in t} c_{ij}$  – требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$  (суммирование ведется по всем работам, выполняемым в период  $t$ ).

В результате получаем множество альтернативных вариантов выполнения проекта  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$ , где формируются вектор  $\mathbf{K}$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектор  $\mathbf{T}$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов).

Рассчитав математические ожидания сроков окончания всех работ, включая пусковые комплексы, формируем  $V_k^t$  – прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ . При этом суммируется вся прибыль от введенных в действие пусковых комплексов и приносящих прибыль в период  $t$ .

Б. Проведем расчеты сетевой модели проекта, задав ранние и поздние сроки начала всех работ в пределах от  $W_k^p(T_i^{\text{ран}})$  до  $W_k^p(T_i^{\text{поз}})$ , тогда объемы инвестиций в проекты  $k$  ( $k=1, \dots, N$ ) в период  $t$  будут варьироваться в пределах от  $I_{k \text{ min}}^t$  до  $I_{k \text{ max}}^t$ . При этом чистый дисконтированный доход варианта проекта  $k$  на начало периода  $t$  при минимальном и максимальном объеме инвестиций будет составлять соответственно  $NPV_{k \text{ min}}^t$  и  $NPV_{k \text{ max}}^t$ , а прогнозируемые оценки риска составят  $r_{k \text{ min}}^t$  и  $r_{k \text{ max}}^t$ .

Получаем переменное (нечеткое) множество альтернатив  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$ , используя при этом стохастическую и альтернативную природу сетевой модели проекта. Это множество альтернатив отличается от предыдущего (см. 2.5.6) заданием диапазонов значений формируемых показателей (объемы инвестиций, чистый дисконтированный доход, прогнозируемые оценки риска).

Затем формируем  $F(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  – функцию зависимости степени ликвидности проекта от объемов финансирования проекта и сроков его реализации. Эта функция, определяемая экспертно на дискретном наборе значений определяющих ее факторов  $P(\mathbf{K}, \mathbf{T})$ , вместе с набором вариантов реализации проекта являются исходной информацией для математических моделей управления инвестора (см. 2.2).

### 2.5.8 Математическая модель управления качеством в проекте

Управление качеством реализуется через установление требований и стандартов к качеству результатов проекта, обеспечение выполнения этих требований в процессе реализации проекта через систему контроля и поддержки. Причем требования к проекту могут быть многоаспектны и, зачастую, противоречивы. Например, обеспечение экологических требований может вести к увеличению затрат, что противоречит требованиям инвестора. В данной работе мы рассмотрим модель управления качеством проекта, основанную на назначении исполнителей.

Качество проекта в целом зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- качество работы исполнителей;
- затраты исполнителей;
- сроки выполнения работ.

Причем, основополагающим фактором являются затраты, а сроки выполнения работ и качество работы исполнителей зависят от произведенных затрат. Конечно, большое влияние на качество проекта оказывают и другие факторы (качество строительных материалов, оборудования и пр.), но мы в данном пункте рассматриваем факторы, которыми может управлять руководитель проекта и его команда.

Пусть нам известны характеристики (статистические или иные) выбранных факторов, тогда мы можем сформулировать двухэтапную задачу управления качеством. На первом этапе отбираем исполнителей, которые обеспечат максимальное качество. Эта задача решается на стадии формирования состава исполнителей. Затем решаем задачу обеспечения максимального качества проекта при фиксированном составе исполнителей. Анализ показывает, что при фиксированном составе исполнителей увеличение финансирования приводит к повышению качества. Понятно, что возможности такого управления ограничены, так как, как правило, ограничено финансирование.

Система контроля и поддержки входит в состав оперативного управления качеством проекта и в данной статье не рассматривается.

А. Дано  $t_{ij}^s(c_{ij})$  – продолжительность работы (i,j) при выполнении ее исполнителем s с затратами  $c_{ij}$ ;

$q_{ij}^s(c_{ij})$  – качество работы (i,j) при выполнении ее исполнителем s с затратами  $c_{ij}$ ;

p-квантильные оценки  $W^p(a_{ij})$ ,  $W^p(b_{ij})$ ,  $W^p(c^a_{ij})$ ,  $W^p(c^b_{ij})$ , сформированные в 3.4.5.

Математическая модель отбора исполнителей, обеспечивающих максимальное качество проекта, выглядит следующим образом:

Найти:

$$x_{ij}^s = \begin{cases} 1, & \text{если работу } (i, j) \text{ выполняет исполнитель } s, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.5.13)$$

При ограничениях

$$W^p(T_j) - W^p(T_i) - t_{ij}^s(c_{ij}) \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.5.14)$$

$$W^p(a_{ij}) \leq t_{ij}^s(c_{ij}) \leq W^p(b_{ij}), \quad (2.5.15)$$

$$W^p(c^b_{ij}) \leq c_{ij} \leq W^p(c^a_{ij}). \quad (2.5.16)$$

Целевая функция

$$\sum_{\forall s, (i, j)} x_{ij}^s q_{ij}^s(c_{ij}) \rightarrow \max. \quad (2.5.17)$$

Данная модель представляет собой модифицированную задачу назначений и может быть реализована стандартным симплекс-методом.

Б. На втором этапе к информации об уже отобранных исполнителях добавляем ограничения по возможным объемам финансирования  $\tilde{Q}_t$  во временные периоды  $t$ , размерность которых (месяц, квартал, год) зависит от масштаба проекта. Величина  $\tilde{Q}_t$  определяется возможностями заказчика и инвестора.

Модель выглядит следующим образом:

Найти  $c_{ij}^t$  и соответствующие  $t_{ij}^s(c_{ij})$  для всех работ проекта и отобранных исполнителей при ограничениях

$$\sum_{\forall(i,j) \in t} c_{ij}^t \leq \bar{Q}_t; \quad (2.5.18)$$

$$c_{ij} = \sum_{\forall t} c_{ij}^t; \quad (2.5.19)$$

$$W^p(T_j) - W^p(T_i) - t_{ij}^s(c_{ij}) \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.5.20)$$

$$W^p(a_{ij}) \leq t_{ij}^s(c_{ij}) \leq W^p(b_{ij}), \quad (2.5.21)$$

$$W^p(c_{ij}^b) \leq c_{ij} \leq W^p(c_{ij}^a). \quad (2.5.22)$$

Целевая функция

$$\sum_{\forall s, (i,j)} q_{ij}^s(c_{ij}) \rightarrow \max. \quad (2.5.23)$$

Решая задачи в соответствии с моделями А-Б для каждого варианта проекта, сформированного в 3.5.3, мы формируем  $F(\mathbf{K}, \mathbf{T})$  – функцию зависимости качества проекта от вектора  $\mathbf{K}$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $\mathbf{T}$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция вместе с набором вариантов реализации проекта являются исходной информацией для математических моделей управления заказчика (см. п.2.3).

### 2.5.9 Математическая модель управления рисками в проекте

Проблема управления рисками включает в себя две стороны – количественная оценка рисков и разработка мер по снижению негативных рисков. Риски могут быть как внутренние, так и внешние по отношению к организации, в которой работает руководитель проекта. Внутренние риски возникают непосредственно в связи с технологией работ или с проектными решениями, строительством или эксплуатацией объекта. Также они возникают в связи с неудачами в организации проекта или с неспособностью ресурсов обеспечить ожидаемую результативность.

Внешние риски: деятельность рынков сырья, комплектующих, оборудования; финансовая политика государства; социальные воздействия; окружающая среда; форс-мажорные обстоятельства.

Количественная оценка рисков позволяет определять:

- Вероятность достижения конечной цели проекта.
- Степень воздействия риска на проект и объемы непредвиденных затрат и материалов, которые могут понадобиться.
- Риски, требующие скорейшего реагирования и большего внимания, а также влияние их последствий на проект.
- Фактические затраты, предполагаемые сроки окончания проекта и его основных этапов.

Процесс идентификации рисков и определение их количественных оценок процедура весьма сложная и трудоемкая, методы формирования оценок разнообразны и широко представлены в литературе (например, [31,34,253]). Мы предлагаем производить оценку рисков на основе статистических результатов имитационного моделирования. Для практического осуществления имитационного моделирования можно рекомендовать пакет "RiskMaster", разработанный в Гарвардском университете. Генерирование случайных чисел этот пакет осуществляет на основе использования датчика псевдослучайных чисел, которые рассчитываются по определенному алгоритму. Особенностью пакета является то, что он умеет генерировать коррелированные случайные числа.

Очень важным моментом при использовании данного метода является определение корреляции в системе случайных переменных, включенных в модель. Наличие в модели анализа коррелированных переменных может привести к серьёзным искажениям результатов анализа риска, если эта корреляция не учитывается. Фактически наличие корреляции ограничивает случайный выбор отдельных значений для коррелированных переменных. Две коррелированные переменные моделируются так, что при случайном выборе одной из них другая выбирается не свободно, а в диапазоне значений, который управляется смоделированным значением первой переменной. Для

установления направления таких связей и предполагаемой силы корреляции необходимо применить методы регрессионного анализа.

Итак, результатом имитационного моделирования будут являться предполагаемые сроки окончания проекта и его основных этапов ( $M(T_i)$  – математическое ожидание и  $\sigma(T_i)$  – среднеквадратическое отклонение), ожидаемые продолжительности работ ( $M(t_{ij})$  и  $\sigma(t_{ij})$ ) и прогнозируемые затраты ( $M(c_{ij})$  и  $\sigma(c_{ij})$ ).

В связи с возможными изменениями сроков окончания отдельных пусковых комплексов и всего проекта, а также изменениями прогнозируемых затрат производим пересчет  $V_k^t$  – прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ . В результате получаем прогнозируемую оценку риска недополучения прибыли  $r_k^t$  по варианту проекта  $k$  в период  $t$ .

На основе полученных выше данных решаем многокритериальную задачу расчета временных и стоимостных показателей проекта с минимизацией отклонений срока выполнения проекта и общих затрат на него от директивно заданных ( $T_n$  и  $C$ ).

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$  и их стоимости  $c_{ij}$ , чтобы:

$$M(T_j) + \sigma(T_j) - M(T_i) - \sigma(T_i) - t_{ij} \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.5.24)$$

$$M(t_{ij}) - \sigma(t_{ij}) \leq t_{ij} \leq M(t_{ij}) + \sigma(t_{ij}), \quad (2.5.25)$$

$$M(c_{ij}) - \sigma(c_{ij}) \leq c_{ij} \leq M(c_{ij}) + \sigma(c_{ij}), \quad (2.5.26)$$

$$\sum_{\forall(i,j)} c_{ij} - C \rightarrow \min, \quad (2.5.27)$$

$$M(T_n) - T_n \rightarrow \min. \quad (2.5.28)$$

Целевые функции (2.5.27) и (2.5.28) взаимно противоречивы, поэтому в зависимости от специфики проекта следует выбирать одну из них, переводя другую в ограничение (например, минимизировать отклонение по стоимости при задании допустимого ограничения на отклонение от директивного срока выполнения проекта). Таким образом, представленная модель предназначена для снижения негативных рисков в части отклонения от сроков реализации проекта и затрат на его выполнение.

### 2.5.10 Математическая модель управления ресурсами

Задачи распределения ограниченных ресурсов на сетевой модели можно рассматривать для работ с постоянной или переменной интенсивностью выполнения.

Исходной информацией является детализированный сетевой график производства работ. Поскольку при описании проекта с помощью ЦАСМ (п.3.1.1) использовались обобщенные связи, позволяющие выделять в качестве событий не только начала и окончания, но и промежуточные состояния работ, то данная постановка позволяет реализовать две дополнительные возможности:

- выбор интенсивности выполнения всей работы ЦАСМ в заданных пределах;
- изменение интенсивности выполнения отдельных частей работы.

Пусть  $r_{ij}^k$  – интенсивность потребления  $k$ -ого ненакапливаемого ресурса на работе  $(i, j)$ ,  $w_{ij}^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} r_{ij}^k W_p(\psi_{ij})$  – потребность в  $k$ -ом ненакапливаемом ресурсе на работе  $(i, j)$ .  $k \in K$ . Обозначим через  $\varepsilon^k$  множество работ, потребляющих ресурс  $k$ , а через  $\varepsilon_t^k$  множество работ, потребляющих ресурс  $k$  в момент времени  $t$  ( $\varepsilon^k = \bigcup_{\forall t} \varepsilon_t^k$ ), тогда общая потребность на всю программу в  $k$ -ом ресурсе равна  $V^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} w_{ij}^k$ . Пусть наличие ресурсов в каждый момент времени задано функцией  $A^k(t)$ .

Обозначая потребность в ресурсе  $k$  в момент времени  $t$  как  $F^k(t) = \sum_{(i,j) \in \varepsilon_t^k} r_{ij}^k$ , получим следующую математическую модель задачи распределения ограниченных ресурсов на ЦАСМ с переменными интенсивностями.

Найти такие сроки начала и окончания работ  $(i, j)$   $T_i^* \in [W_p(T_i^p), W_p(T_i^n)]$  и  $T_j^* \in [W_p(T_j^p), W_p(T_j^n)]$ , чтобы:

$$T_j^* - T_i^* \geq W_p(\psi_{ij}) \text{ для всех дуг } (i, j); \quad (2.5.29)$$

$$t_{ij}^{\min} \leq T_j^* - T_i^* \leq t_{ij}^{\max} \text{ для всех работ или частей работ } (i, j); \quad (2.5.30)$$

$$A^k(t) \geq F^k(t) \text{ для всех } t \text{ и } k; \quad (2.5.31)$$

$$\sum_{t=1}^{\tau} A^{\gamma}(t) \geq \sum_{t=1}^{\tau} F^{\gamma}(t) \text{ для всех } \tau \text{ и } \gamma; \quad (2.5.32)$$

$$F = \sum_{\forall (i,j)} \{T_j^* - T_i^* - t_{ij}^{\min}\} \rightarrow \min. \quad (2.5.33)$$

Соотношение (2.5.30) обеспечивает нахождение переменной продолжительности работы или ее частей в соответствующих границах, определяемых по формуле:

$$t_{ij}^{\min(\max)} = w_{ij}^k / r_{ij}^{k, \max(\min)},$$

где  $r_{ij}^{k, \min}$  и  $r_{ij}^{k, \max}$  – соответственно минимальная и максимальная интенсивности потребления  $k$ -ого ненакапливаемого ведущего ресурса на работе  $(i, j)$ ,

$w_{ij}^k$  – трудоемкость выполнения работы  $(i, j)$  по ведущему ресурсу  $k$ . В качестве ведущего ресурса выступают только нескладируемые ресурсы (машины, станки, оборудование, исполнители и др.), выделенное количество которых определяет продолжительность работы.

Ограничение (2.5.31) учитывает ограниченность ненакапливаемых ресурсов, т. е. в каждый момент времени потребность в ресурсе  $k$  не должна превышать его наличия.

Ограничение (2.5.32) задает условие: суммарная потребность в накапливаемом ресурсе  $\gamma$  от начала планового периода к любому моменту  $\tau$  не должна превышать суммарного объема поставок этого же вида ресурса за соответствующий период.

Целевая функция (2.5.33) обеспечивает построение плана с максимально возможными интенсивностями выполнения работ.

Алгоритм решения поставленной задачи достаточно подробно рассмотрен в п.3.1.

В результате получаем детализированный сетевой график выполнения проекта, сбалансированный по ресурсам типа мощности, после чего производим расчеты потребностей всех остальных ресурсов, что является исходной информацией для Поставщика (см.п.2.4).

Предложенные примеры постановки задач для руководителя и его команды управления проектом могут служить основой разработки объективно многовариантной системы УП. При этом приведенные выше математические

модели позволяют реализовать многие компетенции руководителя проекта и его команды в процессе выполнения проекта.

Выше представлены только основные модели управления со стороны руководителя и его команды управления проектом, при этом охвачены не все функциональные подсистемы. Дальнейшее продвижение проектного управления и повышение его результативности требует более полного описания математических моделей команды проекта по каждой функции управления.

## **2.6 Математические модели проектного управления для регулирующих и надзорных органов**

### **2.6.1. Основные понятия**

В настоящем параграфе рассматривается сложный многоцелевой проект, реализация которого может осуществляться  $N$  вариантами. Каждый вариант имеет свои финансовые показатели, экологические и социальные характеристики. Предлагаемые математические модели предназначены для выбора наиболее эффективных вариантов проекта с точки зрения одной из заинтересованных сторон – Регулирующих органов. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности Регулирующих органов, обеспечивает реализацию его соответствующих компетенций и достижение поставленных целей при осуществлении проекта.

Регулирующие органы (Органы власти) – сторона, удовлетворяющая свои интересы путем получения налогов от участников проекта, выдвигающая и поддерживающая экологические, социальные и другие общественные и государственные требования, связанные с реализацией проекта. Данные требования обуславливаются рядом возможных воздействий проекта на внешнюю среду и служат для их нейтрализации или минимизации негативных последствий.

Можно привести несколько примеров различных видов воздействий:

- экономические: воздействие на макро- и микро-уровне, определяемое в терминах экономического роста, конкурентоспособности, изменений в издержках различных групп экономических агентов, воздействие на технологическое развитие и инновационный потенциал, изменения в инвестиционной активности, изменение рыночных долей, воздействие на цены и др. Конкретными примерами экономического воздействия являются:
  - ухудшение условий ловли рыбы на реке в результате работы расположенного выше по течению металлургического завода;

- изменение рыночной стоимости жилых домов или квартир в них в результате строительства в непосредственной близости от них крупного промышленного предприятия, торгового центра или станции метрополитена;
- уменьшение оборотных средств отправителей и/или получателей грузов в результате реализации транспортными организациями проектов, повышающих среднюю скорость движения транспортных средств;
- увеличение доходов сельскохозяйственных предприятий при осуществлении строительства новых автомобильных дорог в сельской местности (такое увеличение достигается, например, за счет снижения потерь завозимых удобрений и вывозимой сельскохозяйственной продукции, а также за счет более быстрого вывоза на элеваторы собранного урожая).
- социальные: воздействие на человеческий капитал, права человека, гендерное равенство, уровень и качество занятости, социальное неравенство и бедность, здоровье, безопасность (включая уровень преступности), культуру, перераспределительные эффекты между различными социальными группами и др.;
- экологические: воздействие на климат, уровень загрязнения воздуха, воды, почвы, биоразнообразие, общественное здоровье и т.п.

Конкретно регулирующими органами могут быть контрольно-надзорные органы. На региональном уровне это могут быть администрации Губернаторов и Министерства (департаменты) экономического развития или их аналоги. Во многих регионах (например, Калужская область, Санкт-Петербург, Пермский край) для этих целей создаются специальные центры (в форме региональных Агентств или Корпораций развития) для комплексной поддержки инвестиционных проектов.

Они, в том числе, взаимодействуют с органами, выполняющими контрольно-надзорные функции, органами, отвечающими за предоставление инвесторам различных льгот и инструментов поддержки, для того чтобы обеспечить соблюдение интересов региона при реализации инвестиционных проектов.

Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах Регулирующих органов приведен в таблице 2 (строка 5).

Взаимосвязь математических моделей управления проектами Регулирующих органов с другими заинтересованными сторонами представлена на рис. 16.



Рис. 16. Схема взаимосвязей математических моделей управления Регулирующих органов с другими заинтересованными сторонами проекта.

## 2.6.2 Государственное регулирование проектов

### Цели государственного регулирования

В качестве значимых целей государственного регулирования следует рассматривать:

- благосостояние общества, экономическую и социальную стабильность;
- преобразование структуры народного хозяйства и выход на «новые технологические рубежи»;
- преодоление экономических, социальных и региональных диспропорций, задающих новые траектории развития;
- снижение имущественного неравенства до границ различия в эффективности производства отраслей, территорий, профессий;
- создание благоприятной атмосферы для инвестиционного процесса как условия экономического роста;

- достижение естественного уровня безработицы;
- повышение роли среднего и малого бизнеса в экономическом развитии;
- формирование человеческого потенциала;
- решение проблем демографического характера через удовлетворение потребностей в жилье, дошкольных учреждениях, квалифицированной медицинской помощи;
- создание условий экономически безопасного проживания населения.

Для достижения указанных целей органы власти зачастую в ряде проектов одновременно выступают в роли заказчика или инвестора, или поставщика, а также контроллера, решая при этом соответствующие задачи, математические модели которых были рассмотрены в пп.2.2–2.4. При этом функции получения налогов от участников проекта, выдвижение и поддержка экологических, социальных и других общественных и государственных требований, связанных с реализацией проекта, всегда остаются за регулируемыми органами. Многофункциональные роли органы власти выполняют, прежде всего, в национальных и социально значимых проектах.

Мы не будем в настоящем, и так уже довольно объемном разделе, приводить весь веер возможных сочетаний вариантов ролей и функций регулирующих органов, но планируем в дальнейших исследованиях на конкретных примерах реализованных масштабных проектов рассмотреть подобные варианты до уровня комплексов задач.

Регулирующие органы весьма многообразны, их состав и функции подробно описаны в ряде публикаций, например [125, 142].

Реализация целей государственного регулирования осуществляется посредством выдвижения требований, связанных с реализацией проекта, с последующим контролем их соблюдения [167]. В соответствии с возможными воздействиями проекта на окружающую среду, описанными выше, выделим и три комплекса задач, которые необходимо решать Регулирующим органам:

- максимизация сбора налогов;

- оценка экологических рисков и их минимизация;
- повышение качества жизни людей.

Следует отметить огромную важность деятельности регулирующих органов в части экологического менеджмента, наряду с анализом и выдвижением требований к очевидным воздействиям проекта (нанесение вреда окружающей среде путем выбросов ядовитых веществ в атмосферу, сбросы жидких отходов в водную среду, размещение твердых отходов производства), зачастую слабая проработка экологической составляющей ведет к значительному превышению стоимости проекта и времени его создания.

Так, например, группа корейских специалистов детально проанализировала ход мегапроекта КТХ («Korea Train eXpress») сооружения скоростной железной дороги Сеул – Тегу – Пусан (Seoul – Daegu – Busan) [278]. Общая протяженность дороги составляет 412 км. После того, как стоимость проекта возросла с 5,8 до 18,4 млрд. дол., а время создания дороги с 7 до 12,5 лет, правительство под давлением общественности разделило дорогу на два пусковых участка, первый из которых был пущен в 2004г. Второй участок завершен в 2010г. Дорога состоит из 26 секций, из которых критичными оказались всего три секции. Они-то и определили перерасход средств и времени: секция 2–1 длиной 15,5 км, секция 5–1 длиной 9,4 км и секция 8–2 длиной 16,9 км. Все остальные секции были завершены даже раньше запланированного времени.

Наибольший вклад в нарушение сроков внес участок 2–1, составляющий менее 4% общей протяженности линии (задержка на 4 года из общих 5 лет задержки проекта), в связи с неспособностью собственников стратегически планировать сложный проект, частыми изменениями маршрута из-за неудовлетворительного исследования грунтов, а также ряда задержек в получении разрешений и экспертиз на ранних стадиях проектирования. К примеру, проектирование задержалось на два года в связи с обнаружением

заброшенной шахты вблизи тоннеля, что привело к изменению маршрута и перепроектированию линии.

Классическим примером превышения сроков и стоимости проектов считается здание Оперы в Сиднее, где издержки на строительство (свыше 100 млн. дол.) превысили смету (7 млн. дол.) в 16 раз. Построить здание планировалось за 5 лет, реально срок составил более 16 лет. И здесь основной (но далеко не единственной) причиной срыва являлось неудовлетворительное решение экологических проблем на ранних стадиях проектирования.

Приведенные примеры затрагивают роль органа власти не только как регулятора, но и как Заказчика и Инвестора; о совмещении разных функций в лице одной заинтересованной стороны мы указывали выше.

Признавая очевидную важность и необходимость деятельности регулирующих органов, нельзя не обратить внимания на вопиющие недостатки их работы в России. Все они за счет проекта пытаются решить свои государственные или муниципальные проблемы. Как-то: благоустроить территорию, провести электричество, воду, канализацию, телефон, проложить или заасфальтировать дороги, переселить жильцов из ветхого жилья и т.д. и т.п. И это было бы очень хорошо, если бы только это. Огромное количество регулирующих организаций, выполняющих дублирующие и, зачастую, противоречивые проверки, потраченные на них время и деньги, ложатся тяжким бременем на бизнес.

В 2011 году в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей проведено 3 063 тыс. контрольно-надзорных мероприятий. По сравнению с 2010г. общее количество проверок, проведенных федеральными органами исполнительной власти, уменьшилось на 6,5%. В то же время количество контрольно-надзорных мероприятий на региональном уровне в 2011 г. увеличилось на 111%. При этом плановыми являлись лишь 37% проверок, а внеплановыми соответственно 63%.

Основания для проведения внеплановых проверок органов регионального контроля в 2011 году не подтвердились почти в половине случаев.

Следует отметить также увеличение количества трудовых ресурсов на проведение контрольно-надзорных мероприятий. Так, в 2011 году общая штатная численность сотрудников федеральных органов исполнительной власти по контролю (надзору), увеличилась по сравнению с 2010 годом на 5%, что составило 178 212 ед. Сотрудников региональных контрольных органов на 31% – 21 799 ед. Таким образом, всего на федеральном и региональном уровнях в мероприятия по контролю было вовлечено 181 295 сотрудников контрольных органов (по занятым штатным единицам, около 10% единиц оставалось вакантными).

Общее время проведения проверок составило 12 493 тыс. рабочих дней для федеральных органов исполнительной власти, 1 085 тыс. рабочих дней для региональных контрольных органов. Причем если на федеральном уровне время проведения проверок изменились незначительно, то на региональном увеличились в три раза по сравнению с 2010 годом. Одна проверка обходится бюджету в среднем в 30 тыс.руб. Таким образом, на контроль государство тратит в год около \$3 млрд.[63].

Суммарно тяжесть административной нагрузки на предпринимателей оценивается с помощью рейтинга DoingBusiness, который составляет Всемирный банк. Россия в нем занимает 112 место, рядом с Сальвадором, Коста-Рикой и Гайаной. На первом месте – Сингапур, в список 10 стран с наиболее благоприятными условиями регулирования предпринимательской деятельности вошли: САР Гонконг, Китай; Новая Зеландия; США; Дания; Норвегия; Великобритания; Республика Корея; Грузия и Австралия.

В связи с вышеизложенным наиболее злободневной проблемой в настоящее время является повышение эффективности деятельности регулирующих органов за счет оптимизации их структуры, четкого определения выполняемых ими задач и регламентации деятельности. Ниже приведенные математические

модели должны послужить необходимым кирпичиком в будущее стройное здание системы регулирования Российской экономики.

### **2.6.3 Математическая модель оценки экологических рисков и уровня социальной значимости проектов**

Оценка экологического риска должна характеризовать как вероятность наступления самого неблагоприятного события, например, аварии или выброса вредных загрязняющих веществ, так и вероятность негативных последствий этого события, например, заболеваний или гибели населения. Следует отметить, что величина ожидаемого числа заболеваний представляет собой относительную оценку вероятности указанных негативных последствий загрязнения окружающей среды для здоровья и жизни человека, зависящую от определенного уровня концентрации токсичных веществ, который меняется и со временем, и в пространстве. Первым шагом оценки экологического риска является его идентификация.

В качестве исходных данных для идентификации экологических рисков используются:

- 1) карта технологических процессов, используемое оборудование, материалы;
- 2) технологические регламенты и другие материалы, содержащие информацию о характеристиках технологического процесса, применяемом оборудовании, сырье и материалах;
- 3) материалы лабораторных исследований и испытаний, производимых в рамках осуществления производственного контроля соблюдения санитарных правил, экологического контроля и т.д.;
- 4) протоколы измерений показателей опасных и вредных производственных факторов, тяжести и напряженности трудового процесса;
- 5) данные санитарно-эпидемиологической оценки, проводимой органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора;

6) материалы проверок соблюдения требований промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды, в том числе материалы проверок, проводимых государственными надзорными органами;

7) материалы расследований аварий, инцидентов, несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

Оценку экологического риска предлагаем производить с помощью многомерных методов экспертных оценок. На первом этапе каждый эксперт  $j$  идентифицирует экологические риски каждого варианта проекта ( $i=1, \dots, N$ ) и по десятибалльной системе заполняет следующую таблицу 10:

Таблица 10

**Оценка экологического риска**

<i>Идентификация рисков Варианты проекта</i>	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	<i>Взвешенная сумма оценок</i>
вариант проекта 1	$a_{1j}^1$	$a_{1j}^2$	$a_{1j}^3$	$a_{1j}^4$	$a_{1j}^5$	$a_{1j}^6$	$a_{1j}^7$	$\tilde{A}_{1j} = \sum_{k=1}^7 \lambda_k a_{1j}^k$
вариант проекта 2	$a_{2j}^1$	$a_{2j}^2$	$a_{2j}^3$	$a_{2j}^4$	$a_{2j}^5$	$a_{2j}^6$	$a_{2j}^7$	$\tilde{A}_{2j} = \sum_{k=1}^7 \lambda_k a_{2j}^k$
...								
вариант проекта N	$a_{Nj}^1$	$a_{Nj}^2$	$a_{Nj}^3$	$a_{Nj}^4$	$a_{Nj}^5$	$a_{Nj}^6$	$a_{Nj}^7$	$\tilde{A}_{Nj} = \sum_{k=1}^7 \lambda_k a_{Nj}^k$

$a_{ij}^k$  – оценка  $j$ -м экспертом  $i$ -го варианта проекта по  $k$ -му ( $k=1, \dots, 7$ ) набору исходных данных, приведенных выше. Причем значение  $a_{ij}^k=1$  характеризует минимальный риск,  $a_{ij}^k=10$  максимальный.  $\tilde{A}_{ij}$  – взвешенная сумма оценок экологических рисков варианта проекта  $i$ , полученная экспертом  $j$ .  $\lambda_k$  – весовые коэффициенты, характеризующие степень важности приведенных выше типов исходных данных для идентификации экологических рисков. Проведем нормализацию полученных оценок:

$$A_{ij} = \frac{\tilde{A}_{ij} \cdot N}{\max_{i,j} \tilde{A}_{ij}}. \quad (2.6.1)$$

На втором этапе вычисляем степень согласованности результатов оценивания проектов каждой парой экспертов с помощью модифицированного коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Модификация заключается в том, что в качестве рангов проектов берем их нормализованные взвешенные суммы оценок экологических рисков, вычисленных по формуле (2.6.1). Коэффициент корреляции Спирмена  $R$  будем определять по формуле

$$R = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{N^3 - N}, \quad (2.6.2)$$

где  $N$  – число сравниваемых вариантов проекта,  $d_i = A_{ij_1} - A_{ij_2}$  – разность взвешенных сумм оценок варианта проекта  $i$  двух произвольных экспертов  $j_1$  и  $j_2$ .

Максимальным значением степени согласованности экспертов является +1 (достигается, когда ранги обоих экспертов совпадают), а минимальным значением является  $-1$  (соответствует случаю, когда мнения экспертов противоположны).

Таким образом вычисляем коэффициенты корреляции Спирмена для всех пар экспертов, которых в общем случае  $C_N^2$ .

На следующем этапе находим *коэффициент конкордации*, определяющий согласованность мнений группы экспертов.

Для этого в табл.11 заносим нормализованные взвешенные суммы оценок проектов, полученные  $m$  экспертами. В последнем столбце таблицы суммируются оценки всех экспертов для каждого проекта  $i$ . Переставим строки в порядке возрастания этих сумм. Среднее значение этих сумм обозначим через  $\bar{A}_i$ .

$$\bar{A}_i = \sum_{j=1}^m A_{ij} / m. \quad (2.6.3)$$

Затем рассчитываем сумму квадратов отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (A_{ij} - \overline{A_i})^2. \quad (2.6.4)$$

Таблица 11

**Варианты выполнения проектов**

Варианты проектов	Эксперты				
Первый	$A_{11}$	$A_{12}$	...	$A_{1m}$	$\sum_{j=1}^m A_{1j}$
Второй	$A_{21}$	$A_{22}$	...	$A_{2m}$	$\sum_{j=1}^m A_{2j}$
...	...	...	...	...	...
$N$ -й	$A_{N1}$	$A_{N2}$	...	$A_{Nm}$	$\sum_{j=1}^m A_{Nj}$

Это значение характеризует степень совпадения мнений всех экспертов. При полностью согласованных мнениях значение  $S$  будет равно нулю или очень маленькой величине. Поэтому для определения степени согласованности мнений группы экспертов предлагается определять коэффициент конкордации следующим образом:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 (N^3 - N)}. \quad (2.6.5)$$

Изменение  $W$  от 1 до 0 указывает на увеличение степени согласованности во мнениях экспертов.

Таким образом, работа с группой экспертов по определению оценок экологических рисков проектов производится следующим образом (подобно работе с экспертами по выбору поставщиков). Сначала находятся оценки экологических рисков всех вариантов проекта всеми экспертами. Они нормализуются. Затем определяются и анализируются парные коэффициенты корреляции Спирмена, осуществляется работа по выявлению экспертов, у которых оценки отличаются от остальных. И, хотя такие эксперты могут быть и не коррумпированными и достаточно компетентными, следует разобраться в причинах таких отклонений (возможно, они обладают какой-либо дополнительной информацией, которой следует обеспечить и других экспертов) и, после повторного оценивания, исключить их из группы экспертов

при повторении отклонений. Далее по формуле (2.6.5) вычисляется коэффициент конкордации, организационная работа с экспертами (их информирование, отсев и последующие перерасчеты) продолжается до тех пор, пока не получим значение  $W \leq 0.15$ , что говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов. Тогда  $\bar{A}_i$ , вычисленные по формуле (2.6.3), будут являться обобщенными оценками экологических рисков проектов. В случае длительного срока реализации сложного проекта оценки его экологических рисков могут отличаться по годам, тогда вышеописанную процедуру следует проводить по каждому году отдельно, получая оценки  $\bar{A}_i^t$ .

Социальные результаты отражают вклад проекта в улучшение социальной среды и, в конечном счете, — в повышение качества жизни людей. Качество жизни характеризуется оценками следующих аспектов:

- 1) доходов населения (средняя заработная плата и другие выплаты);
- 2) обеспеченности населения товарами и услугами потребительского назначения; ценами и тарифами на них;
- 3) обеспечения жильем, объектами хозяйственно-бытового назначения и коммунальными услугами;
- 4) занятости населения (количество новых рабочих мест); подготовки кадров;
- 5) обеспечения населения объектами образования, культуры и искусства, здравоохранения, спорта, транспортного обслуживания;
- 6) социальной безопасности (снижение правонарушений и преступности);
- 7) здоровья и продолжительности жизни — это улучшение условий труда; развитие сферы здравоохранения; уровень обслуживания.

Оценку уровня социальной значимости проектов проводим по вышеприведенной в 2.6.2 схеме, получая на первом этапе  $b_{ij}^k$  — оценки  $j$ -м экспертом  $i$ -го варианта проекта по  $k$ -му ( $k=1, \dots, 7$ ) аспекту качества жизни,  $\tilde{B}_{ij}$  — взвешенные суммы оценок качества жизни варианта проекта  $i$ , полученные экспертом  $j$ . После проведения нормализации полученных оценок

вычисляем  $B_{ij}$ . Далее аналогично проводим все этапы вычислений и получаем  $\bar{B}_i^t$  – обобщенные оценки уровня социальной значимости проектов.

Качественные суждения, методы экспертных оценок в силу своей субъективности имеют серьезные недостатки. При последующих проверках оказывалось, что такие данные часто отклоняются в сторону увеличения значимости недавних и часто повторяющихся событий, более впечатляющих эффектов (происходит искажение ожидаемой вероятности события). Все это следует учитывать при использовании метода экспертных оценок.

#### **2.6.4 Экспертный отбор возможных вариантов проекта с использованием принципов попарного сравнения (метод иерархий Саати)**

В качестве критериев выбора вариантов проекта предлагаются следующие:

- повышение благосостояния общества, экономической и социальной стабильности в регионе;
- насыщение региона товарами и услугами создаваемого предприятия;
- повышение уровня занятости населения;
- удовлетворение потребностей в жилье, дошкольных учреждениях, квалифицированной медицинской помощи;
- охрана окружающей среды.

Для выбора наиболее значимых вариантов проекта предлагается, как и в п.3.3, метод анализа иерархий Саати [157]. Для установления относительной важности элементов иерархии  $v_{ij}$  используется шкала отношений (см.табл.5), позволяющая методом попарного сравнения численно оценить степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим.

В табл. 12 приведен пример попарных сравнений критериев для некоторого проекта (для анализа взят проект строительства гипермаркета «Родник» в г. Челябинске).

**Матрица А попарных сравнений критериев**

Критерии	Повыше- ние благосо- стояния	Насыще- ние региона товарами	Повыше- ние уровня занятости	Удовлетво- рение пот- ребностей в жилье	Охрана окружа- ющей среды
повышение благостояния	1	3	3	3	2
насыщение региона товарами	1/3	1	3	5	3
повышение уровня занятости	1/3	1/3	1	5	1/3
удовлетворение потребностей в жилье	1/3	1/5	1/5	1	1/5
охрана окружающей среды	1/2	1/3	3	5	1

Для формирования вектора приоритетов критериев сначала нормализуем матрицу А, путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца.

$$N_A = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.62 & 0.29 & 0.16 & 0.31 \\ 0.13 & 0.20 & 0.29 & 0.26 & 0.46 \\ 0.13 & 0.07 & 0.11 & 0.26 & 0.05 \\ 0.13 & 0.04 & 0.02 & 0.06 & 0.03 \\ 0.21 & 0.07 & 0.29 & 0.26 & 0.15 \end{pmatrix}$$

Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

$$W^E = (0.356 \quad 0.268 \quad 0.138 \quad 0.056 \quad 0.196). \quad (2.6.6)$$

На данном проекте самым приоритетным является критерий «повышение благосостояния» (0,356), затем «насыщение региона товарами» (0,268), потом «охрана окружающей среды», «повышение уровня занятости», и на последнем месте «удовлетворения потребностей в жилье».

Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений вариантов проекта, и формируются соответствующие вектора приоритетов.

Полученные вектора приоритетов вариантов проекта по каждому критерию умножаются скалярно на вектор приоритетов критериев и, таким образом, получается результирующий вектор приоритетов вариантов проекта  $\{A_i\}$ . В случае длительного срока реализации сложного проекта вышеописанную процедуру следует проводить по каждому году отдельно, получая оценки  $A_i^t$ .

### **2.6.5 Математическая модель деятельности регулирующих органов, максимизирующая объем налогов**

Дано:  $N_t$  — план налогообложения. Финансовые этапы ( $v_i^k$  — прибыль от реализации) вариантов реализации проекта разрабатываются руководителем проекта, его командой и генконтрактором. Команда проекта совместно с заказчиком и представителями регулирующих органов составляет перечень положительных и отрицательных аспектов реализации проекта (от его разработки до последующей эксплуатации) и производит их экспертную оценку для каждого варианта реализации.

К положительным аспектам ( $a^+_q$ ) относятся:

- создание новых рабочих мест (по видам специальностей);
- выпуск конкурентоспособной продукции, более привлекательной для населения территории по качеству и ценам;
- повышение наполняемости бюджета благодаря производству новой продукции;
- участие в решении определенных социальных вопросов;
- решение некоторых транспортных проблем территории.

К отрицательным аспектам ( $a^-_q$ ) относятся:

- невыполнение экологических требований;
- ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки;
- загрязнение ландшафта, включая ухудшение историко-архитектурной ценности местности.

Финансовые результаты этапов реализации вариантов проекта существенным образом влияют на оценку вышеперечисленных аспектов.

Математическая модель деятельности регулирующих органов выглядит следующим образом: необходимо найти такой вариант реализации проекта  $k$ , при котором:

$$n_t V_t^{k_{\phi}} \geq N_t, \quad (2.6.7)$$

$$\sum_{q=1}^5 a_q^+ (V_t^{k_{\phi}}) - \sum_{q=1}^3 a_q^- (V_t^{k_{\phi}}) \geq \sum_{q=1}^5 a_q^+ (V_t^k) - \sum_{q=1}^3 a_q^- (V_t^k), \forall k \quad (2.6.8)$$

Осуществляется оптимизация выгод и потерь для территории с точки зрения налогообложения, социальных и экологических требований, т.е. выбирается такой вариант реализации проекта, который при обеспечении плана налогообложения (при годовой ставке  $n_t$ ) обеспечивает максимально объективную оценку его положительных и отрицательных аспектов.

### **2.6.6 Многокритериальная математическая модель деятельности регулирующих органов (минимизация экологического риска, повышение качества жизни и максимизация налогов)**

Пусть известны максимально возможные объемы финансирования проекта  $Q = \sum_{t=0}^T q^t$  на интервале  $[0, T]$ . Эти средства могут быть использованы для вложения в один из вариантов проекта  $k$  ( $k=1, \dots, N$ ), требующий в период  $t$  финансирования в объеме  $V_k^t$ . Пусть прибыль от реализации варианта проекта  $k$  на конец периода  $t$  составляет  $PV_k^t$ , ставка налогообложения  $n_k$ , оценка уровня социальной значимости проектов  $\bar{B}_k^t$ , а прогнозируемая оценка экологического риска составляет  $\bar{A}_k^t$ . Необходимо выбрать такой вариант реализации проекта, который обеспечивал бы максимальный ожидаемый объем налогов для некоторого (близкого к минимальному) значения экологического риска и уровня социальной значимости проектов.

Проблема выбора варианта реализации проекта может быть сформулирована как следующая трехкритериальная задача целочисленного программирования с булевыми переменными. Найти:

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если выбираем вариант проекта } k, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2.6.9)$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^N V_k^t \cdot x_k \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (2.6.10)$$

Целевые функции:

1) максимизация ожидаемого объема налогов:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^N x_k \cdot n_k \cdot PV_k^t \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.6.11)$$

2) минимизация экологического риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^N x_k \cdot \bar{A}_k^t \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \min; \quad (2.6.12)$$

3) повышение качества жизни:

$$F_3 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{k=1}^N x_k \cdot \bar{B}_k^t \right) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.6.13)$$

Оценка экологического риска  $\bar{A}_k^t$  варианта проекта  $k$ , реализуемого в период  $t$  в объеме инвестиций  $V_k^t$ , формируется по алгоритму, описанному в 2.6.2. Оценку уровня социальной значимости проектов  $\bar{B}_k^t$  рассчитываем в соответствии с 2.6.3. Эти оценки могут быть заменены на обобщенные оценки  $A_k^t$ , полученные в 2.6.2. Коэффициент дисконтирования  $d$  принимаем как минимально желаемый уровень доходности государственных инвестиций. Он может быть применен и для второй целевой функции в качестве меры эквивалентности значений риска, и для третьей целевой функции в качестве меры эквивалентности оценок уровня социальной значимости проектов для разных временных периодов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод последовательных уступок, который подробно описан нами в п.2.3.

Предложенные примеры постановки задач для Регулирующих органов служат основой разработки объективно многовариантной системы УП. При этом приведенные выше математические модели позволяют реализовать многие компетенции Регулирующих органов в процессе выполнения проекта. Полученные в моделях 2.6.2 и 2.6.3 оценки экологических рисков и уровня социальной значимости проектов, используемые в модели 2.6.4, могут быть использованы и в ряде других моделей, описанных в 2.2–2.4, в случае выполнения органами власти многофункциональных ролей.

## **2.7 Математические модели проектного управления для коммерческой службы**

### **2.7.1. Основные понятия**

Большинство реализуемых проектов ставят своей целью получение финансовой выгоды. Инвестор принимает решение о вхождении в проект, основываясь на данных бизнес-плана, и ставит своей целью извлечение прибыли. Заказчик определяет требования к продукту, команда управления проектом совместно с ген. подрядчиком и поставщиком выполняет проект и создает продукт в соответствии с заявленными Заказчиком требованиями и целями Инвестора получить прибыль. В современном управлении проектами эти роли достаточно хорошо изучены и описаны. Вместе с тем, для получения прибыли необходимо обеспечить поступление денежных средств путем продажи или другого способа реализации (например, сдачи в аренду площадей построенного объекта коммерческой недвижимости) создаваемого продукта. Продажа создаваемого объекта – сфера ответственности коммерческой службы. Несмотря на то, что продажа напрямую связана с обеспечением прибыльности проекта и является одним из важных критериев успешности, в существующих методологиях управления проектами мало внимания уделено компетенциям, методам и инструментам, необходимым коммерческой службе для эффективного выполнения ею своих функций.

*Коммерческая служба* – организация или часть организации, отвечающая за реализацию продукта проекта клиенту (конечному потребителю) и обеспечение денежного потока в виде выручки от реализации.

В контексте данной монографии рассмотрим коммерческую службу на примере отрасли строительство и девелопмент. В сфере недвижимости роль коммерческой службы могут выполнять как самостоятельные организации, так и отдельные подразделения в составе материнской компании.

Необходимо различать проекты, реализуемые в данной отрасли, по видам создаваемых объектов недвижимости. Различают коммерческую,

производственную, жилую недвижимость и землю. На рис. 17 представлена классификация объектов недвижимости по их назначению.



Рис. 17. Классификация объектов недвижимости

В зависимости от вида создаваемого объекта, в данной сфере можно выделить несколько основных типов проектов:

- проекты землеустройства (образование новых земель, реорганизация, перевод назначения, реализация с капитализацией и др.);
- новое строительство (капитальное строительство), изменение существующих объектов (расширение, тех. перевооружение, реконструкция), изменение назначения объектов (реконцепция);
- проекты по реализации объектов недвижимости;
- проекты одностадийные (проектирование, оценка, АПК) и многостадийные (девелоперские).

Большинство проектов, реализуемых в сфере недвижимости, ставят своей целью получение прибыли, что обуславливает выбор данной отрасли в качестве примера в настоящей главе.

### 2.7.2 Назначение и роль коммерческой службы

Роль профессиональных коммерческих служб сегодня трудно переоценить. Подавляющее большинство компаний успешно функционируют на отечественном рынке уже более 10 лет. Накопленный за это время опыт в проведении сделок любой сложности и большая клиентская база служат гарантией их надежности. Специалисты таких компаний способны в максимально сжатые сроки на высоком уровне предоставить полный пакет

необходимых услуг – от поиска и привлечения клиентов до полного юридического сопровождения сделки.

Основное назначение коммерческой службы – осуществлять реализацию создаваемого в ходе проекта продукта и обеспечивать приток денежных средств в компанию. Поскольку цикл девелоперского или строительного проекта довольно длительный, то чем ранее компания начнет продажу площадей строящегося объекта, тем лучше с точки зрения обеспечения входящего денежного потока, а, следовательно, для прибыльности проекта.

Существует несколько разновидностей коммерческих служб в сфере недвижимости, в зависимости от их целей, например, компании- брокеры, специализированные агентства недвижимости, риэлторы, подразделения девелоперских компаний, осуществляющих коммерческие функции (маркетинг и продажи) по реализации жилой и коммерческой недвижимости.

Тип создаваемого объекта определяет основные цели и задачи коммерческой службы. Это может быть продажа квартир в случае с жилой недвижимостью или торговых и офисных площадей коммерческой недвижимости, сдача в аренду квадратных метров и так далее. Основными видами деятельности, приносящими доход, можно назвать продажу и сдачу в аренду, при этом проекты недвижимости могут реализовываться как в секторе «новостройки», так и на «вторичном» рынке.

Виды деятельности коммерческой службы, типы проектов, вид рынка недвижимости формируют основные цели, задачи и функции.

Рассмотрим деятельность коммерческой службы на примере девелоперской компании, занимающейся строительством комплексов жилых домов на двух земельных участках.

Организация представляет собой девелоперскую компанию полного цикла и реализует проекты по строительству жилой недвижимости. Служба, отвечающая за приток денежных средств от клиентов, представлена обособленным подразделением, занимающимся маркетингом и продажами.

Такая коммерческая служба осуществляет продажу площадей (квартир) или готовых объектов (коттеджей) конечным пользователям, клиентам. Денежные средства в виде выручки поступают в компанию от всех реализуемых проектов.

Цель коммерческой службы – обеспечить приток денежных средств путем продажи квартир в строящихся домах. На основе цели в компании четко определены и закреплены функции коммерческой службы: маркетинг, продажи.

Для достижения данной цели в рамках заданных функций подразделение выполняет следующие задачи:

- разработка и проведение маркетинговых мероприятий, направленных на поиск и привлечение клиентов;
- заключение договоров с клиентами;
- отслеживание поступлений денежных средств по заключенным договорам;
- решение проблем с клиентами и работа с рекламациями.
- Используемая информация:
  - план продаж с разбивкой по месяцам, включающий требуемое количество квартир определенного вида (1-комнатные, 2-х комнатные и т.д.);
  - бюджет проекта;
  - бизнес–план проекта;
  - юридическое обеспечение в форме договоров и других документов;
  - укрупненный сетевой график проекта;
  - план по вехам.

### **2.7.3 Основные проблемы и задачи для решения**

В настоящем параграфе рассматриваются основные ограничения и риски, связанные с реализацией продукта проекта и обеспечением входящего денежного потока в виде выручки.

Среди ограничений коммерческой службы можно выделить следующие:

- сроки реализации квартир;
- сроки сдачи построенного объекта в эксплуатацию;
- наличие определенного вида квартир в разные моменты на разных стадиях проекта;
- неплатежеспособность клиентов;
- чувствительность рынка недвижимости к макроэкономическим факторам (политика, экономика, курсы валют и т.д.);
- бюджет, выделенный на маркетинговые исследования, рекламу.



Рис. 18. Схема взаимосвязей математических моделей проектного управления Коммерческой службы с другими заинтересованными сторонами

Основными проблемами, с которыми сталкивается коммерческая служба и в целом организация, являются следующие.

- **Коммерческая служба не вовлечена в проект.**

Представители коммерческой службы не обладают детальной информацией о ходе проекта, не имеют возможности отслеживать изменения в графике и причины этих изменений. Вследствие низкой информированности коммерческая служба «оторвана» от реалий проекта, что затрудняет

коммуникации. Недостаточное понимание общих целей, проблем, задач, событий и вех в проекте.

- **План продаж как основной инструмент не эффективен.**

План продаж разрабатывается на основе бизнес-плана и потребности в финансировании проекта. План утверждается и ежемесячно пересматривается. Заранее известно (из сетевого графика), в какие моменты времени и какое количество денежных средств необходимо получить. Однако, в общем плане-графике (сетевой график проекта) не закладывается время на задачи, которые выполняет коммерческая служба, – маркетинговые мероприятия и продажи. В то время как каждая элементарная работа требует тщательной оценки по времени, стоимости и ресурсам. Неадекватное планирование и непринятие во внимание работ, связанных с продажами, приводит к серьезным кассовым разрывам на этапе реализации проекта.

- **Отставание от плана продаж (недополучение выручки в полном объеме в заданные сроки).**

В силу разных причин коммерческая служба не выполняет план по продажам. Выручка от реализации объекта или частей объекта недвижимости поступает не регулярно.

- **Нерегулярность и непредсказуемость выручки от клиентов.**

Сложно предсказуемое поведение покупателя. Необходимо мониторить макрофакторы и просчитывать риски с их учетом, определять их влияние на проект и его показатели.

- **Сезонность продаж.**

Коммерческая служба подвержена фактору сезонности. В периоды новогодних праздников и после них (январь – март), в летние месяцы покупатели находятся в отпусках и не совершают покупки. Данный фактор не учитывается при планировании проекта и построении календарного плана-графика работ. В результате план продаж формируется изначально не точно, исходя их *среднемесячной* потребности поступления денежных средств в виде

выручки от продаж. Например, каждый месяц необходимо продавать 30 квартир. Следует учитывать фактор сезонности при планировании.

Как следствие, при реализации проекта недополучение выручки в запланированных объемах влияет на ухудшение финансово-экономических показателей проекта (период окупаемости, NPV и другие).

- **Не учитываются риски коммерческой службы в проекте.**

Коммерческая служба не имеет инструмента для оценки макроэкономических и других рисков с целью прогнозирования выполнения или невыполнения плана продаж. Необходимо такой инструмент иметь и использовать. Управление рисками коммерческой службы должно стать частью общей системы управления рисками проекта.

- **Прогнозирование продаж: выручка и прибыль проекта.**

Самая сложная задача – это как можно точнее прогнозировать продажи, выраженные как в натуральном выражении (квартиры, квадратные метры), так и в денежном выражении. На этапе выполнения проекта коммерческая служба осуществляет продажи и по итогам месяца готовит отчет в форме план-факт, в котором указывается, сколько квартир (кв.м.) планировали продать, сколько по факту реализовали, какое количество денежных средств планировали получить и сколько на самом деле составила выручка. Если есть отклонения, то их анализируют и выявляют причины.

Далее необходимо спрогнозировать выполнение плана продаж и оценить влияние отставания (план-факт) на весь проект. Каким образом скажется невыполнение плана продаж в данном месяце на показатель «выручка»? Как повлияло фактическое выполнение плана продаж в этом месяце на финансово-экономические показатели проекта в целом? Необходимо пересчитать. Далее необходимо сделать прогноз, с учетом уже сложившегося факта и тенденции недополучения выручки на сегодня, а также возможных рисков (макрофакторов), какие результаты по проекту будут получены на момент его завершения. То есть, необходим ежедневный механизм прогнозирования с

учетом ежедневной выручки и рисков. Это позволит более точно рассчитывать потребность в финансировании и про-активно управлять денежными потоками, а также сокращать и/или ликвидировать возникновение кассовых разрывов.

- **Влияние отставания от расписания.**

Еще одной проблемой является то, что в расписании проекта возникают отставания по срокам. На определенном этапе может наступить ситуация, когда при нарушении сроков сдачи объекта клиенты подают иски в суд (и это реальные примеры из практики компаний). В этом случае по договорам с клиентами возникают судебные разбирательства, которые влекут за собой штрафы и судебные издержки. Необходим механизм, позволяющий предотвращать данный сценарий развития событий, или, по крайней мере, минимизирующий негативные его последствия.

Коммерческой службе необходимо иметь методы и инструменты, предназначенные для оперативного и среднесрочного управления работами и задачами. Необходимо иметь модель, на основе которой составляются оперативные графики выполнения работ, событий, других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, анализ, регулирование, прогнозирование и обратная связь. Применяя удобную и понятную модель, сотрудники коммерческой службы смогут обеспечивать определенные объемы продаж к моментам свершения требуемых вех (событий), реализацию продукта на разных стадиях проекта, удовлетворение потребностей конечных потребителей продукта проекта, осуществление маркетинговых мероприятий.

Возможные элементы модели: вехи, работы по маркетингу и продажам, зависимости, обратный расчет, договора, финансовые параметры, работа с рекламациями.

Функции коммерческой службы тесно связаны с функциональной областью «управления стоимостью и финансированием проекта» и включают в себя:

- оценку рынка (платежеспособность населения, достаточное количество потенциальных покупателей на данный вид объекта недвижимости, потребности потребителей и их ожидания определенного уровня качества объекта);

- предварительную оценку количества денежных средств, которые возможно получить от продажи объекта недвижимости, расчет требуемого среднемесячного поступления выручки, расчет количества продаваемых объемов (квадратных метров, квартир);

- определение сметы операционных расходов, необходимых на обеспечение функционирования коммерческой службы (заработная плата и система мотивации персонала, затраты на маркетинговые мероприятия);

- планирование денежных потоков (сроки и объемы);

- исполнение и контроль плана продаж, анализ отклонений и их причин;

- оценка эффективности проводимых маркетинговых мероприятий для привлечения клиентов (покупателей);

- прогнозирование доходов и прибыли.

Главной задачей является соблюдение темпов строительства в соответствии с первоначальным планом, получение запланированной выручки в привязке к темпам, и, как следствие, обеспечение предусмотренной прибыли проекта.

#### **2.7.4 Математическая модель, описывающая характер влияния характеристик проекта и хода его реализации на выполнение плана продаж**

В качестве анализируемого и прогнозируемого показателя качества  $Y^k$  возьмем процент выполнения плана по продажам в течение  $k$  месяцев после официального срока сдачи проекта. Данная модель предназначена для выявления характера зависимости выбранного параметра качества от характеристик проекта и хода его реализации.

Исходной информацией являются статистические данные об уже выполненных  $N$  проектах  $x_{pi}$  и значения показателя качества  $Y_p^k$  ( $k=0, \dots, K$ ;  $p=1, \dots, N$ ). Здесь  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – номер характеристики проекта (фактора), проекты группируем по типам, для каждого типа может быть свой набор факторов.

Например, для проектов жилищного строительства набор факторов следующий:

- количество однокомнатных квартир;
- количество двухкомнатных квартир;
- количество трехкомнатных квартир;
- количество четырехкомнатных квартир;
- этажность;
- стоимость  $1\text{м}^2$ ;
- инфраструктура и благоустройство прилегающей территории по 5-бальной системе (1 – очень плохо, 5 – очень хорошо);
- расстояние до метро;
- расстояние до остановки общественного транспорта;
- затраченные средства на рекламу данного проекта (при рекламировании жилищного комплекса – доля средств, соответствующая данному объекту в составе комплекса);
- отклонения фактического срока сдачи объекта от планового (в % от плановой продолжительности).

Построение регрессионной линейной (аддитивной) модели влияния характеристик проекта и хода его реализации на выполнение плана продаж. Ищется зависимость вида:

$$Y^k = a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n, \quad (2.7.1)$$

где  $a_i$  – коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния каждого фактора  $i$  на параметр качества. При изменении значения фактора на единицу

(единицу измерения представленных данных) значение показателя качества меняется на величину соответствующего коэффициента регрессии.

В процессе построения модели определяется множество характеристик проекта (факторов), оказывающих заметное влияние на моделируемый показатель качества, причем для каждого  $k$  это может быть свой набор факторов и коэффициентов регрессии. Отбор факторов проводится методом расчета коэффициентов корреляции  $r_{ij}$  для каждой пары переменных  $X_i, X_j$  в уравнении (2.7.1). Корреляция переменных показывает, насколько велика их связь между собой. Если связь достаточно велика ( $|r_{ij}| \geq 0.8$ ), то использование одной из переменных нецелесообразно и является избыточным. Кроме того, следует исключать факторы, имеющие слабую степень влияния на показатель качества  $Y$ . Данное решение принимается ответственным лицом индивидуально по каждому фактору, путем анализа полученных коэффициентов регрессии и  $t$ -статистики. В итоге получаем некоторое множество факторов, влияние которых на исследуемый параметр  $Y^k$  наиболее значимо, причем будет устранена избыточность переменных.

Использование полученной модели возможно по двум направлениям:

1. Повышение качества выполнения плана продаж за счет изменения (при возможности) значений характеристик проекта (увеличиваем  $i$ -й фактор, если  $a_i > 0$ , и, соответственно, уменьшаем, если  $a_i < 0$ );
2. Прогнозирование хода выполнения плана продаж в течение  $k$  месяцев после официального срока сдачи проекта.

Построение нелинейной (мультипликативной) модели влияния характеристик проекта на выполнение плана продаж, т.е. зависимости вида

$$Y^k = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} * \dots * X_n^{a_n} \quad (2.7.2)$$

в данном случае нецелесообразно, т.к. здесь показатели степени  $a_i$  – коэффициенты эластичности, являются константами. Они показывают, на сколько процентов меняется анализируемый показатель  $Y^k$  при изменении фактора  $i$  на один процент. Однако анализ статистических данных о

характеристиках проектов жилищного строительства и выполнении плана продаж показывает существенную зависимость коэффициентов эластичности анализируемых показателей  $Y^k$  от значений факторов. Поэтому для данного типа проектов рекомендуем строить регрессионную модель (2.7.1). При наличии в статистической информации о характеристиках других типов проектов постоянных коэффициентов эластичности следует строить регрессии по формуле (2.7.2).

### **2.7.5. Математическая модель для оценки рынка жилищного строительства**

Для оценки рынка применим также регрессионную модель вида (2.7.1) или (2.7.2). При этом для примера будем использовать статистическую информацию, характеризующую рынок строящегося жилья в Челябинске и Челябинской области. Полученную таким образом методику построения модели можно будет использовать во всех других регионах России, за исключением Москвы и Московской области, где рынок определяется характеристиками не только самого региона, а страны в целом (в Москву, в Москву... – А. Чехов, Три сестры).

Производя оценку рынка жилья в конкретном районе, компания руководствуется рядом показателей:

- географическое положение;
- количество потенциальных клиентов;
- ожидаемая прибыль;
- инфраструктура;
- наличие конкурентов в выбранном регионе и пр.

Наша цель – создать методику, которая оперировала бы показателями, поддающимися измерению и сопоставлению, отражающими основные социально-экономические характеристики региона. Кроме того, источник данных должен быть достоверен и доступен для пользования, то есть

организации не нужно проводить дополнительные исследования, чтобы получить информацию. Это упрощает и работу с моделью, и экономит средства компании.

За основу для создания модели нами взят статистический сборник «Города Челябинской области» и «Всероссийский статистический сборник».

Первый сборник включает в себя следующие социально-экономические показатели: численность наличного населения, среднесписочная численность работников, численность незанятого населения, среднемесячная номинальная заработная плата работников организаций, численность пенсионеров, средний размер назначенных месячных пенсий, объем промышленной продукции, индексы промышленного производства, продукции сельского хозяйства, индексы физического объема сельского хозяйства, ввод в действие жилых домов, оборот розничной торговли, объем платных услуг населению, индексы физического объема платных услуг населению, сальдированный финансовый результат деятельности организаций, инвестиции в основной капитал.

Во втором сборнике представлена более подробная статистическая информация, как то:

**Население:** численность постоянного населения, плотность населения, число родившихся, число умерших, естественный прирост, убыль, число зарегистрированных браков, число зарегистрированных разводов.

**Труд:** среднегодовая численность работающих в организациях, численность незанятых трудовой деятельностью граждан, из них признанных безработными.

**Уровень жизни населения и социальное обеспечение:** среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, численность пенсионеров, средний размер назначенных месячных пенсий, число дошкольных учреждений, детей в них, число детей, приходящихся на 100 мест в дошкольных учреждениях, число дневных общеобразовательных учреждений, учащихся в них, число государственных средних специальных учебных заведений, студентов в них, число государственных высших учебных заведений, студентов в них,

численность врачей всех специальностей, численность среднего медицинского персонала, число больничных учреждений, число больничных коек, число амбулаторно-поликлинических учреждений, число общедоступных библиотек, библиотечный фонд, число учреждений культурно-досугового типа, число музеев.

**Охрана окружающей среды:** объем загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, объем сброса загрязненных сточных вод.

**Правонарушения:** число зарегистрированных преступлений, выявлено лиц, совершивших преступления.

**Жилищный фонд:** жилищный фонд, в среднем на одного жителя.

**Промышленность:** объем промышленной продукции крупных и средних организаций, индекс промышленного производства, численность промышленно-производственного персонала.

**Производство отдельных видов промышленной продукции:** чугун, сталь, цемент, цельномолочная продукция.

**Строительство:** ввод в действие жилых домов, ввод в действие жилых домов индивидуальными застройщиками, объем работ, выполненных по договорам строительного подряда по крупным и средним организациям.

**Торговля и услуги населению:** оборот розничной торговли, оборот общественного питания, оборот розничной торговли на душу населения, объем платных услуг населению, объем платных услуг на душу населения.

**Транспорт и связь:** перевозки грузов крупными и средними автотранспортными организациями, перевозки пассажиров крупными и средними автотранспортными организациями, число телефонных аппаратов (без таксофонов), в том числе квартирных.

**Финансы:** сальдированный финансовый результат деятельности организаций, удельный вес убыточных организаций, сумма убытка.

**Инвестиции:** инвестиции в основной капитал, инвестиции в жилищное строительство.

Из всего этого многообразия показателей были выбраны ключевые, независимые (коэффициент корреляции  $< 0,85$ ), которые дают комплексную характеристику региона:

- Год;
- Население – отражает потенциальное число клиентов;
- Заработная плата – отражает потенциальную величину платежей;
- Объемы частного сектора (количество домов, м<sup>2</sup>/чел.);
- Обеспеченность жильем в многоквартирных домах, м<sup>2</sup>/чел.;
- Число автомобилей.

В качестве анализируемого и прогнозируемого показателя возьмем «ввод в действие жилых домов», который позволяет строительной компании оценить перспективы ее развития в регионе.

Построение модели проведем на информационной базе 6 городов Южноуральск (ЮЖУ), Троицк, Златоуст, Миасс, Катав-Ивановск (К-И), Усть-Катав (У-К), где строительная компания вела жилищное строительство в 2011, 2012 и 2013 годах. Объединим выбранные показатели для выбранных нами объектов исследования по годам в табл. 13.

## Социально-экономические показатели для анализируемых районов

Район	Год ( $x_1$ )	Население, тыс.чел. ( $x_2$ )	Зар. плата, руб. ( $x_3$ )	Объемы частного сектора, кол-во.( $x_4$ )	Обеспеченность жильем, м <sup>2</sup> /чел. ( $x_5$ )	Число автомобилей, шт. ( $x_6$ )	Ввод в действие жилых домов, м <sup>2</sup> (Y)
ЮжУ	2011	39,400	4063	2098	10,25	13200	6345
	2012	39,600	4854	2106	11,13	14546	2086
	2013	39,500	6106	2217	12,57	15034	7241
Троицк	2011	83,900	4459	2957	10,23	29062	12286
	2012	83,500	5589	2861	11,11	28178	11861
	2013	83,000	7155	2862	12,33	29119	21420
Златоуст	2011	196,600	4114	3823	11,5	29230	17917
	2012	195,200	4854	3722	12,98	30185	21072
	2013	193,900	6079	3651	12,56	31746	36609
Миасс	2011	171,700	4206	2521	11,79	53382	17010
	2012	170,400	5164	2449	13,14	53586	20078
	2013	169,000	6420	2776	12,54	52497	33303
К-И	2011	20,300	2883	1135	10,68	13483	2346
	2012	20,000	3922	1336	12,2	13161	1936
	2013	19,800	4812	1374	12,41	13226	4252
У-К	2011	30,100	2966	797	11,74	12500	1406
	2012	29,800	4039	1192	12,5	12531	1992
	2013	29,400	4813	1227	12,81	12849	2643

Хотелось бы пояснить, почему мы ограничились всего шестью показателями, хотя статистическое разнообразие позволяет использовать гораздо больше факторов для анализа. Дело, во-первых, в том, что очень многие данные являются взаимозависимыми, что показал корреляционный анализ. А, во-вторых, чем меньше данных используется для построения модели, тем точнее эта модель. При большом количестве исходных параметров увеличивается и доля погрешности, а, следовательно, снижается достоверность модели. Кроме того, необходимо в принципе убедиться в том, что выбранный нами метод можно использовать для оценки и прогнозирования рынка строящегося жилья. При дальнейшем использовании модели в других регионах России ее можно будет совершенствовать, адаптировать, добавляя дополнительные факторы.

Строим модель зависимости показателя  $Y$  – «ввод в действие жилых домов» от переменных  $x_1, \dots, x_6$  с помощью пакета MS Excel, функция «Регрессия».

Получаем:

$$Y = -6628926,17 + 3324,46x_1 + 266,64x_2 + 5,78x_3 - 9,085x_4 - 6117,41x_5 - 0,22x_6. \quad (2.7.3)$$

Как видно из полученного уравнения, положительное влияние на результат оказывает год, количество населения и заработная плата, что вполне логично.

Отрицательные коэффициенты для объемов частного сектора и обеспеченности жильем в многоквартирных домах также довольно логичны – довольствуются тем, что имеют. А отрицательное влияние числа автомобилей объясняется следующим: при невысоких доходах люди выбирают между автомобилем и улучшением жилищных условий – на все денег не хватает.

Значение коэффициента детерминации очень близко к единице (0.97), следовательно, полученная нами модель адекватно отражает реальное положение вещей. Полученную регрессию (2.7.3) можно теперь использовать для прогнозирования рынка строящегося жилья в уже освоенных районах, а также для анализа перспектив рынка в новых регионах.

### **Анализ потенциальных районов для начала жилищного строительства.**

Для анализа были взяты 3 относительно крупных города Челябинской области, где пока не ведет работ строительная компания. Это Кыштым, Чебаркуль и Сатка.

Для каждого из выбранных городов на основе статистических данных за 2001–2013г.г. были построены уравнения зависимости (тренды) величины каждого социально-экономического показателя (фактора) от времени ( $t=1, \dots, 13$ ) с помощью линейной регрессии.

Получили:

**Тренды социально-экономических показателей (факторов) для анализируемых районов**

Фактор	для Кыштыма		для Чебаркуля		для Сатки	
	тренд	R <sup>2</sup>	тренд	R <sup>2</sup>	тренд	R <sup>2</sup>
$x_2$	$-2,11 t_i + 67,6$	0.88	$-1,16 t_i + 59,2$	0.95	$-0,18 t_i + 51,22$	0.86
$x_3$	$721,5 t_i - 3104,2$	0.93	$877,1 t_i - 4675,4$	0.92	$772,1 t_i - 3137,2$	0.93
$x_4$	$295,7 t_i - 2104,7$	0.91	$291,1 t_i - 1292,4$	0.94	$319,3 t_i - 1514,2$	0.85
$x_5$	$1,1 t_i - 2,38$	0.89	$0,5 t_i + 7,47$	0.89	$0,34 t_i + 7,56$	0.86
$x_6$	$787,4 t_i + 3059,4$	0.85	$682,6 t_i + 4546,2$	0.87	$-61 t_i + 15728,1$	0.84

На основании полученных трендов прогнозируем значения необходимых для анализа социально-экономических показателей на последующие 5 лет.

Получаем:

**Прогнозируемые значения социально-экономических показателей – Кыштым**

Год	Население, $x_2$ , тыс.чел.	Зар. плата, $x_3$ , руб.	Част.сектор, кол-во. ( $x_4$ )	Обеспеченность жильем, м <sup>2</sup> /чел. ( $x_5$ )	Автомобили, $x_6$ , шт.
2014	38,020	6997	2035	13,02	14083
2015	35,900	7668	2357	14,13	14870
2016	33,780	8339	2678	15,22	15658
2017	31,660	9010	3030	16,34	16435
2018	29,540	9681	3321	17,44	17217

Таблица 16

**Прогнозируемые значения социально-экономических показателей –  
Чебаркуль**

Год	Население, $x_2$ , тыс.чел.	Зар. плата, $x_3$ , руб.	Част.сектор, кол-во. ( $x_4$ )	Обеспеченность жильем, $m^2$ /чел. ( $x_5$ )	Автомобили, $x_6$ , шт.
2014	42,960	7604	2783	14,47	14103
2015	41,800	8481	3074	14,97	14786
2016	40,640	9358	3365	15,47	15468
2017	39,480	10236	3656	15,97	16150
2018	38,320	11113	3947	16,47	16833

Таблица 17

**Прогнозируемые значения социально-экономических показателей –  
Сатка**

Год	Население, $x_2$ , тыс.чел.	Зар. плата, $x_3$ , руб.	Част.сектор, кол-во. ( $x_4$ )	Обеспеченность жильем, $m^2$ /чел. ( $x_5$ )	Автомобили, $x_6$ , шт.
2014	48,700	7671	2956	12,32	14874
2015	48,520	8443	3275	12,66	14813
2016	48,340	9215	3594	13,00	14752
2017	48,160	9988	3912	13,34	13691
2018	47,980	10760	4231	13,68	13620

По формуле (3.7.3) на основании полученных прогнозов социально-экономических показателей рассчитаем прогнозные значения результирующего показателя ( $Y$ ) для выбранных городов.

**Прогнозные значения результирующего показателя (Y) для  
выбранных городов (по годам), м<sup>2</sup>**

Год	Кыштым	Чебаркуль	Сатка
2014	6,573.17	2,371.09	11,851.21
2015	6,490.58	2,076.85	11,695.98
2016	6,407.98	1,782.62	11,540.74
2017	6,325.39	1,488.38	11,385.51
2018	6,242.79	1,194.15	11,230.27

Полученные прогнозы показывают абсолютную перспективность Сатки для развертывания там жилищного строительства, на втором месте Кыштым, Чебаркуль с весьма скромными результатами замыкает анализируемый перечень.

**2.7.6. Математическая модель определения оптимальных  
характеристик проекта**

Исходной информацией для модели служат ограничения на допустимые значения характеристик проекта ( $x_i$ ) и построенная в 2.7.4 многофакторная регрессия (2.7.1). Ограничения могут иметь технический, технологический, социальный, экономический и прочий характер. Например, номенклатура квартир в доме, этажность диктуются техническими, социальными и экономическими причинами; стоимость м<sup>2</sup> – социальными и экономическими причинами и т.д. Имеем:

$$a_i \leq x_i \leq b_i \quad (i=1, \dots, n). \quad (2.7.4)$$

Постановка задачи:

Найти характеристики проекта  $\{x_i\}$ , удовлетворяющие ограничениям (2.7.4), при которых максимизируется приведенный поток платежей от реализации квартир.

Т.к. построенная в 2.7.4 многофакторная регрессия (2.7.1) позволяет получать  $Y^k$  – % продаж квартир в  $k$ -й месяц после сдачи объекта, то член потока платежей, относящийся к  $k$ -му месяцу, будет равен  $(Y^k - Y^{k-1})V$ , где  $V$  – стоимость всех квартир объекта. Таким образом, целевая функция задачи

$$F = Y^0 + \sum_{k=1}^n (Y^k - Y^{k-1})(1 + i)^{-k} \rightarrow \max.$$

Здесь  $i$  – ставка приведения (дисконтирования), характеризующая желаемый уровень эффективности инвестиций в жилищное строительство. Константа  $V$  вынесена за скобки и убрана из целевой функции, как не влияющая на результат.

Найденные таким образом характеристики проекта  $\{x_i\}$  могут служить ориентиром для выработки комплекса мероприятий, повышающих его экономическую эффективность. Предложения по изменению технических, технологических характеристик носят со стороны коммерческой службы рекомендательный характер, а изменения характеристик, которые могут быть осуществлены самой коммерческой службой (например, маркетинговые работы по видам), являются, как раз, планом ее действий.

## 2.8. Выводы по главе 2

В данной главе предложены новые математические модели и методы управления проектной деятельностью с позиций разных заинтересованных сторон – стейкхолдеров проекта. Настоящий подход потребовал разработки соответствующих компетенций для ключевых стейкхолдеров, таких как Инвестор, Заказчик, Генеральный подрядчик, Поставщик, менеджер и команда проекта, Регулирующие органы, Коммерческая служба. Для каждого стейкхолдера разработан комплекс математических моделей, реализующих их компетенции и основные функции управления проектом.

Предложенные модели служат основой разработки комплексной многомерной системы управления проектной деятельностью, назначение

которой – обеспечение эффективности и синергии от выполнения разными стейкхолдерами своих функций с использованием специализированных встроенных в нее блоков соответственно уровням и задачам управления проектом на всех стадиях его осуществления.

## ГЛАВА 3. ЦИКЛИЧЕСКИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ

### 3.1 Описание циклической альтернативной сетевой модели (ЦАСМ)

Автором в ряде публикаций [284-285] предложена универсальная математическая модель, при этом классические, обобщенные и альтернативные сетевые модели являются ее частными случаями.

Данная модель (названная циклическая альтернативная сетевая модель – ЦАСМ) является более гибким и адекватным инструментом для описания процесса управления разработкой сложного проекта.

ЦАСМ представляет собой конечный, ориентированный, циклический граф  $G(\Omega, A)$ , состоящий из множества событий  $\Omega$  и дуг  $(i, j)$  (события  $i$  и  $j \in \Omega$ ), определяемых матрицей смежности  $A = \{p_{ij}\}$ .  $0 \leq p_{ij} \leq 1$ , причем  $p_{ij} = 1$  задает детерминированную дугу  $(i, j)$ , а  $0 < p_{ij} < 1$  определяет альтернативное событие  $i$ , которое с вероятностью  $p_{ij}$  связано дугой с событием  $j$ . Множество дуг подразделяется на дуги-работы и дуги-связи. Первые реализуют определенный объем производственной деятельности во времени, второй тип дуг отражает исключительно логические связи между последними. Событиями могут быть как начала и окончания выполняемых работ, так некоторые их промежуточные состояния.

Обозначим через  $T_i$  время свершения  $i$ -го события, тогда соотношение между сроками свершения событий, связанных дугой  $(i, j)$ , задается неравенством:

$$T_j - T_i \geq \psi_{ij}, \quad (3.1.1)$$

где  $\psi_{ij}$  в общем случае случайная величина, распределенная по некоторому закону в интервале от  $-\infty$  до 0 или от 0 до  $+\infty$ .

Кроме того, возможны абсолютные ограничения на момент реализации события  $i$ :

$$l_i \leq T_i \leq L_i. \quad (3.1.2)$$

Соотношения (3.1.1)–(3.1.2) являются обобщением соответствующих неравенств при описании обобщенных сетевых моделей, где параметр  $\psi_{ij}$  и матрица смежности  $A$  носят детерминированный характер.

Рассмотрим смысловую нагрузку соотношения (3.1.1) при вероятностном характере параметра  $\psi_{ij}$ .

Если  $(i,j)$  есть дуга-работа (или ее часть), то положительно распределенная случайная величина  $\psi_{ij}$  задает распределение минимальной продолжительности этой работы (связанной с максимальным насыщением ее определяющим ресурсом). В работе [51] показано, что распределение величины  $\psi_{ij}$  является унимодальным и асимметричным, а данным требованиям удовлетворяет бета-распределение, таким образом, минимальная продолжительность работы есть случайная величина  $\psi_{ij}=t_{\min}(i,j)$ , распределенная по закону бета-распределения на отрезке  $[a, b]$  с плотностью

$$\varphi(t)=C(t-a)^{p-1}(b-t)^{q-1}, \quad (3.1.3)$$

где  $C$  определяется из условия  $\int_a^b \varphi(t)dt = 1$ .

Если же случайная величина  $\psi_{ij}$  в (1.4.1), соответствующая дуге-работе  $(i,j)$ , распределена в интервале от  $-\infty$  до  $0$ , то  $-\psi_{ij}=t_{\max}(j,i)$  задает распределение длины максимального временного интервала, на протяжении которого работа  $(i,j)$  должна быть начата и окончена даже при минимальном насыщении ее определяющим ресурсом. Для этой величины получили ее распределение аналогичного вида (3.1.3). Зная распределение случайной величины  $\psi_{ij}$  для каждой работы  $(i,j)$ , по соответствующим формулам вычисляются ее математическое ожидание и дисперсия.

Введение в (3.1.1) отрицательно распределенных величин  $\psi_{ij}$  для дуг-работ  $(i,j)$  существенно расширяет возможности описания временных характеристик работ, делая широко используемую вероятностную модель лишь одним из частных случаев.

Для дуг-связей  $(i,j)$  величина  $\psi_{ij}$  задает распределение временной зависимости между событиями  $i$  и  $j$ , причем положительно распределенная величина  $\psi_{ij}$  определяет взаимосвязь типа «не ранее» (событие  $j$  может наступить не раньше, чем через  $\psi_{ij}$  дней после свершения события  $i$ ), а отрицательно распределенная величина  $\psi_{ij}$  определяет взаимосвязь типа «не позднее» (событие  $i$  может наступить не позже, чем через  $-\psi_{ij}$  дней после свершения события  $j$ ). В последнем случае такие связи называют «обратными».

Таким образом, здесь мы получили обобщение этих связей с учетом возможно вероятностного их характера.

Так как сроки свершения событий  $T_i$  определяются суммой продолжительностей работ, технологически им предшествующих, то при достаточно большом числе таких работ в соответствии с центральной предельной теоремой распределение случайной величины  $T_i$  стремится к нормальному с параметрами – математическое ожидание  $MT_i$  и дисперсия  $DT_i$ . Нормальное распределение имеет и параметр  $\psi_{ij}$ , соответствующий «обратным» дугам, что также подтверждается статистическим анализом.

Абсолютные ограничения на сроки свершения событий, заданные (3.1.2), отражают соответствующие директивные, организационные и технологические ограничения на сроки выполнения работ или их частей, заданные в «абсолютной» (реальной или условной) шкале времени. Абсолютные ограничения также характеризуются типом «не ранее» или «не позднее» и принимает вид:  $T_i - T_0 \geq l_i$ ,  $T_0 - T_i \geq -L_i$ . Таким образом, абсолютные ограничения вида (3.1.2) являются частным случаем ограничений вида (3.1.1) для определенных дуг-связей.

Введение стохастической матрицы смежности  $A$  в сочетании с обобщенными связями дает дополнительные возможности для описания процесса создания сложного проекта.

Пусть  $L(i,j)$  – некоторый путь, соединяющий события  $i$  и  $j$ :

$$L(i,j)=\{i=i_0 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_v=j\}. \quad (3.1.4)$$

Этот путь детерминированный, если для всех  $k \in [1, v]$  справедливо  $p_{i_{k-1}i_k} = 1$ , и стохастический, в противном случае. Таким образом, стохастический путь содержит хотя бы одну дугу, вероятность «исполнения» которой строго меньше 1.

Аналогично определяется детерминированный и стохастический контур  $K(i)=\{i=i_0 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_v=i\}$  (такие события  $i$  называются «контурными»).

Если события  $i$  и  $j$  соединены путем  $L(i,j)$ , то вероятность свершения события  $j$  при условии, что событие  $i$  произошло  $P(j/i)$  есть произведение коэффициентов матрицы смежности  $A$ , соответствующих дугам связующего пути:

$$P(j/i) = \prod_{k=1}^v p_{i_{k-1}i_k}. \quad (3.1.5)$$

Если события  $i$  и  $j$  соединены несколькими путями, то выполняется эквивалентное GERT-преобразование данного фрагмента сети в соответствии с приведенными в работе [182] формулами, вычисляется производящая функция  $\Psi_{ij}(s)$  преобразованного фрагмента, и вероятность свершения события  $j$  при условии, что событие  $i$  произошло  $P(j/i)=\Psi_{ij}(0)$ .

Первая производная функции  $\Psi_{ij}(s)/\Psi_{ij}(0)$  по  $s$  в точке  $s=0$  (первый момент  $\mu_1(j/i)$ ) определяет математическое ожидание  $M(j/i)$  времени свершения события  $j$  относительно времени свершения события  $i$ . Вторая производная функции  $\Psi_{ij}(s)/\Psi_{ij}(0)$  по  $s$  в точке  $s=0$  (второй момент  $\mu_2(j/i)$ ) позволяет вычислить дисперсию времени свершения события  $j$  относительно времени свершения события  $i$  по формуле

$$\sigma^2(j/i) = \mu_2(j/i) - (\mu_1(j/i))^2. \quad (3.1.6)$$

Длина пути  $L(i,j)$  есть случайная величина, математическое ожидание которой  $ML(i,j)$  есть сумма математических ожиданий длин всех дуг, составляющих данный путь, а дисперсия  $DL(i,j)$  равна сумме дисперсий.

При этих условиях длина пути (контура) может принимать отрицательные значения, что интерпретируется следующим образом (рассмотрим пример детерминированного контура на рис.19):

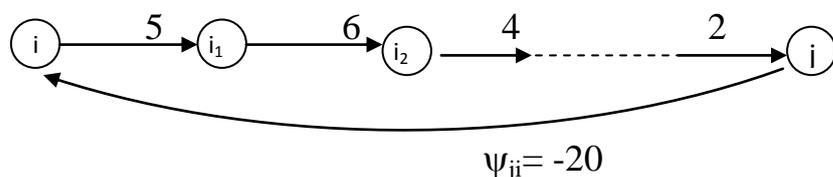


Рис. 19. Детерминированный контур (пример)

В данном случае  $L(i,j) < 0$  и дуга  $(j,i)$  имеет отрицательно распределенный параметр  $\psi_{ji}$ , поэтому событие  $j$  должно свершиться не позднее чем через  $-\psi_{ji}$  дней после наступления события  $i$ . Параметр  $\psi_{ji}$  носит вероятностный характер, что позволяет более гибко (по отношению к ОСМ) описывать логико-временные связи между событиями.

В качестве параметра дуги  $\psi_{ij}$  можно рассматривать также любой характерный параметр, который обладает аддитивностью по дугам любого пути (например, стоимость работы), при этом с помощью эквивалентного GERT-преобразования получим математическое ожидание и дисперсию стоимости фрагмента сети или проекта в целом.

На рис. 20 представлен расширенный фрагмент ЦАСМ с наличием случайных параметров и альтернативных ветвлений на входе или на выходе некоторых событий и работ.

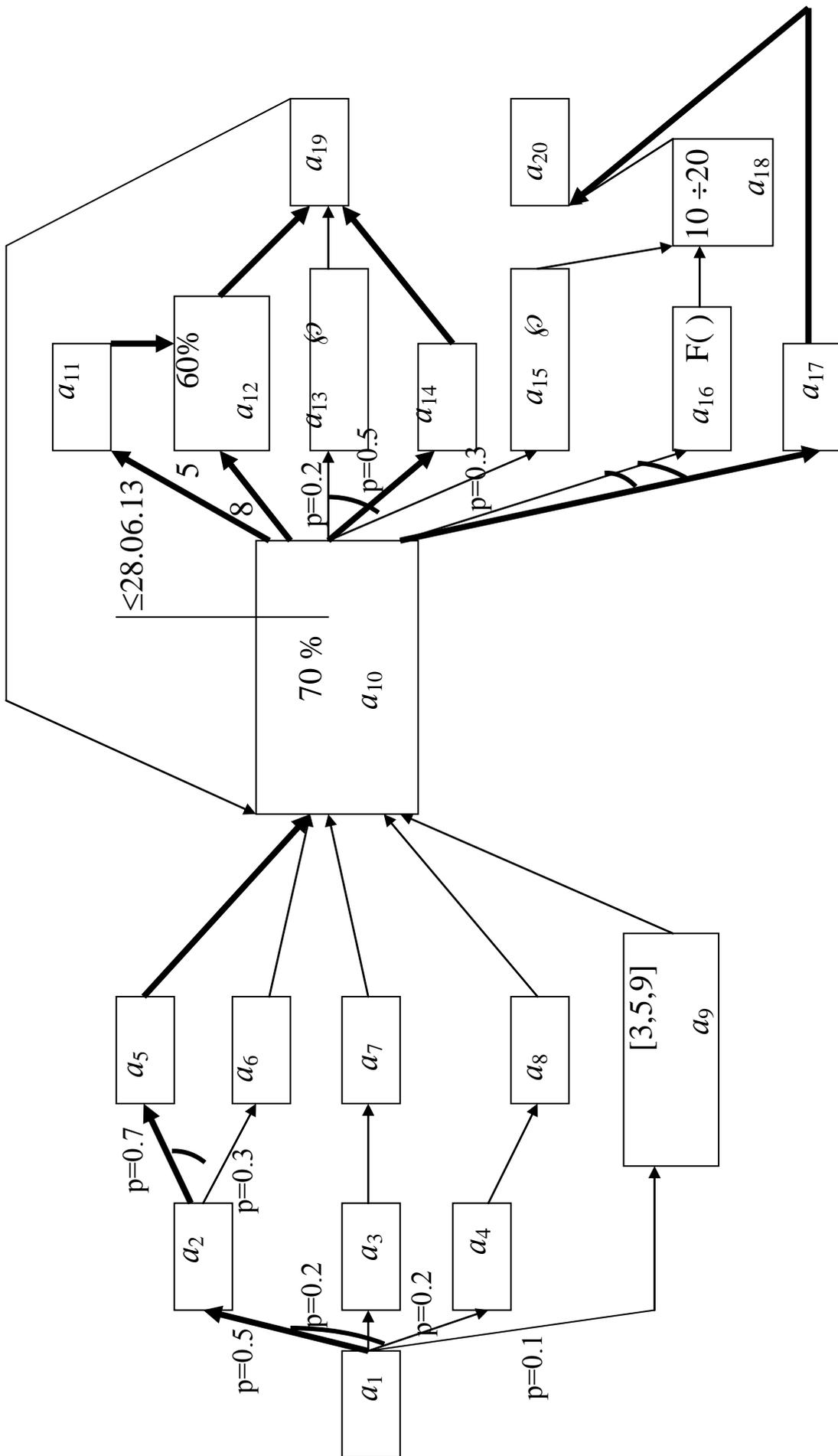


Рис. 20. Фрагмент циклической альтернативной сетевой модели (ЦАСМ)

Дадим пояснения этому фрагменту:

$a_i$  – работа. Левый край прямоугольника (с работой  $a_i$ ) обозначает событие начала работы, правый край – окончания работы.

[3,5,9] – обозначает детерминированный выбор длительности работы из множества 3, 5, 9. В частном случае одна цифра обозначает фиксированную длительность.

10÷20 задает диапазон значений продолжительности работы (для применения «двухоченочной» методики).

∅ – обозначает, что длительность работы есть случайная величина с указанным законом распределения (нормальный,  $\beta$ -распределение, равномерный и др.).

F( ) – обозначает, что длительность работы является функцией от набора аргументов (например, зависимость продолжительности от выработки бригады или интенсивности работ и др.).

≤28.06.13 – означает, что событие «70% выполнения работы» должно быть завершено к 28 июня 2013 года.

Стрелка (дуга) задает связь между событиями:

- положительное число над дугой определяет связь типа «не ранее»,
- отрицательное число задает связь типа «не позднее».

Например:

- Начало работы  $a_{11}$  должно наступить не ранее 5 дней после окончания работы  $a_{10}$ .
- Окончание работы  $a_{19}$  должно наступить не позднее 120 дней после начала работы  $a_{10}$ .

Стрелка между работами  $a_{11}$  и  $a_{12}$  показывает, что к моменту окончания работы  $a_{11}$  должно быть выполнено не менее 60% работы  $a_{12}$ .

Пучок стрелок, связанных дугой, задает альтернативность события:

- Одной дугой показывается альтернативность типа «стохастическое исключающее ИЛИ»,

- двойной дугой – «детерминированное исключяющее ИЛИ».

Например:

- после окончания работы  $a_1$  наступит начало только одной из четырех работ  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  или  $a_9$  на основе случайного выбора с указанными вероятностями (0.5, 0.2, 0.2, 0.1);
- после окончания работы  $a_{10}$  будет начата только одна из работ  $a_{16}$  или  $a_{17}$  на основе детерминированного выбора менеджера проекта.

Путь, состоящий из жирных стрелок, показывает один из возможных вариантов реализации данного фрагмента ЦАСМ.

## 3.2 Задачи временного анализа ЦАСМ

### 3.2.1 Определения

Задачи временного анализа ЦАСМ (и алгоритмы их решения) так же, как и временной анализ классических, обобщенных или стохастических сетевых моделей, лежат в основе решения всех задач планирования и управления проектом. Они имеют самостоятельное значение при решении задач управления проектом без учета ограничений на ресурсы.

Задачи временного анализа также необходимы для генерирования различных вариантов плана при определенных значениях вектора наличия ресурсов с целью их последующего сопоставления, оценки качества вариантов плана и выбора направления его дальнейшего улучшения.

При решении задач оптимального планирования работ при управлении проектами алгоритмы временного анализа ЦАСМ применяются как инструмент для вычисления необходимых параметров, используемых в соответствующих оптимизационных алгоритмах с целью обеспечения выполнения ограничений технологического характера.

Задача временного анализа ЦАСМ сводится к нахождению случайного вектора  $T=(T_0, T_1, \dots, T_n)$ , где  $T_i$  есть время свершения  $i$ -го события,

координаты которого удовлетворяют неравенствам (3.1.1)–(3.1.2) и обращают в экстремум некоторую целевую функцию  $f(T)$ .

Выделены три класса задач временного анализа:

- классические, в которых для вычисления  $\{T_i\}$  используются математические ожидания продолжительностей всех дуг;

- вероятностные, в которых на основании предельной теоремы Ляпунова или другими аналитическими средствами вычисляются математические ожидания сроков свершения  $i$ -х событий –  $\{MT_i\}$ , являющиеся аргументами целевой функции  $f(T)$ ;

- статистические, в которых для заданного уровня достоверности  $p$  по методу статистического моделирования, описанного в 1.3, определяются  $p$ -квантильные оценки эмпирических распределений как сроков свершения  $i$ -х событий –  $\{W_p(T_i)\}$ , так и производных от них величин, в том числе и значений целевой функции  $f(W_p(T))$ , где  $W_p(T) = \{W_p(T_0), W_p(T_1), \dots, W_p(T_n)\}$ .

Вводится понятие непротиворечивости ЦССМ.

Циклическая альтернативная сетевая модель называется непротиворечивой, если найдется хотя бы один допустимый план, вычисленный для соответствующего класса задач временного анализа (классического, вероятностного или статистического), удовлетворяющий системе неравенств (3.1.1) – (3.1.2). Разберем эти три понятия.

### 3.2.2 Классическая непротиворечивость модели

Вычисляются математические ожидания продолжительностей всех дуг, после чего образуется сеть с постоянными длинами дуг. Учитывая стохастический характер рассматриваемой модели и наличие обобщенных связей, в ЦАСМ после проведенных выше вычислений могут иметь место стохастические и детерминированные контуры.

*Лемма 1.* Для любого наперед заданного доверительного уровня  $\alpha$  наличие стохастического контура не приводит к противоречивости модели,

а именно, мы можем утверждать, что с вероятностью  $\alpha$  модель будет непротиворечивой.

*Доказательство.*

Пусть задан контур  $K(i)$  и вероятность прохождения по нему  $P(i/i) < 1$ . Вероятность выхода из контура при  $k$ -кратном прохождении по нему вычисляется по формуле  $1 - P_k(i/i)$ . Отсюда определим количество  $k$  возможных проходов по контуру, после которого мы с вероятностью  $\alpha$  из него выходим:  $\alpha = 1 - P_k(i/i)$ , следовательно

$$k = \ln(1 - \alpha) / \ln P(i/i). \quad (3.2.1)$$

Например, при  $\alpha = 0.95$  и  $P(i/i) = 0.4$  получаем  $k \approx 3$ , т.е. после трехкратного прохождения по контуру мы выйдем из него с вероятностью 0.95. При определении допустимого (с вероятностью  $\alpha$ ) срока свершения события  $j$ , отождествляемого с выходом из контура, к длине пути, проходящего через событие  $i$  до события  $j$ , необходимо добавить величину  $kL(K(i))$ , где  $L(K(i))$  длина контура  $K(i)$ .

*Лемма 2.* Чтобы циклическая альтернативная сетевая модель, в которой продолжительности дуг вычислены по классической схеме, была непротиворечивой, необходимо и достаточно, чтобы длины всех детерминированных контуров (при отсутствии стохастических) были не положительны, т.е.  $L(K(i)) \leq 0$ , для всех “контурных”  $i$ .

*Доказательство.*

Если продолжительности дуг вычислены по классической схеме и отсутствуют стохастические контура, то мы получаем обобщенную сетевую модель, для которой доказательство утверждения, содержащегося в лемме 2, проведено достаточно строго в [42].

*Теорема 1.* Для того чтобы циклическая альтернативная сетевая модель, в которой продолжительности дуг вычислены по классической схеме, была непротиворечивой с заданной вероятностью  $\alpha$ , необходимо и достаточно, чтобы длины всех детерминированных контуров были не положительны.

Доказательство теоремы непосредственно следует из совместного применения леммы 1 и леммы 2.

### 3.2.3 Вероятностная непротиворечивость модели

Вычисляются аналитическим способом математическое ожидание  $MT_i$  и дисперсия  $\sigma^2 T_i$  сроков свершения событий. Вычисленные подобным способом параметры на 15–20% отличаются по величине от вычисленных классическим способом (по математическим ожиданиям продолжительностей дуг).

Будем говорить о вероятностной непротиворечивости модели в среднем, если полученный таким образом набор удовлетворяет неравенствам (3.1.1)–(3.1.2), где в качестве значения  $\psi_{ij}$  взято ее математическое ожидание.

*Теорема 2.* Для того чтобы циклическая альтернативная модель была вероятностно непротиворечивой в среднем, необходимо и достаточно, чтобы математические ожидания длин всех детерминированных контуров были не положительны.

*Доказательство.*

Пусть  $K(i)$  контур и  $ML(K(i))$  математическое ожидание его длины. Тогда производящая функция моментов для контура  $K(i)$  есть  $M_{ii}(s) = e^{sML(K(i))}$ . Первая производная  $M_{ii}(s)$  по  $s$  при  $s=0$  (характеризующая математическое ожидание длины контура) есть функция нечетная относительно знака длины контура. Следовательно, в этом же смысле нечетна и функция  $\Psi_{ii}(s) = p_{ii}M_{ii}(s)$ , где  $p_{ii}$  вероятность «входа» в контур, а  $p_b = 1 - p_{ii}$  вероятность «выхода» из него. Так как производящая функция эквивалентного фрагмента (рис. 12) есть

$$\Psi_{ij}(s) = \Psi_b(s) / (1 - \Psi_{ii}(s)), \quad (3.2.2)$$

то при  $p_{ii} < 1$  получаем:

$$p_{ij} = \Psi_{ij}(0) = \Psi_b(0) / (1 - \Psi_{ii}(0)) = (1 - p_{ii}) / (1 - p_{ii}) = 1, \quad (3.2.3)$$

т.е. из стохастического контура мы выходим с вероятностью 1.

Для определения математического ожидания длины эквивалентного фрагмента вычислим первый момент от (3.2.2) в точке  $s=0$ :

$$\mu_1(j/i)=[p_b(1-p_{ii})ML(i,j)+p_b p_{ii}ML(K(i))]/(1-p_{ii})^2=ML(i,j)+ML(K(i))[p_{ii}/(1-p_{ii})]. \quad (3.2.4)$$

Таким образом, для определения среднего срока свершения события  $j$ , отождествляемого с выходом из контура, к длине пути, проходящего через событие  $i$  до события  $j$ , необходимо добавить величину  $\delta L(K(i))$ , где  $L(K(i))$  длина контура  $K(i)$ , а  $\delta=[p_{ii}/(1-p_{ii})]$ .

Если же контур детерминированный ( $p_{ii}=1$ ), то при положительных значениях  $\Psi_{ii}(s)$  и ее производной из (3.2.4) мы получаем невозможность выхода из контура (бесконечность длины эквивалентного фрагмента). При неположительной длине контура  $ML(K(i))$  мы имеем вероятность выхода из него, равную 1, и длину эквивалентной дуги, лежащую в пределах от  $ML(i,j)$  до  $ML(i,j)+|ML(K(i))|$ .

В предположении, что  $T_i$  имеют нормальное распределение с параметрами: математическое ожидание –  $MT_i$  и дисперсия –  $\sigma^2 T_i$ , введем более широкое понятие  $\varepsilon$ -вероятностная непротиворечивость модели.

Будем говорить, что ЦАСМ  $\varepsilon$ -вероятностно непротиворечива, если существует  $\varepsilon > 0$ , такое, что для всех  $T_i$ , удовлетворяющих неравенству  $|T_i - MT_i| < \varepsilon$ , справедливы соотношения (3.1.1)-(3.1.2).

*Теорема 3.* Для того, чтобы циклическая альтернативная модель была  $\varepsilon$ -вероятностно непротиворечивой, необходимо и достаточно, чтобы математические ожидания длин всех детерминированных контуров удовлетворяли соотношению  $ML(K(i)) \leq -4\varepsilon$ . Вероятностная непротиворечивость модели в среднем является частным случаем  $\varepsilon$ -вероятностной непротиворечивости при  $\varepsilon=0$ .

*Доказательство.*

Пусть  $K(i)$  контур и  $ML(K(i))$  математическое ожидание его длины.

Выделим в контуре “положительный путь” и “обратную” дугу, и, не теряя общности, сделаем эквивалентное преобразование данного фрагмента сети, приведя его к виду, представленному на рис. 21.

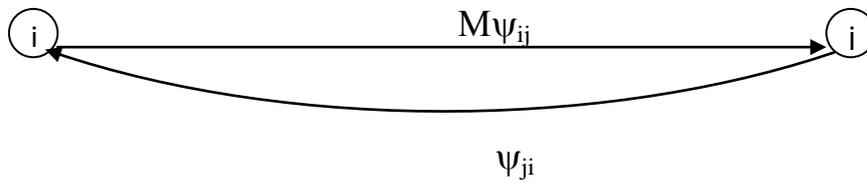


Рис. 21. Контур (фрагмент)

Здесь  $M\psi_{ij}$  – математическое ожидание «положительной» части контура  $K(i)$ .

Пусть для  $T_i$  и  $T_j$ , удовлетворяющих неравенствам:

$$|T_i - MT_i| < \varepsilon, |T_j - MT_j| < \varepsilon, \quad (3.2.5)$$

справедливы соотношения (3.1.1), тогда они справедливы для крайних значений  $T_i$  и  $T_j$ , минимизирующих левую часть (3.2.5), т.е. для  $T_i = MT_i \pm \varepsilon$  и  $T_j = MT_j \pm \varepsilon$ :

$$MT_j - \varepsilon - (MT_i + \varepsilon) \geq M\psi_{ij} \text{ и } MT_i - \varepsilon - (MT_j + \varepsilon) \geq M\psi_{ji}. \quad (3.2.6)$$

Складывая неравенства, получаем

$$-4\varepsilon \geq M\psi_{ij} + M\psi_{ji} \approx ML(K(i)),$$

что доказывает необходимость утверждения теоремы 3.

Для доказательства достаточности положим  $T_j = T_i + M\psi_{ij}$ . Неравенство (3.1.1) для дуги  $(i,j)$  выполнено. Имеем  $T_i - T_j = -M\psi_{ij}$ .

Так как  $M\psi_{ij} + M\psi_{ji} \approx ML(K(i)) \leq -4\varepsilon$ , то  $-M\psi_{ij} \geq 4\varepsilon + M\psi_{ji} \geq M\psi_{ji}$ , откуда следует справедливость неравенства (3.1.1) для дуги  $(j,i)$ .

Приведем небольшой числовой пример, иллюстрирующий справедливость теоремы 3. Пусть для фрагмента сети, представленного на рис. 12,  $MT_i = 50$ ,  $MT_j = 100$ . Примем  $\varepsilon = 1$  (один день). Соотношение (3.1.1) для дуги  $(i,j)$  должно выполняться для всех  $T_i$  и  $T_j$ , удовлетворяющих неравенствам (3.2.5), а значит и для тех, которые минимизируют левую часть в (3.2.5), т.е. для  $T_i = 50 + 1 = 51$  и  $T_j = 100 - 1 = 99$ . Отсюда следует, что должно выполняться неравенство  $M\psi_{ij} \leq T_j - T_i = 99 - 51 = 48$ . С другой

стороны, рассматривая “обратную” дугу (j,i), и рассуждая аналогично, имеем справедливость (3.2.5) для дуги (j,i) при  $T_i=50 - 1=49$  и  $T_j =100 + 1=101$ . Следовательно, также должно выполняться неравенство:

$$M\psi_{ji} \leq T_i - T_j = 49 - 101 = -52.$$

Складывая полученные неравенства, окончательно получаем требуемое соотношение:

$$M\psi_{ij} + M\psi_{ji} \approx ML(K(i)) \leq 48 - 52 = -4 = -4\varepsilon.$$

Вероятностная непротиворечивость модели в среднем является частным случаем  $\varepsilon$ -вероятностной непротиворечивости при  $\varepsilon=0$ .

### 3.2.4 Статистическая непротиворечивость модели.

При статистическом методе расчета параметров сетевой модели мы имеем дело с их  $p$ -квантильными оценками значений, которые являются теоретико-вероятностными аналогами соответствующих показателей. Говорится, что циклическая альтернативная модель статистически непротиворечива с вероятностью  $p$ , если для каждого события  $i$  существуют  $p$ -квантильные оценки сроков свершения событий  $W_p(T_i)$ , удовлетворяющие неравенствам:

$$W_p(T_j) - W_p(T_i) \geq W_p(\psi_{ij}), \quad (3.2.7)$$

$$l_i \leq W_p(T_i) \leq L_i. \quad (3.2.8)$$

Здесь соотношения (3.2.7)–(3.2.8) являются вероятностными аналогами (3.1.1)–(3.1.2),  $W_p(\psi_{ij})$  есть  $p$ -квантильная оценка длины дуги  $(i,j)$ . Справедливо следующее утверждение:

*Теорема 4.* Для того, чтобы циклическая альтернативная модель была статистически непротиворечивой с вероятностью  $p$ , необходимо и достаточно, чтобы  $p$ -квантильные оценки длин всех детерминированных контуров удовлетворяли соотношению  $W_p(L(K(i))) \leq 0$ .

*Доказательство.*

После вычисления  $p$ -квантильных оценок вероятностная модель превращается в обобщенную сетевую модель, а для нее утверждение теоремы 4 справедливо [42].

### 3.3 Алгоритмы расчета временных параметров ЦССМ

#### 3.3.1 Планы ранних и поздних сроков.

Для расчета ранних и поздних сроков свершения событий предлагается модифицированный алгоритм «Маятник» (рис.22).

Идея модификации заключается в синтезе статистического метода расчета параметров, применяемого для вероятностных сетей, и алгоритма «Маятник», используемого в обобщенных сетях, и последующего применения его для ЦАСМ.

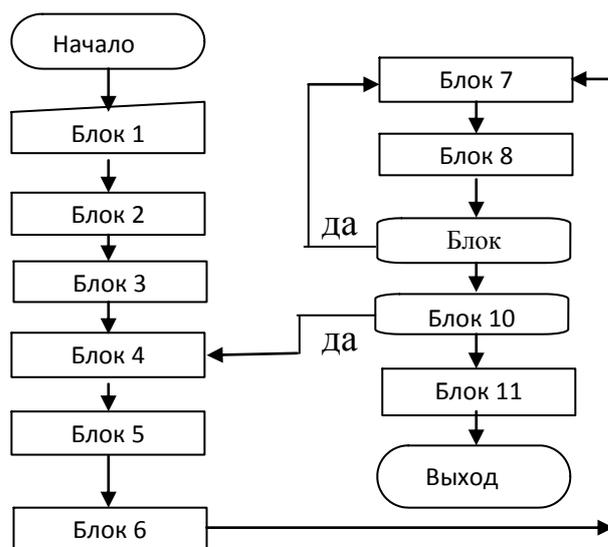


Рис.22. Принципиальная блок-схема алгоритма для расчета  $p$ -квантильных оценок ранних сроков свершения событий

Блок 1. Ввод исходных данных (коэффициентов матрицы  $A$ , параметров распределения  $\psi_{ij}$ , уровня достоверности  $p$ ).

Блок 2. Вычисление необходимого числа «розыгрышей»  $N$  для обеспечения заданной точности результатов. Прделанные расчеты показали, что при  $p=0.95$ ,  $\varepsilon=0.05$  получаем  $N \approx 270$ .

Блок 3.  $v:=v+1$  ( $v$  – номер «розыгрыша»).

Блок 4. Розыгрыш  $v$ -го варианта случайных величин  $\psi_{ij}$ , каждой в соответствии с ее законом распределения, получение констант  $\psi_{ij}(v)$  – длина дуги  $(i,j)$  при  $v$ -м розыгрыше.

Блок 5. Розыгрыш для каждой альтернативной вершины  $i$  перехода в смежную вершину  $j$  (разыгрывается дискретная случайная величина  $p_{ij}$ , представленная  $i$ -й строкой матрицы смежности  $A$ ,  $0 < p_{ij} < 1$  и  $\sum_j p_{ij} = 1$ ). Выбранная дуга помечается, остальные из графа исключаются. Если в полученном графе образовался контур  $K(i)$ , содержащий хотя бы одну помеченную дугу, это есть стохастический контур, вычисляем его длину  $L(v)K(i)$  и опять для вершины  $i$  разыгрываем дискретную случайную величину  $p_{ij}$ . В соответствие с доказанной в работе леммой 1 один и тот же стохастический контур при заданном уровне достоверности  $p$  может образоваться не более  $k$  раз, где  $k$  оценивается по соответствующей формуле.  $k$ -кратную длину контура прибавляем к длине дуги, которую мы «разыграли» на  $(k+1)$ -м шаге и переходим к анализу другого стохастического контура (если он есть). При этом могут образоваться противоречия в сети (положительные детерминированные контуры), тогда в соответствие с приведенными в работе формулами прибавляем  $\delta$ -кратную длину контура, оценивая тем самым время свершения «выходного» из контура события в среднем.

Блок 6. Полученную детерминированную обобщенную сеть  $G(v)$  разбиваем на две сети  $G_1(v)$  и  $G_2(v)$ , так, чтобы ни  $G_1(v)$ , ни  $G_2(v)$  не содержали контуров. Вершины в сети  $G_1(v)$  упорядочиваем по рангам и в соответствие с ними устанавливаем «правильную» нумерацию. Переносим эту нумерацию на сеть  $G_2(v)$  и на исходную сеть  $G(v)$ .

Блок 7. Для всех вершин  $i$  сети  $G_1(v)$  вычисляем ранние сроки свершения

$$T_i^{0(v)} := \max_j \{T_i^{0(v)}, T_j^{0(v)} + \psi_{ij}^{(v)}\}.$$

Блок 8. Прodelываем процедуры, аналогичные блоку 7, для вершин сети  $G_2(v)$ .

Блок 9. Если результаты блоков 7 и 8 хоть на одном показателе не совпадают, то возвращаемся к блоку 7 (таких возвратов не более чем число обратных дуг в  $G_2(v)$ ), иначе блок 10.

Блок 10. Если номер розыгрыша  $v \leq N$ , то переходим к блоку 4, иначе к блоку 11.

Блок 11. Из полученной совокупности  $\{T_i^{0(v)}\}$  для каждой вершины  $i$  строим вариационный ряд. Фиксируем такое значение  $T_i^{0(\xi)}$ , что  $N_\xi/N = p$ , где  $N_\xi$  – число членов вариационного ряда, меньших  $T_i^{0(\xi)}$ . Величина  $T_i^{0(\xi)}$  является искомым  $p$ -квантилем раннего срока свершения  $i$ -го события –  $W_p(T_i^0)$ . Аналогично, по вариационным рядам  $\{\psi_{ij}(v)\}$  строим  $p$ -квантильные оценки длин дуг –  $W_p(\psi_{ij})$ .

На вход блока 6 поступает  $v$ -й вариант обобщенной сетевой модели  $G(v)$ , и, собственно, блоки 6–9 представляют собой укрупненную блок-схему алгоритма «Маятник» для вычисления ранних сроков свершения событий в ОСМ. Применяя соответствующий алгоритм для вычисления поздних сроков свершения событий в блоках 7 и 8, мы получаем  $T_i^{1(v)}$  – поздние сроки свершения событий для  $v$ -го варианта обобщенной сетевой модели, при этом блок 11 нам дает  $W_p(T_i^1)$  –  $p$ -квантильные оценки поздних сроков свершения событий.

Планы минимальной продолжительности.

Продолжительность  $L(T(v))$  любого допустимого плана  $T(v) = \{T_i(v)\}$   $v$ -го варианта сети  $G(v)$  определяется по формуле:

$$L(T(v)) = \max_{ij} |T_i(v) - T_j(v)|. \quad (3.3.1)$$

Заменяя в блок-схеме на рис.13 блоки 6–9 на блок нахождения минимума функции (3.3.1), получаем план минимальной продолжительности для сети  $G(v)$  (или «сжатый» план). Величина

$$L(T^*(v)) = \min \max_{ij} |T_i(v) - T_j(v)| \quad (3.3.2)$$

является критическим временем сети  $G(v)$ .

Используя в блоках 6-9 метод нахождения сжатого плана для ОСМ и пропуская полученные планы через блок 11, получаем вероятностные  $p$ -квантильные оценки сжатых планов.

Резервам времени для работы  $(i,j)$  соответствуют их  $p$ -квантильные аналоги, вычисляемые по формулам:

$$R_p^n(i,j) = W_p(T_j^1) - W_p(T_i^0) - W_p(\psi_{ij}) \quad (3.3.3)$$

для полного резерва,

$$R_p^c(i,j) = W_p(T_j^0) - W_p(T_i^0) - W_p(\psi_{ij}) \quad (3.3.4)$$

для свободного резерва.

По соответствующим формулам вычисляются  $p$ -квантильные коэффициенты напряженности работ  $W_p(k_n(i,j))$ , затем определяются  $p$ -квантильная критическая зона,  $p$ -квантильная зона резервов и  $p$ -квантильная промежуточная зона.

### 3.3.2 Определение необходимого числа испытаний

Число испытаний  $N$  определяется сходимостью по вероятности статистических характеристик исследуемых параметров. Оценкой математического ожидания  $h$ -го временного параметра сети  $MT^h$  является его среднее значение  $\bar{T}^h = \frac{\sum_{i=1}^N T_i^h}{N}$ , а дисперсия  $DT^h$  имеет оценку  $S^2[T^h] = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i^h - \bar{T}^h)^2}{N}$ . Тогда для определения потребного количества «розыгрышей», обеспечивающего выполнения условия

$$P\{|\bar{T}^h - MT^h| < \varepsilon\} \geq \alpha, \quad (3.3.5)$$

где  $\alpha$  есть заданный коэффициент доверия, а  $\varepsilon$  – необходимая точность оценки, можно применить соотношение:

$$N \geq \frac{\Phi^{-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right) S^2[T^h]}{\varepsilon^2}. \quad (3.3.6)$$

Вывод этого соотношения основан на применении центральной предельной теоремы и подробно приведен в [51].

Таким образом, данное количество  $N$  “розыгрышей” обеспечивает с вероятностью  $\alpha$  отклонение среднего значения наблюдаемого показателя от его математического ожидания не более чем на  $\varepsilon$ .

Аналогичным образом выводится соотношение для требуемого количества “розыгрышей”  $N_\sigma$ , обеспечивающего заданную точность  $\varepsilon_\sigma$  оценки среднеквадратического отклонения  $\sqrt{DT^h} = \sigma(T^h)$ :

$$N_\sigma = \frac{\Phi^{-1}\left(\frac{\alpha}{2}\right) S^2 [T^h]}{2\varepsilon_\sigma^2}. \quad (3.3.7)$$

Используя теорему Муавра-Лапласа, были получены оценки необходимого числа испытаний для классификации работ на напряженные и резервные с коэффициентом доверия  $\alpha$ :

$$N_m \geq \frac{[\Phi^{-1}(\alpha)]^2 p_m(1-p_m)}{\varepsilon^2}. \quad (3.3.8)$$

Здесь  $m=1,2$  и доверительный интервал коэффициента напряженности  $(p_1-\varepsilon, 1)$  определяет “напряженную” зону, а интервал  $(0, p_2+\varepsilon)$  задает резервную.

Оценка количества необходимых испытаний может быть получена также на основе применения критерия Колмогорова. Задается вероятность  $p$ , с которой функция распределения генеральной совокупности должна лежать внутри построенных по данным выборки пределов. Используя соотношение:

$$p = P\{\max|F_N(x) - F(x)| < \lambda/\sqrt{N}\} = K(\lambda), \quad (3.3.9)$$

где  $K(\lambda)$  есть функция Колмогорова,  $F_N(x)$  – эмпирическая, а  $F(x)$  – теоретическая функция распределения исследуемого параметра, и, обозначая  $\varepsilon = \max|F_N(x) - F(x)|$ , получаем:

$$N \geq \frac{[K^{-1}(p)]^2}{\varepsilon^2}. \quad (3.3.10)$$

### 3.3.3 Пример циклической альтернативной сети

В качестве примера рассмотрим процесс переработки некоторого сырья для получения требуемого продукта [182]. Ставится задача определения средней величины и дисперсии времени его получения.

На рис. 23 приведена циклическая альтернативная сеть, моделирующая процесс переработки сырья в требуемый продукт.

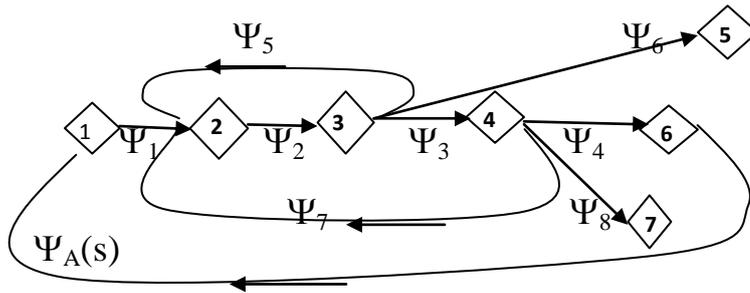


Рис. 23. Циклическая альтернативная модель

В табл. 19 содержится информация о каждой дуге (работе) сети.

Например, после выхода из печи (событие 3) продукт либо вновь поступает в печь с вероятностью 0.12 (работа (3,2)), либо используется как продукт низкого качества с вероятностью 0.03 (работа (3,5)), либо проходит обработку слоями с вероятностью 0.85 (работа (3,4)).

Параметры работ (1,2), (3,5), (4,6), (4,7), (4,2) вычислены по статистической схеме и представляют собой  $p$ -квантильные оценки продолжительности с уровнем достоверности  $p=0.95$ .

Таблица 19

#### Характеристики операций процесса переработки сырья

Дуга	Содержание операции	$P$	Тип распределения	Параметры	Производящая функция
(1,2)	Подача сырья	1	Const	$a=1$	$\exp(1s)$
(2,3)	Обработка в печи	1	Нормальн	$m=0.5$ $\sigma=0.1$	$\exp(0.5s+0.01s^2/2)$
(3,2)	Возврат для повтора	0.12	Нормальн	$m=0.1$ $\sigma=0.1$	$\exp(0.1s+0.01s^2/2)$
(3,5)	Низкое качество	0.03	Const	$a=0,25$	$\exp(0.25s)$

(3,4)	Разработка слоями	0.85	Нормальн	$m=0.25$ $\sigma=0.2$	$\exp(0.25s+0.04s^2/2)$
(4,6)	Требуемый продукт	0.75	Const	$a=0.2$	$\exp(0.2s)$
(4,7)	Отходы после слоев	0.05	Const	$a=0.05$	$\exp(0.05s)$
(4,2)	Возврат для повтора	0.20	Const	$a=0.1$	$\exp(0.1s)$

Нас интересуют характеристики события 6, поэтому вводим дугу (6,1) с  $\Psi_A(s)=1/\Psi_E(s)$  и составляем топологическое уравнение в виде

$$1 - \Psi_1\Psi_2\Psi_3\Psi_4(1/\Psi_E) - \Psi_2\Psi_5 - \Psi_2\Psi_3\Psi_7 = 0. \quad (3.3.11)$$

Как мы видим, при решении данной задачи дуги (3,5) и (4,7) не использовались, в сети имеются три петли только первого порядка.

Решая топологическое уравнение (3.3.11) относительно  $\Psi_E$ , получаем

$$\Psi_E(s) = \Psi_1\Psi_2\Psi_3\Psi_4 / (1 - \Psi_2\Psi_5 - \Psi_2\Psi_3\Psi_7). \quad (3.3.12)$$

Подставляя в (3.3.12) вместо каждой  $\Psi$ -функции значения из таблицы 19 (произведение соответствующей вероятности и производящей функции моментов), получаем:

$$\Psi_E(s) = 0.6375 \exp(1.95s + 0.025s^2) / (1 - 0.12 \exp(0.6s + 0.01s^2) - 0.17 \exp(0.85s + 0.025s^2)).$$

Вероятность изготовления требуемого продукта есть  $p_E = \Psi_E(0) = 0.8979$ . Используя (3.3.11), находим  $M_E(s)$ , затем вычисляем первую и вторую частную производную по  $s$  функции  $M_E(s)$  в точке  $s=0$

$$\mu_{1E} = \partial/\partial s [M_E(s)]_{s=0} = 2.255,$$

$$\mu_{2E} = \partial^2/\partial s^2 [M_E(s)]_{s=0} = 5.477,$$

$$\sigma^2 = \mu_{2E} - (\mu_{1E})^2 = 0.392.$$

Таким образом, математическое ожидание времени изготовления требуемого продукта равно 2.255, а дисперсия равна 0.392. С помощью аналогичных вычислений могут быть определены характеристики состояний 5 и 7.

### **3.4 Универсальные сетевые модели с использованием нечеткой логики**

#### **3.4.1 Основные понятия**

Для дальнейшего успешного применения математических методов в качестве инструмента для анализа все более сложных проектов в условиях риска и неопределенности необходимо создание средств более точного учета нечетких представлений и суждений людей в математических моделях. В этой связи представляется целесообразным использовать новое направление в прикладной математике, связанное с именем видного американского математика Л.А. Заде [70] и получившее название теории нечетких множеств. Лежащее в основе этой теории понятие нечеткого множества предлагается в качестве средства математического моделирования неопределенных понятий, которыми оперирует человек при описании своих представлений о реальном проекте, своих желаний, целей и т.п. Нечеткое множество – это математическая модель класса с нечеткими или, иначе, размытыми границами. В этом понятии учитывается возможность постепенного перехода от принадлежности к непринадлежности элемента множеству. Иными словами, элемент может, вообще говоря, иметь степень принадлежности множеству, промежуточную между полной принадлежностью и полной непринадлежностью. Основополагающая работа Л.А. Заде «Fuzzy Sets» была опубликована в 1965 году. К настоящему времени работы, посвященные многообразным аспектам этой теории и ее приложений, исчисляются сотнями.

Данный параграф диссертации посвящен одному из важных направлений применения данного подхода – проблеме принятия решений при нечеткой исходной информации. По сути дела, в ней анализируются некоторые математические модели управления проектами, в которых исходная информация описана в терминах нечетких множеств и отношений в смысле Л.А. Заде. В нашем понимании математический анализ задачи или ситуации принятия решений заключается в «отбраковке» нерациональных

альтернатив или вариантов, т.е. в том, чтобы, используя математические средства для обработки всей имеющейся информации, сузить множество возможных вариантов или альтернатив, отбросив те из них, для которых имеются заведомо более приемлемые варианты или альтернативы.

Прежде чем приступить к описанию и анализу сетевых моделей с учетом нечеткой исходной информации, изложим основы математического аппарата теории нечетких множеств и отношений, опираясь главным образом на работы Л. А. Заде [70]. Вводимые здесь определения, операции над нечеткими множествами, отображения нечетких множеств и их свойства составляют математическую основу рассматриваемых ниже способов построения таких моделей и обработки нечеткой исходной информации.

Отметим, что в эту главу включены главным образом лишь те сведения, которые потребуются в дальнейшем при формулировке и анализе задач принятия решений при управлении проектами.

### **3.4.2 Определение нечеткого множества и терминология.**

В традиционной прикладной математике множество понимается как совокупность элементов (объектов), обладающих некоторым общим свойством. Например, множество чисел, не меньших заданного числа, множество векторов, сумма компонент каждого из которых не превосходит единицы, и т.п. Для любого элемента при этом рассматриваются лишь две возможности: либо этот элемент принадлежит данному множеству (т.е. обладает данным свойством), либо не принадлежит данному множеству (т.е. не обладает данным свойством).

Один из простейших способов математического описания нечеткого множества – характеристика степени принадлежности элемента множеству числом, например, из интервала  $[0, 1]$ . Пусть  $X$  – некоторое множество (в обычном смысле) элементов. В дальнейшем мы будем рассматривать подмножества этого множества, называемого *универсум*.

Нечетким множеством  $A$  в  $X$  называется совокупность пар вида  $(x, \mu_A(x))$ , где  $x \in X$ , а  $\mu_A$  – функция  $X \rightarrow [0,1]$ , называемая функцией принадлежности нечеткого множества  $A$ . Значение  $\mu_A(x)$  этой функции для конкретного  $x$  называется степенью принадлежности этого элемента нечеткому множеству  $A$ .

Как видно из этого определения, нечеткое множество вполне описывается своей функцией принадлежности, поэтому ниже мы часто будем использовать эту функцию как обозначение нечеткого множества.

Причем 0 и 1 представляют собой соответственно низшую и высшую степень принадлежности элемента к определенному подмножеству.

В отличие от классической теории множеств функция принадлежности для нечетких множеств становится единственно возможным средством их описания. С формальной точки зрения нет необходимости различать нечеткое множество и его функцию принадлежности.

Численное значение функции принадлежности характеризует степень принадлежности элемента некоторому нечеткому множеству, являющемуся в выражении естественного языка некоторой, как правило, элементарной характеристикой модели (продолжительности работы, вероятности наступления события, численности исполнителей и т.д.).

Л. Заде ввел понятие *лингвистической переменной*, значениями которой являются слова и предложения естественного языка, которые описываются нечеткими значениями. Например, лингвистическая переменная *Продолжительность работы* принимает в интервале  $[50,100]$  нечеткие значения *малая, ниже среднего, средняя, выше среднего, большая* и т.д.

*Пример 3.4.1.* Нечеткое множество, обозначаемое термином *большая Продолжительность работы*, можно определить функцией принадлежности (ее график см. на рис.24).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < 50, \\ (1 + (\frac{x-50}{5})^{-2})^{-1} & \text{при } 50 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

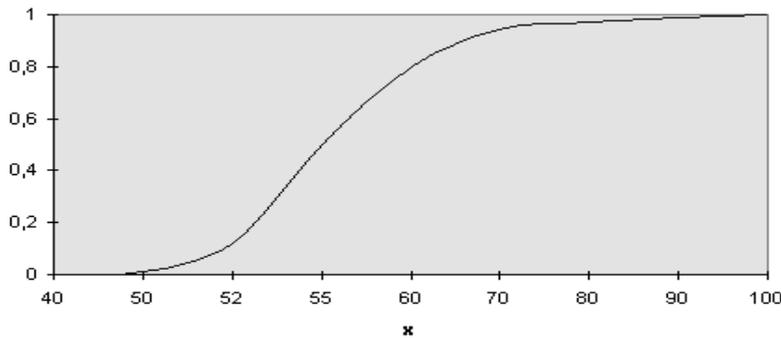


Рис. 24. Функция принадлежности для значений термина «большая»

Обычные множества составляют подкласс класса нечетких множеств. Действительно, функцией принадлежности обычного множества  $B \subset X$  является его характеристическая функция

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in B, \\ 0, & \text{если } x \notin B, \end{cases}$$

и обычное множество  $B$  можно также определить как совокупность пар вида  $(x, \mu_B(x))$ . Таким образом, нечеткое множество представляет собой более широкое понятие, чем обычное множество, в том смысле, что функция принадлежности нечеткого множества может быть, вообще говоря, произвольной функцией или даже произвольным отображением.

*Пример 3.4.2.* Для сравнения рассмотрим обычное множество чисел  $B = \{x: 0 \leq x \leq 2\}$  и нечеткое множество чисел  $C = \{x: \text{«значение } x \text{ близко к 1»}\}$ . Вид функции принадлежности  $\mu_C$  нечеткого множества  $C$  зависит от смысла, вкладываемого в понятие «близко» в контексте анализируемой ситуации. Функции принадлежности этих множеств могут быть представлены следующим образом:

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq x \leq 2, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$\mu_C(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1)^2}{2\sigma^2}}.$$

Здесь  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение  $x$  от 1, определяет степень близости к 1.

Операции объединения и пересечения нечетких множеств могут быть записаны в следующем виде:

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

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

Также определяются функции принадлежности для отрицания  $\bar{A}$  (дополнения до  $X$ )

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x),$$

разности

$$\mu_{A-B}(x) = \begin{cases} \mu_A(x) - \mu_B(x) & \text{при } \mu_A(x) \geq \mu_B(x), \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

и т.д. Теоретико-множественные отношения ассоциируются с высказываниями математической логики (ИЛИ  $\sim \cup$ , И  $\sim \cap$ ). При дальнейшем моделировании мы будем интенсивно использовать *импликацию (логическое следование)* двух высказываний  $A$  и  $B$ . Обозначения:  $A \rightarrow B$ . Читается: «если  $A$ , то  $B$ », В алгебре высказываний математической логики известно, что  $A \rightarrow B = \bar{A} \cup B$ . Таким образом, зная функции принадлежности отдельных простых высказываний, рассматриваемых как нечеткие множества, можно вычислять функцию принадлежности достаточно сложного композиционного высказывания.

Например, пусть имеются три элементарных высказывания  $A, B, C$  со своими функциями принадлежности  $\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x)$ . Если композиционное высказывание имеет вид «если  $A$  и  $B$ , то  $C$ », то его функция принадлежности вычисляется по формуле:

$$\mu_{A \cap B \rightarrow C}(x) = \mu_{\bar{A} \cup \bar{B} \cup C}(x) = \max((1 - \mu_A(x)), (1 - \mu_B(x)), \mu_C(x)).$$

Опираясь на наблюдения и личный опыт, каждый может убедиться, что если не все рассуждения человека, то большинство из них, по своей природе скорее приближенные, чем точные. Например, люди великолепно

справляются без больших затруднений с нечетким рассуждением следующего типа:

посылка:  $x$  мал,

посылка:  $x$  и  $y$  приблизительно равны,

---

вывод:  $y$  более или менее мал.

Этот процесс определения приближенного решения системы недостаточно определенных уравнений Заде назвал приближенным рассуждением.

Теорию нечетких множеств достаточно успешно применили для того, чтобы вывести стратегию лингвистического управления для комбинации парового двигателя и бойлера, используя эвристические правила, установленные человеком-оператором [145]. Другие исследователи [108,123] добились аналогичного успеха применительно к процессам, которые подчиняются сложным физическим законам. В условиях, характеризующихся большим, чем в предыдущих прикладных ситуациях участием человека в течение процесса управления, в работе [124] с помощью нечетких множеств построена модель, которая воспроизводит организационное поведение. В ряде последних работ [1,94,122] теория нечетких множеств применена при финансово-экономическом анализе предприятия, при расчете экономической эффективности инвестиционных проектов, для моделирования и анализа антикризисных ситуаций. В рамках конкретных контекстов эти различные исследования продемонстрировали, что приближенное рассуждение можно моделировать, а такое моделирование вместе с теорией Заде составляют общую методологию.

### **3.4.3 Использование теории нечетких множеств в сетевом моделировании**

При определении характеристик сетевой модели нечеткие условные высказывания, моделирующие рассуждения человека, дают методологию для непосредственного представления утверждений типа «Если погода

будет *хорошей*, то продолжительность работы должна быть *не большой*». Термины *хороший* и *не большой* в этом примере представляют собой значения лингвистических переменных «качество погоды» и «продолжительность работы». Отметим замечательное сходство этого нечеткого условного высказывания с вербальным протоколом. Привлекательность и сила этого подхода состоят в том, что, поскольку руководитель, по-видимому, мыслит нечеткими понятиями, то эвристическая модель, в которой используются лингвистические переменные, должна давать адекватную познавательную имитацию.

Теперь покажем, как составляются последовательности нечетких условных высказываний, образующие нечеткую модель. Обозначим через  $A$  результирующую переменную – *Продолжительность работы*;  $B, C, D$  – определяющие факторы (например, погода, объем финансирования, обеспеченность ресурсами). Пусть  $a_i, b_i, c_i, d_i$ , ( $i=0, 1, 2, \dots$ ) – значения (нечеткие множества) лингвистических переменных  $A, B, C, D$ , с универсумами  $U, V, W, X$ , соответственно. Рассмотрим следующую нечеткую посылку (условное предложение назначения), опирающуюся на переменные  $B, C, D$ , с результирующей переменной – заключением  $A$ .

$$\text{Если } B \text{ есть } b_1 \text{ И } C \text{ есть } c_1 \text{ И } D \text{ есть } d_1, \text{ ТО } A \text{ есть } a_1. \quad (3.4.1)$$

Если теперь  $B, C, D$  имеют значения  $b_0, c_0, d_0$ , то выводимое значение  $a_0$  результирующей переменной можно найти, используя композиционное правило выбора:

$$\begin{aligned} \mu_{a_0}(u) = \min(\mu_{a_1}(u); \min(\max(\min(\mu_{b_0}(v), \mu_{c_1}(v))), \\ \max(\min(\mu_{c_0}(w), \mu_{c_1}(w))), \max(\min(\mu_{d_0}(x), \mu_{d_1}(x)))))). \end{aligned} \quad (3.4.2)$$

Два или больше нечетких условных утверждения можно объединить связкой ИНАЧЕ, образуя нечеткие алгоритмы, где связка ИНАЧЕ моделируется оператором  $\max$ :

$$\begin{aligned} \text{Если } B \text{ есть } b_1 \text{ И } C \text{ есть } c_1 \text{ И } D \text{ есть } d_1, \text{ ТО } A \text{ есть } a_1 \text{ ИНАЧЕ} \\ \text{если } B \text{ есть } b_2 \text{ И } C \text{ есть } c_2, \text{ И } D \text{ есть } d_2, \text{ ТО } A \text{ есть } a_2. \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

Если значения  $b_0, c_0, d_0$  нечетких переменных посылки заданы, то значение результирующей переменной  $a_0$  можно вывести из уравнения

$$\begin{aligned} \mu_{a_0}(u) = & \max(\min(\mu_{a_1}(u); \min(\max(\min(\mu_{b_0}(v), \mu_{b_1}(v))), \\ & \max(\min(\mu_{c_0}(w), \mu_{c_1}(w))), \max(\min(\mu_{d_0}(x), \mu_{d_1}(x)))), \\ & \min(\mu_{a_2}(u); \min(\max(\min(\mu_{b_0}(v), \mu_{b_2}(v))), \max(\min(\mu_{c_0}(w), \mu_{c_2}(w))), \\ & \max(\min(\mu_{d_0}(x), \mu_{d_2}(x)))). \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

Обобщенные процедуры для объединения более двух утверждений назначения в отношениях состоят в очевидном обобщении уравнения (3.4.4).

В результате реализации нечеткого алгоритма, основанного на уравнении (3.4.4), может быть получена функция принадлежности нечеткого множества, представляющего ограничения на базовую переменную решения. Обычно в качестве решения, которое должно быть осуществлено, нужно выбрать одно значение. Таким образом, проблема состоит в том, чтобы нечеткое подмножество преобразовать в скаляр. По предложению Заде [70] логический критерий выбора состоит в том, чтобы в качестве решения выбирать такое значение базовой переменной, в котором функция принадлежности достигает максимального значения. Этот критерий успешно применялся в прикладных исследованиях. Однако, поскольку базовая переменная может достигать максимального значения принадлежности в нескольких точках своего универсума, то этот критерий не гарантирует однозначного решения.

### **3.4.4 Разработка нечетких алгоритмов для определения характеристик сетевой модели**

Алгоритм определения характеристик сетевой модели состоит из использования ряда утверждений (правил) об относительных значениях логических высказываний типа (3.4.1) и (3.4.3), при этом характеристики модели вычисляются по формулам (3.4.2) или (3.4.4).

Для того чтобы алгоритм определения характеристик сетевой модели сделать действенным, его необходимо «наполнить» утверждениями относительного назначения. Для этого, в частности, требуется:

- 1) включить достаточное число утверждений относительного назначения с тем, чтобы модель действительно описывала исследуемую проблему;
- 2) подобрать значения лингвистических переменных для утверждений относительного назначения.

Лингвистические переменные (обозначим их, например,  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$ ) – факторы, влияющие на определяемые характеристики (например, продолжительность работы – ПР) могут быть разные для разных типов проектов. Для определения продолжительности работ, это могут быть погода, объем финансирования, обеспеченность ресурсами, степень экологического риска, сложность местности, соответствие квалификации работников сложности проекта и пр.

Сначала нужно определить термы (нечеткие подмножества) для лингвистических переменных  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$  и ПР. Каждый интервал значений лингвистических переменных можно разбить на 7 диапазонов, каждому из которых соответствует определенное нечеткое множество: *очень высокий, высокий, выше среднего, средний, ниже среднего, низкий, очень низкий*. Исползованные в [1] треугольные функции принадлежности при их привлекательной простоте были отвергнуты в силу неадекватности статистической информации. Принятый в данной главе подход аналогичен подходу, описанному в [145]. Из этой работы были использованы экспоненциальные функции, однако нечеткие подмножества были переобозначены так, чтобы их смысл лучше согласовывался с используемыми здесь базовыми переменными. Например, в [108] функция принадлежности термина *большой положительный* определялась следующим образом:

$$\mu_{\text{большой полож.}} = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{0.5}{|1-x|} \right)^{2.5} \right], \quad -1 < x < 1. \quad (3.4.5)$$

Однако, поскольку в приложении, скажем, к экстремальному значению продолжительности работы больше подходит терм *большая*, то он и использовался вместо *большой положительный*. В табл. 20 представлены функции принадлежности допустимых лингвистических термов, использованных в изучаемом случае. В графе 3  $x$  может быть любой из следующих переменных:  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5$  и  $PP$ .

Важное свойство использованных в [145] экспоненциальных функций состоит в том, что все переменные определяются в интервале  $[-1,1]$ , для чего предварительно диапазоны их значений соответствующим образом нормируются. Это свойство дает большие преимущества, когда одни и те же лингвистические термы используются для описания нескольких базовых переменных.

Хотя функции принадлежности определяются для непрерывных значений базовых переменных, нечеткие подмножества в действительности представлены на конечных носителях. В частности, все изучаемые здесь переменные описываются дискретными значениями.

Таблица 20

**Функции принадлежности допустимых лингвистических термов**

<i>Лингвистический терм</i>	<i>Сокращение</i>	<i>Базовая переменная</i>	<i>Выражение функции принадлежности</i>
Очень большая	ОБ	$x$	Большая $x$ * Большая $x$
Большая	Б	$x$	$1 - \exp \left[ - \left( \frac{0.5}{ 1-x } \right)^{2.5} \right]$
Выше среднего	ВС	$x$	$1 - \exp \left[ - \left( \frac{0.25}{ 0.5-x } \right)^{2.5} \right]$
Средняя	С	$x$	$1 - \exp [-5 x ]$
Ниже среднего	НС	$x$	$1 - \exp \left[ - \left( \frac{0.25}{ -0.5-x } \right)^{2.5} \right]$
Маленькая	М	$x$	$1 - \exp \left[ - \left( \frac{0.5}{ 1-x } \right)^{2.5} \right]$
Очень маленькая	ОМ	$x$	Маленькая $x$ * Маленькая $x$

Для получения управляющих правил, образующих основу для нечетких алгоритмов определения продолжительности работ, необходимо комбинировать различные условия требований с возможными состояниями определяющих переменных и прогнозируемых показателей. При этом следует использовать всю информацию о выполненных аналогичных проектах или соответствующего типа. Кроме того, некоторые значения лингвистической переменной ПР в относительных назначениях могут приниматься (или корректироваться) экспертами, исходя из разумных соображений. Сокращения для значений лингвистических переменных определены в табл. 21. Каждое производственное правило представляет собой утверждение относительного назначения вида (3.4.4).

Таблица 21

**Алгоритмические правила определения продолжительности работ**

Номер	Изменяемые переменные					Принимаемое решение
	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	$\Phi_5$	ПР
1	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>BC</i>	<i>Б</i>
2	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>С</i>	<i>BC</i>	<i>Б</i>
3	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>М</i>	<i>BC</i>	<i>Б</i>
4	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>М</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>
5	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>М</i>	<i>С</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>
6	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>М</i>	<i>М</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>
7	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>	<i>Б</i>
8	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>BC</i>
9	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>BC</i>	<i>М</i>	<i>С</i>	<i>BC</i>
10	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>Б</i>	<i>С</i>	<i>BC</i>
11	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>
12	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>М</i>	<i>С</i>	<i>С</i>
13	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>Б</i>	<i>С</i>	<i>С</i>
14	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>С</i>
15	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>М</i>	<i>М</i>	<i>С</i>
16	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>М</i>	<i>Б</i>	<i>HC</i>	<i>HC</i>
17	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>М</i>	<i>С</i>	<i>С</i>	<i>HC</i>
18	<i>HC</i>	<i>HC</i>	<i>М</i>	<i>М</i>	<i>С</i>	<i>HC</i>
19	<i>М</i>	<i>М</i>	<i>HC</i>	<i>Б</i>	<i>HC</i>	<i>HC</i>
20	<i>М</i>	<i>М</i>	<i>HC</i>	<i>С</i>	<i>HC</i>	<i>HC</i>

Отметим, что никто не утверждает, что эти управляющие решения оптимальны, говорится только, что они разумные, продиктованы имеющейся информацией и соответствующим уровнем компетенции экспертов.

Для того чтобы применить нечеткие алгоритмы, нужно сначала параметризовать модельные переменные. Действительно, на этом шаге описываются универсумы, на которых определяются значения (нечеткие подмножества) лингвистических переменных. В модели для каждой переменной требуется определить два параметра – ее ожидаемую нижнюю и верхнюю границы. В действительности нижняя граница соответствует значению шкалы  $-1$ , используемому при определении базисных нечетких подмножеств в табл. 5. Аналогично этому верхняя граница соответствует значению шкалы  $+1$ , используемому при определении базисных нечетких подмножеств.

Цель данного параграфа состояла в том, чтобы представить модель, которая воспроизводит способности руководителей к приближенным рассуждениям, когда им приходится сталкиваться с проблемой производственного прогнозирования. Результаты, полученные по модели нечеткого алгоритма, в которой используются только интуитивно выведенные правила управления на основе лингвистических переменных, свидетельствуют о том, что руководитель с помощью модели суждений действительно в состоянии выполнить данную работу очень хорошо. Это может помочь объяснить нерасположение руководителей к применению математически усложненных моделей обобщенного планирования, которые требуют учета дополнительных ограничений.

Приближенное рассуждение, лежащее в основе приведенных выше алгоритмов, представляет собой потенциально мощный эвристический способ. Для ситуаций, в которых ограничительным предположениям нельзя дать разумное объяснение и для прогнозирования продолжительности работ

не имеется достаточных данных, лежащее в основе моделей приближенное рассуждение, по-видимому, дает представляющую интерес альтернативу.

Нечеткие алгоритмы интуитивно привлекательны. Очевидно, возможности используемых в модели лингвистических переменных вместо количественных переменных дают исследователю дополнительную свободу. Использование лингвистических переменных должно позволить разработчику модели уловить сущность опыта и оценку руководителя, не навязывая лишних вопросов о квантификации интуиции. К тому же, поскольку правила, которые задают структуру для нечетких алгоритмов, опираются на здравый смысл и логику, руководители должны легко понимать подоплеку моделей. Предполагается, что ясная природа нечетких алгоритмов должна увеличить шансы их успешного применения.

Наконец, нужно быть осторожным и не интерпретировать данные этого параграфа в буквальном смысле. Используемая в нем методология построения моделей на основе здравого смысла применима и к другим ситуациям, возникающим при управлении проектами. Лингвистические переменные обладают тем преимуществом, что с их помощью протокол можно перевести в легко применимый (эвристический) алгоритм. Когда они используются таким образом, между понятиями, которыми оперирует исследователь в своих представлениях, и организацией данных внутри модели устанавливается самая непосредственная связь.

Здесь были описаны теоретические аспекты оценивания параметров работ проекта с помощью теории нечетких множеств. Конкретное наполнение используемых термов содержательной информацией зависит от типа проекта и будет проиллюстрировано на контрольных примерах в следующей части.

### **3.5 Принятие решений в управляемых циклических альтернативных сетевых моделях для проектов с детерминированными ветвлениями**

#### **3.5.1 Управляемая альтернативная сетевая модель**

Совместно с Голенко-Гинзбургом Д.И. была разработана новая управляемая альтернативная сетевая модель, которая является наиболее универсальной в настоящее время и объединяет две разработанные ранее сетевые модели:

а) Ациклическая управляемая альтернативная модель, (модель СААН [227-228]) – содержащая сеть с двумя типами альтернативных событий. Первый тип отражает стохастический (неуправляемый) переход к дальнейшему развитию проекта. Альтернативные события второго типа имеют детерминированную природу, то есть, лицо, принимающее решение (менеджер проекта), выбирает дальнейшее продолжение проекта на основе оптимизации модели.

б) Циклическая альтернативная сетевая модель типа ЦАСМ, включающая циклы (контуры) и обладающая возможностью описания разнообразных логических отношений (см. 3.1). Модель включает альтернативные события только стохастического перехода.

Проблема управления проектом сводится к выбору оптимального перехода в каждом узле (вершине) принятия решения, который достигнут в ходе реализации проекта. Решение этой задачи достигается путем применения специального алгоритма перебора, основанного на лексикографическом упорядочивании вариантов перехода.

#### **3.5.2 Управляемая циклическая альтернативная сетевая модель**

Рассматривается новая управляемая циклическая альтернативная сетевая модель (УЦАСМ), которая аналогично п.3.1 является конечным ориентированным циклическим графом  $G(N, A)$ , состоящим из множества узлов (событий)  $N$  и дуг (работ)  $\{(i, j)\}$ ,  $i, j \in N$ , определенных матрицей смежности  $A = \{p_{ij}\}$ ,  $0 \leq p_{ij} \leq 1$ , где  $p_{ij} = 1$  определяет детерминированную дугу

$(i, j)$ , и  $0 < p_{ij} < 1$  определяют альтернативное событие  $i$ , которое связано с некоторыми событиями  $j$  с вероятностями  $p_{ij}$ ,  $\sum_j p_{ij} = 1$ .

Помимо альтернативных событий со стохастическим переходом (будем обозначать их впредь  $\bar{\alpha}$ ), имеются некоторые специфически определенные события принятия детерминированных решений (обозначим их  $\bar{\alpha}$ ). Каждое из них имеет подмножество дуг, выходящих из события  $i$  с вероятностью, равной 1. Только одна из этих выполняющих переход дуг может быть реализована, и ее выбор – прерогатива менеджера проекта. Для обоих рассмотренных типов альтернативных событий имеет место  $\bar{\alpha}, \alpha \in N$ .

Множество дуг разделено на дуги-работы и дуги-связи. Первые обозначают определенную деятельность, протяженную во времени, последние исключительно отражают логические отношения между работами (действиями). Событие может быть начальным или конечным сроком выполнения работ, а также сроком свершения некоторых из их промежуточных состояний.

Будучи циклической сетевой моделью, УЦАСМ включает различные типы циклов. Цикл – это ряд  $r \geq 0$  последовательно расположенных дуг  $(i, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_{r-1}, i_r), (i_r, i)$ , первая из которых выходит из события  $i \in N$ , а последняя в него входит. Цикл может иметь детерминированную или стохастическую природу. В последнем случае цикл обладает определенной вероятностью, чтобы обеспечить выход проекта из цикла.

Модель УЦАСМ включает также некоторые сложные логические отношения и ограничения, описанные в п.3.1.

Рассматриваемая проблема состоит в том, чтобы определить оптимальные переходы в каждом альтернативном управляемом событии, которое достигнуто в ходе реализации проекта. Модель УЦАСМ – объединение управляемой альтернативной сетевой модели (CAAN [227])

нециклического типа) и циклической альтернативной сетевой модели (см.3.1).

Таким образом, УЦАСМ покрывает более широкий диапазон сложных альтернативных сетевых моделей, нежели любая рассмотренная ранее модель.

Чтобы анализировать и оптимизировать УЦАСМ, необходимо решить несколько сложных проблем, а именно:

а) обеспечить формирование всех непротиворечивых объединенных вариантов, реализующих выбор оптимальных переходов в каждом достигаемом управляемом альтернативном событии;

б) разработать специальную методику определения противоречий, вытекающих из циклической структуры модели и противоречивых указаниях в управляемых альтернативных событиях;

в) расширить класс решаемых задач, оптимизируя целевую функцию в условиях отсутствия противоречий в понимании объединенных вариантов типа *CAAM* .

Большинство выделенных выше проблем решены посредством моделирования в комбинации с итерационной процедурой обработки параметров объединенных вариантов.

### 3.5.3. Определения модели CAAN

Вводим некоторые определения:

#### *Граф переходов*

Для анализа модели типа CAAN мы используем специальную сеть, которую назовем графом переходов. Последний определяется как  $G^*(N^*, A^*)$  и может быть получен путем преобразования начальной сети  $G(N, A)$  . Справедливо отношение  $N^* = n_0 \cup \langle n' \rangle \cup \bar{N} \cup \bar{\bar{N}}$  ,  $\bar{N} = \cup \bar{\alpha}$  ,  $\bar{\bar{N}} = \cup \bar{\bar{\alpha}}$  , т.е. набор событий графа переходов содержит исходное событие, конечные события и все альтернативные события. Каждая дуга  $(i, j) \in A^*$  графа переходов

эквивалентна определенному фрагменту  $G_{ij}$  начальной сети  $G(N, A)$ . Если различные фрагменты  $G_{ij} \subset G(N, A)$  не пересекаются, то оба графа  $G(N, A)$  и  $G^*(N^*, A^*)$  называют полностью разделимыми.

Алгоритм преобразования начальной сети к графу переходов представлен в [52].

### ***Направление дуги***

Введем понятие направления дуги, выходящей из альтернативного события  $\alpha$ -типа. Все дуги  $(i, j)$ , выходящие из события  $\overline{\alpha}_i$  или  $\overline{\overline{\alpha}}_i$ , пронумеруем по часовой стрелке как  $h_{ij} = 1, 2, \dots, n_i$ , где  $n_i$  — число переходов из события  $\alpha_i$ . Таким образом, направление дуги  $(i, j)$  равно соответствующему порядковому номеру  $h_{ij}$ .

### ***Частные, полные и объединенные варианты***

Частный вариант — вариант реализации события. Он соответствует определенному направлению развития проекта в конкретном случае. Вариант реализации целого проекта, который не содержит альтернативных переходов и сформирован последовательностью частных вариантов, называют полным вариантом. На графе переходов  $G^*(N^*, A^*)$  определенная дуга  $(i, j)$  соответствует частному варианту, а путь, соединяющий начальное событие  $n_0$  с одним из конечных событий, соответствует полному варианту. Граф переходов может быть расценен как совокупность стохастических сетей с альтернативными событиями только  $\overline{\alpha}$ -типа. Эти сети получены посредством выбора различных переходов в управляемых альтернативных событиях  $\overline{\alpha}$ -типа. Такие стохастические сети, которые являются частью графа переходов, называют объединенными вариантами модели  $CAAN$ .

Таким образом, объединенный вариант может быть выделен из графа  $G^*(N^*, A^*)$ , посредством фиксирования определенных непротиворечивых

направлений в альтернативных событиях типа  $\bar{\alpha}$ , исключая при этом остальные направления.

Пусть  $N^* = [\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \dots, \bar{\alpha}_m]$  – множество  $\bar{\alpha}$ -событий графа переходов  $G^*(N^*, A^*)$ . Каждый объединенный вариант определяется выбором некоторых направлений в некоторых из этих событий  $\bar{\alpha}_{i_1}, \dots, \bar{\alpha}_{i_r}$  (непротиворечивых), то есть, набором

$$V = [\bar{\alpha}_{i_1}, h_{i_1 q_1}, \dots, \bar{\alpha}_{i_r}, h_{i_r q_r}]. \quad (3.5.1)$$

### ***Допустимые планы***

Набор, составленный из некоторого подмножества  $\bar{\alpha}$ -событий и направлений в них, и уникально определяющий объединенный вариант, назовем допустимым планом. Множество объединенных вариантов находится во взаимно однозначном соответствии с множеством допустимых планов.

### **3.5.4. Задача оптимизации и ее математическая формулировка**

Решение задачи оптимизации *СААН* состоит из трех шагов:

Шаг 1. Определение и выделение из графа переходов всех объединенных вариантов, вместе с соответствующими допустимыми планами.

Шаг 2. Вычисление значений целевой функции и ограничений (обычно в виде средних значений) для каждого варианта.

Шаг 3. Определение оптимального объединенного варианта и следование оптимальным направлением до ближайшего детерминированного альтернативного события. Задача должна неоднократно решаться для преобразованной сети в каждом управляемом альтернативном событии типа  $\bar{\alpha}$ , в которое последовательно попадает проект при различных сценариях его реализации.

Математическая формулировка задачи следующая: Определить объединенный вариант  $s^*$ , оптимизирующий среднее значение целевой функции

$$E[F(s^*)] = \text{Min}_{s \in \nabla \subset G^*(N^*, A^*)} (\text{Max}_{\pi_{is} \in \Omega_s} ) \sum p_{is} F(\pi_{is}) \quad (3.5.2)$$

и удовлетворяющий ограничению

$$E[H(s^*)] = \sum_{\pi_{is^*} \in \Omega_{s^*}} p_{is^*} H(\pi_{is^*}) < H. \quad (3.5.3)$$

Здесь:

$\Omega_s$  – набор полных вариантов, входящих в  $s$ -й объединенный вариант;

$\nabla$  – набор объединенных вариантов, входящих в модель типа *CAAN* ;

$p_{is}$  – вероятность реализации  $i$ -го полного варианта  $\pi_{is}$  в  $s$ -м объединенном варианте;

$F(\pi_{is})$  – значение целевой функции для  $i$ -го полного варианта в  $s$ -м объединенном варианте;

$H(\pi_{is^*})$  – значение ограничения для полного варианта  $\pi_{is^*} \in \Omega_{s^*}$  ;

$H$  – заданный уровень ограничения. Когда  $F$  – продолжительность времени, ограничение  $H$  – обычно стоимость проекта, и наоборот. В случае необходимости могут использоваться несколько ограничений.

Когда все объединенные варианты определены (Шаг 1), исследуется каждый из них. При этом просматриваются все полные варианты, входящие в рассматриваемый объединенный вариант (Шаг 2). Но так как любой объединенный вариант содержит только альтернативные события типа  $\bar{\alpha}$ , задача на этом шаге сводится к анализу сети *GERT* -типа, не содержащей управляемых событий (чистая стохастическая альтернативная сеть). Этот анализ может быть выполнен, как показано в [52].

### 3.5.5. Определение объединенных вариантов

Процедура формирующего варианты шага 1 (см. п.3.5.6) сводится к последовательному использованию следующих трех алгоритмов [52]:

Алгоритм I. Построение  $\bar{\alpha}$ -структуры для графа переходов  $G^*(N^*, A^*)$ .

Алгоритм II. Определение максимальных путей в  $\bar{\alpha}$ -структуре.

Алгоритм III. Определение допустимых планов и объединенных вариантов.

Алгоритмы организованы так, что результирующая информация каждого алгоритма служит начальными данными для следующего. Начальными данными для алгоритма I является информация о графе переходов  $G^*(N^*, A^*)$ . Отметим, что процедура может быть применена только к полностью разделимой сети.

#### Алгоритм I для построения $\bar{\alpha}$ -структуры:

$\bar{\alpha}$ -структура – множество четверок  $(\alpha_i, h_{ik}, \alpha_j, p_{ijk})$ , удовлетворяющих следующим условиям:

- каждая четверка определяет путь, соединяющий события  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$ ;
- оба события  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  относятся к  $\bar{N} \cup \{n\}$ ;
- все промежуточные события между событиями  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  относятся к  $\bar{N}$ ;
- $h_{ik}$  обозначает направление дуги, выходящей из события  $\alpha_i$ ;
- $p_{ijk}$  обозначает вероятность достижения  $\alpha_j$ , при условии выхода из  $\alpha_i$  в направлении  $h_{ik}$ .

Алгоритм I для построения  $\bar{\alpha}$ -структуры в общих чертах описан в [52] на основе использования графа переходов.

Множество четверок, то есть,  $\bar{\alpha}$ -структура графа переходов, изображенного на рис. 25, представляется следующим образом (направления  $h_{ik}$  помещены в фигурные скобки):

1, {1}, 2, 1 ;

2,	{1},	12,	0.18 ;
2,	{1},	13,	0.42 ;
2,	{1},	7,	0.4 ;
2,	{2},	4,	1 ;
2,	{3},	10,	0.5 ;
2,	{3},	11,	0.5 ;
4,	{1},	8,	1 ;
4,	{2},	18,	0.4 ;
4,	{2},	19,	0.6 ;
7,	{1},	14,	1 ;
7,	{2},	15,	1 ;
8,	{1},	16,	1 ;
8,	{2},	17,	1 .

Алгоритм II для определения максимальных путей:

Понятие максимального пути

Каждая дуга - структуры идентифицируется тройкой. Тройки, соответствующие различным дугам, должны отличаться, по крайней мере, одним элементом. Тройки с отличием только во втором элементе соответствуют дугам, соединяющим одну и ту же пару событий по различным направлениям; тройки с отличием только в третьем элементе соответствуют дугам, соединяющим одно и то же событие в том же самом направлении с различными событиями.

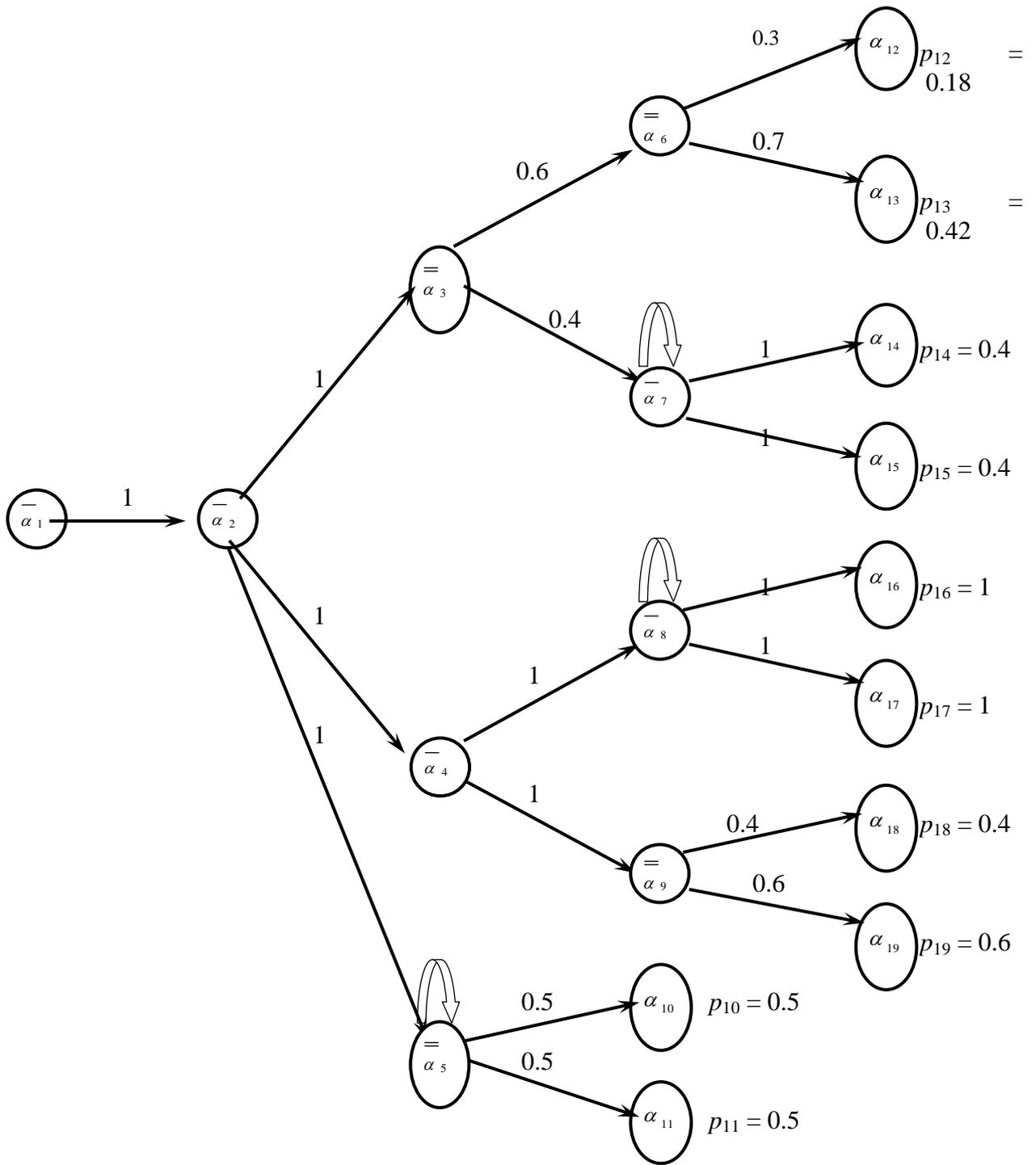


Рис 25. Управляемая альтернативная сетевая модель проекта

Определение 1. Последовательность дуг

$$(\alpha_1, h_{1k_1}, \alpha_2), (\alpha_2, h_{2k_2}, \alpha_3), \dots, (\alpha_r, h_{rk_r}, \alpha_{r+1}), \quad (3.5.4)$$

в которой конечные события одной дуги, исключая последнюю, являются событиями начала следующей, называется путем в  $\bar{\alpha}$ -структуре и записывается:

$$(\alpha_1, h_{1k_1}, \alpha_2, h_{2k_2}, \alpha_3, \dots, \alpha_r, h_{rk_r}, \alpha_{r+1}). \quad (3.5.5)$$

Определение 2. Путь в  $\bar{\alpha}$ -структуре будем называть максимальным, если он не является частью никакого другого пути. Очевидно, любой максимальный путь ведет от исходного события  $n_0$  к некоторому конечному событию из  $\{n^i\}$ .

### **Лексикографический порядок отбора вариантов**

Чтобы определить все максимальные пути, последние должны быть расположены в лексикографическом порядке следующим образом:

Пусть все события в  $\bar{\alpha}$ -структуре пронумерованы различными числами, например,  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$  - номера событий. Также определим все различные направления, ведущие от каждого события  $\alpha_i$ . Рассмотрим два различных максимальных пути

$$X_1 = (\alpha_a, h_{ab}, \alpha_c, \dots, \alpha_e) \quad \text{и} \quad X_2 = (\alpha_m, h_{mn}, \alpha_p, \dots, \alpha_z).$$

Сравним попарно элементы этих путей:  $\alpha_a$  и  $\alpha_m$ ,  $h_{ab}$  и  $h_{mn}$ ,  $\alpha_c$  и  $\alpha_p$ , и т.д. Так как пути отличны и максимальны, пара отличающихся элементов  $\alpha_f$  и  $\alpha_r$  (или  $h_{fg}$  и  $h_{rs}$ ) должна быть найдена, в то время как другие предыдущие пары совпадают. Если в этом случае  $\alpha_f < \alpha_r$  (или  $h_{fg} < h_{rs}$ ), первый упорядоченный путь лексикографически предшествует второму. Таким образом, первый путь предшествует второму, если его последовательность лексикографически предшествует последовательности второго пути. Точно так же лексикографический порядок введен на множестве всех дуг  $(\alpha_i, h_{ik}, \alpha_j)$ , входящих в  $\bar{\alpha}$ -структуру.

Алгоритм II определения максимальных путей.

Алгоритм, описанный в [52], определяет все максимальные пути в лексикографическом порядке. Он состоит из двух главных частей: процедуры выбора первого максимального пути и процедуры для перехода от одного произвольного максимального пути к следующему в лексикографическом порядке. При использовании первой процедуры и затем многократно второй, мы получаем все максимальные пути в  $\bar{\alpha}$ -структуре.

Множество максимальных путей для  $\bar{\alpha}$ -структуры, сформированной выше для графа переходов, изображенного на рис. 25, следующее:

1, {1}, 2, {1}, 7; {1}, 14;  
1, {1}, 2, {1}, 7; {2}, 15;  
1, {1}, 2, {1}, 12;  
1, {1}, 2, {1}, 13;  
1, {1}, 2, {2}, 4; {1}, 8; {1}, 16;  
1, {1}, 2, {2}, 4; {1}, 8; {2}, 17;  
1, {1}, 2, {2}, 4; {2}, 18;  
1, {1}, 2, {2}, 4; {2}, 19;  
1, {1}, 2, {3}, 10;  
1, {1}, 2, {3}, 11.

**Алгоритм III для определения допустимых планов и объединенных вариантов:**

Алгоритм включает, в свою очередь, три последовательно используемых подалгоритма. Подалгоритм IIIA преобразовывает информацию, полученную от алгоритма II, устраняя возможную избыточность данных. Подалгоритм IIIB определяет последовательно все допустимые планы, в то

время как подалгоритм ШС выбирает соответствующие объединенные варианты.

Работа главных частей алгоритма Ш основана на лексикографическом упорядочении и напоминает алгоритм П. Как и последний, он состоит из двух частей: процедуры для определения первого допустимого плана, и процедуры для перехода от рассмотренного допустимого плана к следующему. Набор шести допустимых планов относительно графа переходов, представленного на рис. 1, следующий:

1, {1}, 2, {1}, 7; {1};  
1, {1}, 2, {1}, 7; {2};  
1, {1}, 2, {2}, 4; {1}, 8; {1};  
1, {1}, 2, {2}, 4; {1}, 8; {2};  
1, {1}, 2, {2}, 4; {2};  
1, {1}, 2, {3}.

Графическое изображение шести объединенных вариантов представлено на рис. 26.

Таким образом, нами показано, что лексикографический просмотр является действенной основой для анализа модели *CAAN* .

### **3.5.6. Оптимизация управляемых альтернативных циклических моделей УЦАСМ**

Мы предлагаем, оптимизируя УЦАСМ, выполнять следующую итерационную процедуру:

Шаг 1. Исключить все циклы в рассматриваемой модели УЦАСМ. Таким образом, УЦАСМ становится ациклической сетью. Обозначим измененную сеть УЦАСМ\*.

Шаг 2. Для сети УЦАСМ\* определить соответствующий ей граф переходов (см. [52]).

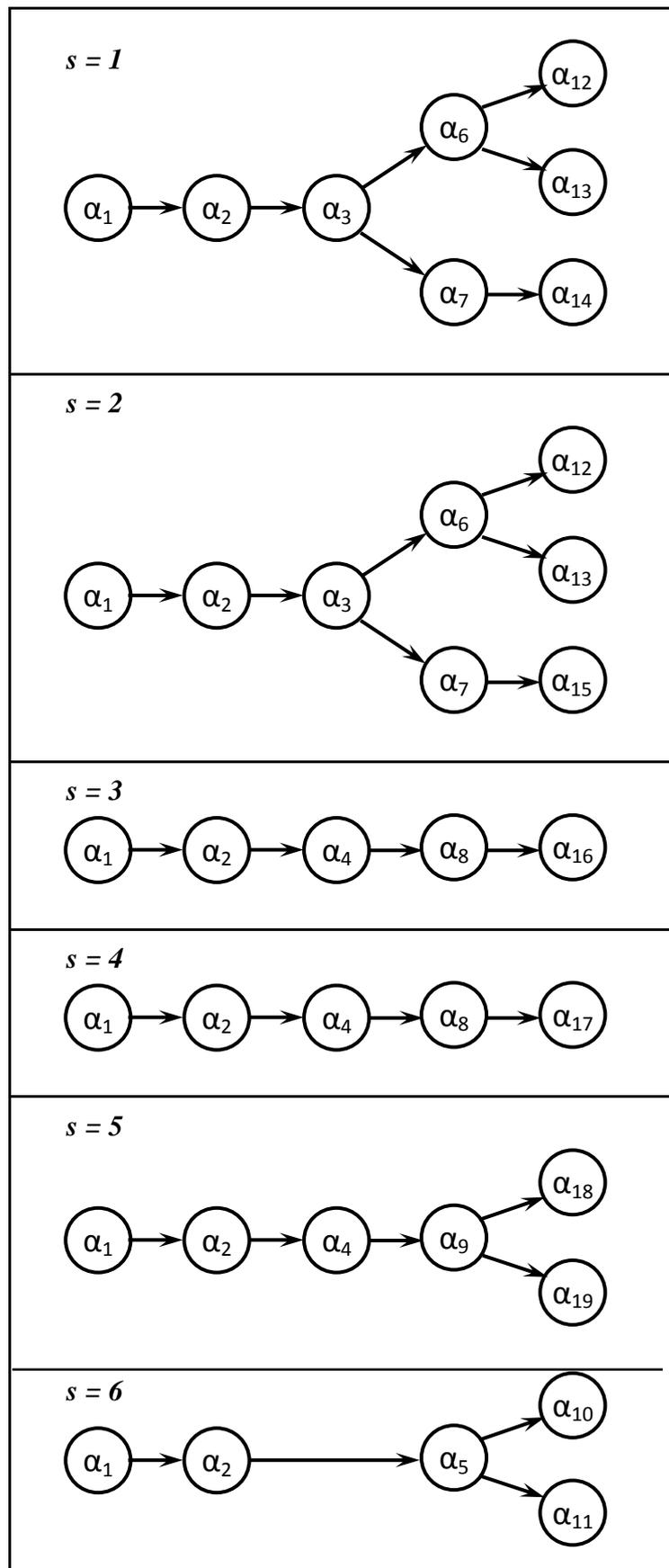


Рис. 26. Объединенные варианты проекта

Шаг 3. Согласно рассмотренным выше алгоритмам I-III (см. п.2.5.5), определить для УЦАСМ\* ее объединенные варианты вместе с их допустимыми планами.

Шаг 4. Для каждого объединенного варианта совершить обратную модификацию к начальной подсети.

Шаг 5. Для каждого объединенного варианта, который первоначально содержал циклы, осуществить обратное преобразование в сетевую модель, независимо для каждого цикла.

Рассмотрим укрупненно шаг 5. Предположим, что в некотором событии  $i$  существует цикл  $L(i)$  (событие  $i$  является начальным и конечным для некоторого циклического пути) со следующими свойствами:

а) цикл обладает детерминированной длиной, которую мы обозначим  $TL(i)$ , со стоимостью выполнения работ цикла  $CL(i)$ , и

б) цикл обладает вероятностью не вхождения в цикл или выхода из него (обозначим ее  $P(i)$ , удовлетворяющей  $0 < P(i) < 1$ ). Таким образом, вероятность выполнения цикла равна  $1 - P(i)$ .

Обозначим уровень надежности  $\beta(i)$ , который фактически гарантирует выход проекта из цикла  $L(i)$ , при условии его возможной многократной реализации. Само собой разумеется, что  $\beta(i)$  должен быть очень близко к 1;  $\beta(i)$  задаются дифференцировано для разных событий, главным образом, в зависимости от принадлежности  $i$  к критической зоне проекта [1]. Чтобы удовлетворить требованиям заданного  $\beta(i)$ , мы должны определить максимальное число последовательных "пробегов" для цикла. Очевидно, что такое значение (назовем это впредь  $k_i$ ) может быть получено путем сравнения вероятности выхода из цикла не больше, чем за  $k_i$  испытаний, с уровнем надежности  $\beta(i)$ .

Минимальное  $K$ , удовлетворяющее условию

$$\sum_0^K P(i)[1 - P(i)]^K \geq \beta(i), \quad (3.5.6)$$

служит для определения  $k_i$ . Отметим, что вычисленные таким образом  $k_i$  позволяют определить средние затраты дополнительно выполняемых работ цикла  $c[L(i)] \cdot \bar{k}_i$ , где  $\bar{k}_i$  обозначает среднее значение случайной величины количества «проходов» по циклу, принимающей значения от 0 до  $k_i$  с вероятностями, равными членам ряда (2.5.6).

Те же самые оценки  $k_i$  должны быть получены для всех циклов, осуществляемых в проекте.

Таким образом, после выполнения Шага 5 объединенные варианты получают новые затраты и новые продолжительности. В случае вероятностных  $L(i)$  могут быть легко вычислены их соответствующие параметры, например, средние значения.

Отметим, что вычисленные значения  $k_i$  означают, что после совершения  $k_i$  "пробегов цикла" проект должен выйти из него, даже за счет ухудшения целевой функции проекта.

Шаг 6. Вводятся (в случае необходимости) отношения (3.1.1-3.1.2) в  $CCANM$ .

Шаг 7. На основе пересчитанных затрат и продолжительностей времени для объединенных вариантов решаются проблемы оптимизации (3.5.2-3.5.3). Отметим, что выбор целевой функции для  $CCANM$  не принципиален, а является сугубо техническим вопросом. Обычно оптимизируются стоимостные или временные параметры проекта.

### 3.5.7. Числовой пример

Рассчитаем числовой пример для управляемой циклической сетевой модели, которая представлена на рис. 25. Сетевая модель включает три цикла  $L(5)$ ,  $L(7)$  и  $L(8)$  со следующими параметрами:

$$CL(5) = 50; \quad P(5) = 0.6.$$

$$CL(7) = 100; \quad P(7) = 0.8.$$

$$CL(8) = 100; \quad P(8) = 0.7.$$

Уровень надежности всех  $L(i)$  взят  $\beta_i = 0.99$ . Затраты отдельных работ (взятых без циклов) следующие:

$$c_{1,2} = 10, \quad c_{4,8} = 11, \quad c_{7,14} = 15,$$

$$c_{2,3} = 6, \quad c_{4,9} = 13, \quad c_{7,15} = 20,$$

$$c_{2,4} = 15, \quad c_{5,10} = 12, \quad c_{8,16} = 15,$$

$$c_{2,5} = 12, \quad c_{5,11} = 36, \quad c_{8,17} = 8,$$

$$c_{3,6} = 14, \quad c_{6,12} = 10, \quad c_{9,18} = 10,$$

$$c_{3,7} = 9, \quad c_{6,13} = 16, \quad c_{9,19} = 18.$$

Отметим, что имеющиеся циклы  $L(8)$  и  $L(7)$  предполагают, что принятие решения по выбору направления дальнейшего перехода должно быть осуществлено только после того, как проект оставит цикл и выйдет из события 7 или 8. Что касается  $L(5)$ , случайный выбор направлений  $(5,10)$  и  $(5,11)$  выполняется только после выхода из  $L(5)$ , то есть, при тех же самых условиях.

Необходимо решить следующую задачу: выбрать оптимальный объединенный вариант, который приводит к минимальной средней величине стоимости реализации проекта (принимая во внимание также циклы), обеспечивая при этом принятие решения для каждого детерминированного альтернативного события, которое будет достигнуто в ходе реализации проекта.

При решении рассматриваемой задачи все циклы первоначально были исключены, чтобы использовать алгоритмы моделей *SAAN* для получения объединенных вариантов. Шесть полученных объединенных вариантов представлены на рис. 26. Математические ожидания стоимости осуществления сформированных объединенных вариантов могут быть вычислены следующим образом (см. рис. 25 и 26):

$$\bar{C}(s_1) = (10 + 6 + 14 + 10) \cdot 0.18 + (10 + 6 + 14 + 16) \cdot 0.42 + (10 + 6 + 9 + 15) \cdot 0.4 = 42.52 ;$$

$$\bar{C}(s_2) = 40 \cdot 0.18 + 46 \cdot 0.42 + 45 \cdot 0.4 = 44.52 ;$$

$$\bar{C}(s_3) = 51 ;$$

$$\bar{C}(s_4) = 44 ;$$

$$\bar{C}(s_5) = (10 + 15 + 13 + 10) \cdot 0.4 + (10 + 15 + 13 + 10) \cdot 0.6 = 48 ;$$

$$\bar{C}(s_6) = (10 + 12 + 12) \cdot 0.5 + (10 + 12 + 36) \cdot 0.5 = 46 .$$

После определения средней стоимости шести объединенных вариантов *СААН*-типа, вставим назад три цикла  $L(5)$ ,  $L(7)$  и  $L(8)$ , чтобы получить скорректированные значения  $\bar{C}(s_1) - \bar{C}(s_6)$ , которые мы обозначим соответственно  $\bar{C}^*(s_q)$ ,  $1 \leq q \leq 6$ .

Для цикла  $L(5)$  величина  $\bar{K}_5$  может быть вычислена следующим образом:

$$\bar{K}_5 = 1 \cdot 0.6 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.4^2 \cdot 0.6 + 3 \cdot 0.4^3 \cdot 0.6 + 4 \cdot 0.4^4 \cdot 0.6 \approx 0.6 ,$$

поскольку соблюдается отношение

$$\sum_{q=0}^3 0.6 \cdot 0.4^q < 0.99 < \sum_{q=0}^4 0.6 \cdot 0.4^q \quad (\text{т.е. } K_5=4).$$

Таким образом, среднее значение стоимости объединенного варианта  $s_6$ , включающего  $L(5)$ , увеличивается на  $0.6 \cdot 50 = 30$  и становится в модифицированной *ССАММ* \* равным  $\bar{C}^*(s_6) = 46 + 30 = 76$ .

Для цикла  $L(7)$  значение  $\bar{K}_7$  может быть вычислено следующим образом:

$$\bar{K}_7 = 1 \cdot 0.8 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.2^2 \cdot 0.8 \approx 0.222 ,$$

поскольку соблюдается отношение

$$\sum_{q=0}^1 0.8 \cdot 0.2^q < 0.99 < \sum_{q=0}^2 0.8 \cdot 0.2^q \quad (\text{т.е. } K_7=2).$$

Таким образом, средние значения стоимости объединенных вариантов  $s_1$  и  $s_2$ , которые включают  $L(7)$ , должны увеличиться на  $0.222 \cdot 100 = 22.2$ , что приводит к новым значениям стоимости

$$\bar{C}^*(s_1) = 42.52 + 22.2 = 64.72 ,$$

$$\bar{C}^*(s_2) = 44.52 + 22.2 = 66.72 .$$

Для цикла  $L(8)$  мы, наконец, получаем:

$$\bar{K}_8 = 1 \cdot 0.7 \cdot 0.3 + 2 \cdot 0.7 \cdot 0.3^2 + 3 \cdot 0.7 \cdot 0.3^3 \approx 0.39 ,$$

поскольку соблюдается отношение

$$\sum_{q=0}^2 0.7 \cdot 0.3^q < 0.99 < \sum_{q=0}^3 0.7 \cdot 0.3^q \text{ (т.е. } K_8 = 3\text{)}.$$

Таким образом, средние значения стоимости объединенных вариантов  $s_3$  и  $s_4$ , которые оба включают  $L(8)$ , должны быть скорректированы посредством их увеличения на  $0.39 \cdot 80 = 31.2$ .

Скорректированные значения  $\bar{C}_3^*$  и  $\bar{C}_4^*$  поэтому следующие:

$$\bar{C}_3^* = 51 + 31.2 = 82.2 ,$$

$$\bar{C}_4^* = 44 + 31.2 = 75.2 .$$

Объединенный вариант  $s_5$  остается неизменным, так как не включает никакого цикла. Таким образом, окончательные средние значения стоимости объединенных вариантов следующие:

$$\bar{C}_1^* = 64.72 ,$$

$$\bar{C}_2^* = 66.72 ,$$

$$\bar{C}_3^* = 82.2 ,$$

$$\bar{C}_4^* = 75.2 ,$$

$$\bar{C}_5^* = 48 ,$$

$$\bar{C}_6^* = 76 .$$

Таким образом, объединенный вариант  $s_5$  является оптимальным с минимальным значением стоимости, и необходимо управлять проектом следующим образом (см. рис. 26):

А) Если в ходе выполнения проекта достигнуто событие  $\bar{\alpha}_2$ , то выбирается направление (2,4).

В) После достижения следующего управляемого детерминированного события  $\bar{\alpha}_4$  необходимо выбрать направление (4,9).

### 3.5.8. Область применения альтернативных сетевых моделей

Большинство долгосрочных, комплексных R&D проектов являются по своей сути стохастическими. Многие из них включают элементы со случайными параметрами (продолжительность, стоимость, и т.д.). Кроме того, в некоторых проектах даже сама структура и топология (взаимосвязи работ и событий) могут иметь случайную природу. Обычно так происходит, когда имеется несколько возможных альтернативных путей для достижения промежуточных и окончательных целей. Такими свойствами обладает широкий спектр проектов, например:

а) Большие и очень сложные R&D проекты с долгосрочными целями, особенно когда разрабатывается совершенно новое изделие без подобных опытных образцов в прошлом. Такие проекты часто реализуются в космической и других оборонных отраслях промышленности. Здесь обычно сталкиваются с большой неопределенностью в их реализации, а так же с альтернативными переходами в ключевых событиях.

б) Долгосрочные проекты в строительной промышленности при проектировании и строительстве уникальных сооружений (различные системы защиты, морские подводные туннели, нефтегазовые трубопроводы, и т.д.).

с) Разработка фармацевтической и новых видов химической продукции, проекты нанотехнологии, и т.д.

Важность таких проектов существенна, фактически все индустриально развитые страны рассматривают и выполняют так называемые целевые

программы или целевые проекты, определяющие тенденцию технологического развития.

### **3.6 Выводы по главе 3**

Разработанные автором циклические альтернативные модели являются развитием, обобщением, совершенствованием используемых ранее моделей. Они предназначены для повышения эффективности управления проектами на современном этапе, учитывают реалии сегодняшнего дня, связанные со значительным усложнением, как самих проектов, так и среды, в которой они должны быть выполнены. Эти модели требуют своего осмысления и последующей реализации в виде программных комплексов.

Основываясь на методологиях, известных сегодня, методы сетевого моделирования остаются главным инструментом управления расписанием проекта. Календарный график работ проекта позволяет менеджеру и команде планировать задачи, отслеживать ход выполнения, контролировать и анализировать отклонения в процессе реализации, принимать решения на оперативном уровне, прогнозировать завершение проекта. В то же время данные методы хороши, но недостаточны. Они позволяют решать только часть задач, необходимых для достижения целей проекта. Так, управленческий цикл (инициация, планирование, организация и контроль выполнения, анализ и регулирование, закрытие) зачастую не включен в перечень работ, таким образом, не дает корректную базу для принятия адекватных управленческих решений. Существенным ограничением применяемых сегодня методологий и, в частности, математических моделей, является их ориентированность на одного стейкхолдера – менеджера проекта и его команды и отсутствие специализированных удобных методов и инструментов для разных заинтересованных сторон. Предложенные модели и методы управления проектной деятельностью со стороны различных стейкхолдеров и адекватные данным моделям циклические стохастические альтернативные модели описания сложной

структура проекта, позволили разработать интегрированную информационно-аналитическую систему управления комплексными проектами, описание и методология создания которой приведены в следующей главе.

## **ГЛАВА 4. ОПИСАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ПРОЕКТОМ**

### **4.1 Основные составляющие методологии**

Разработанная методология состоит из следующих основных составляющих:

- Функции управления проектами
- Компетенции участников управления проектами
- Комплекс математических моделей системы управления проектами
- Регламент управления проектами
- Процедура управления качеством проектов
- Процедура ресурс-менеджмента проектов
- Процедура риск-менеджмента проектов
- Процедура управления изменениями проектов
- Методическое руководство по календарному планированию в УП
- Архитектура и описание системы управления проектами
- Математическая модель функционирования интегрированной информационно-аналитической системы

### **4.2 Структура и функции интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом**

В данном пункте определена структура и функции интегрированной системы математических моделей управления сложным проектом на основе интеграции и конвергенции мультиаспектных моделей разных заинтересованных сторон.

#### **4.2.1 Информационно-логическая схема взаимодействия стейкхолдеров**

Укрупненная информационно-логическая схема взаимодействия стейкхолдеров приведена на рис. 27.



Рис.27. Взаимосвязь математических моделей управления проектом

Бизнес-план и План по вехам содержат наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации).

Детальный план производства работ формируется из описания сложного проекта, которое базируется на использовании циклической альтернативной сетевой модели (ЦАСМ), при этом классические, обобщенные и альтернативные сетевые модели являются ее частными случаями (см. главу 3).

Комплексный укрупненный план представляет собой обобщенную сетевую модель проекта, которая разрабатывается командой проекта на основе детализированной модели проекта.

План налогообложения содержит сроки и объемы реализации проекта и его пусковых комплексов.

План поставок содержит плановые объемы поставок по всей номенклатуре ресурсов и лимиты финансирования по группам ресурсов.

План финансирования содержит объемы финансирования проекта собственными силами, объемы кредитования по периодам и наиболее эффективные варианты реализации проекта.

Основные требования к проекту со стороны заказчика задают конфигурацию проекта и продукта, сроки свершения событий укрупненного графика и продолжительности укрупненных работ.

Требования и ограничения со стороны регулирующих органов относятся к объемам налогообложения, оценкам экологических рисков и качеству жизни людей.

Требования и ограничения со стороны поставщика содержат объемы и сроки поставок всех материальных ресурсов, объемы и сроки закупок у субпоставщиков.

#### **4.2.2 Функции управления сложным проектом, включенные в интегрированную систему математических моделей**

Все функции системы управления сложным проектом приведены в Приложении 1. Они сгруппированы по стадиям разработки проекта:

- Инициация проекта;
- Планирование проекта;
- Организация и контроль выполнения проекта;
- Анализ и регулирование выполнения проекта;
- Заккрытие проекта.

На каждой стадии выделены укрупненные функции (*трудовые*), которые в свою очередь подразделяются на детальные (*действия*). Мы будем в дальнейшем изложении использовать номера детальных функций. Далее в табл.22-25 в графе 1 приведены трудовые функции, в графе 2

входящие в их состав детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей, и в графе 3 название заинтересованной стороны (стейкхолдера) и номер соответствующей математической модели, реализующей данную функцию.

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Инициации проекта, представлены в табл.22.

Таблица 22

Трудовая функция	Детальные функции, включаемые в ИСУПр	Стейкхолдер, модель
Разработка концепции управления предметной областью проекта	6. Анализ альтернатив для решения проблемы и выбора варианта проекта	Инвестор, Заказчик
Разработка концепции управления проектом по временным параметрам	18. Разработка укрупненного календарного плана осуществления проекта	Руководитель и команда проекта
Разработка концепции управления проектом по стоимостным параметрам	23. Разработка укрупненного графика финансирования	Инвестор
Разработка концепции управления качеством в проекте	30. Разработка стратегии управления качеством	Заказчик
Разработка концепции управления рисками проекта	38. Анализ альтернатив осуществления проекта	Заказчик
Разработка концепции управления человеческими ресурсами в проекте	43. Определение потребности в трудовых ресурсах проекта	Руководитель и команда проекта
Разработка концепции управления закупками и контрактами в проекте	58. Построение дерева ресурсов на основе схемы декомпозиции работ проекта 63. Разработка стратегии управления контрактами (учет стратегии компании, определение критериев выбора, анализ альтернатив)	Руководитель и команда проекта  Генпоставщик

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Планирования проекта, представлены в табл.23.

Таблица 23

Трудовая функция	Детальные функции, включаемые в ИСУПр	Стейкхолдер, модель
Планирование предметной области проекта	82. Разработка плана управления предметной области проекта	Руководитель и команда проекта
Планирование проекта по стоимостным параметрам	83. Планирование ресурсов и определение их количества, необходимого для успешного выполнения проекта 86. Разработка плана финансирования	Руководитель и команда проекта Инвестор
Планирование проекта по временным параметрам	90. Определение последовательности выполнения работ, которая отображается организационно – технологической (сетевой) моделью (или сетевым графиком) 93. Определение расписаний (календарного графика) работ проекта методом критического пути 94. Определение и анализ графиков проекта в ресурсах 95. Оптимизация расписаний работ проекта по временным и ресурсным критериям	Руководитель и команда проекта Руководитель и команда проекта Руководитель и команда проекта Руководитель и команда проекта
Планирование управления качеством в проекте	104. Разработка плана управления качеством	Заказчик
Планирование мер реагирования на рисковые события	110. Предотвращение или снижение ущерба от рисковых событий	Заказчик
Планирование работ по подготовке и исполнению контрактов	136. Определение перечня контрактов в проекте 139. Формирование графика поставок	Генпоставщик Генпоставщик
Прогнозирование и планирование изменений	143. Прогнозирование изменений	Заказчик

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Организации и контроля выполнения проекта, представлены в табл.24.

Таблица 24

Трудовая функция	Детальные функции, включаемые в ИСУПр	Стейкхолдер, модель
Организация и выполнение проекта	151. Ведение баз данных о состоянии предметной области проекта	Руководитель и команда проекта
Организация и контроль выполнения проекта по временным параметрам	155. Ведение баз данных и архива версий расписаний проекта	Руководитель и команда проекта
Организация и контроль выполнения проекта по стоимостным параметрам	157. Введение в действие системы управления стоимостью и финансированием в проекте	Руководитель и команда проекта, Инвестор
Организация управления и контроль качества в проекте	163. Сбор фактической информации о качестве в проекте	Заказчик
Организация и контроль мер реагирования на рисковые события	165. Организация управления рисками (применение системы управления рисками в проекте, распределение ответственности при управлении рисками)	Заказчик
Организация подготовки и контроль выполнения контрактов	177. Подготовка и проведение конкурса	Генпоставщик
Организация и контроль изменений в проекте	187. Принятие решений и внесение изменений в проект	Руководитель и команда проекта

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Анализ и регулирование выполнения проекта, представлены в табл.25.

Таблица 25

Трудовая функция	Детальные функции, включаемые в ИСУПр	Стейкхолдер, модель
Анализ и регулирование предметной области проекта	196. Принятие решений о регулирующих воздействиях и внесение изменений в предметную область проекта	Руководитель и команда проекта
Анализ и регулирование проекта по временным параметрам	203. Корректировка расписания работ проекта с учетом внесенных изменений	Руководитель и команда проекта

Анализ состояния и регулирование проекта по стоимостным параметрам	211. Прогнозирование состояния выполнения работ проекта по стоимости	Руководитель и команда проекта, Инвестор
Анализ состояния и регулирование обеспечения качества в проекте	214. Анализ состояния и прогресса качества в проекте на протяжении его жизненного цикла	Заказчик Руководитель и команда проекта
Анализ состояния и регулирование мер по снижению рисков	224. Анализ состояния управления рисками в проекте	Заказчик, Руководитель и команда проекта
Анализ и регулирование исполнения контрактов	243. Анализ состояния и прогноз ситуации	Генпоставщик
Анализ и регулирование изменений	249. Прогнозирование хода выполнения работ проекта, с учетом рекомендуемых корректив 251. Корректировка планов работ проекта с учетом внесенных изменений	Руководитель и команда проекта  Руководитель и команда проекта

### 4.3 Интеграция моделей

#### 4.3.1 Агрегирование сетевых моделей

Здесь рассмотрены процедуры агрегирования сетевых моделей, описанных в главе 3, для каждого уровня управления и каждого стейкхолдера, с учетом компетенций каждой заинтересованной стороны определены необходимые типы сетевых моделей, их параметры и методы обработки. Алгоритмы агрегирования подобно описаны в [31,32].

На рис. 28 схематично показаны уровни управления и соответствующие им сетевые модели описания проекта для каждой заинтересованной стороны.

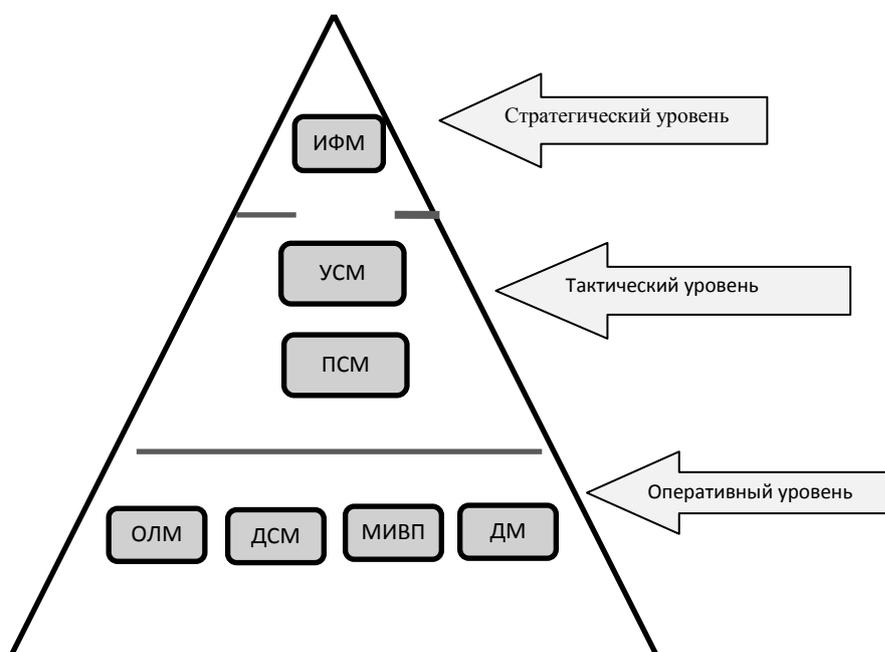


Рис. 28. Функциональные сетевые модели и уровни управления

Здесь:

- ИФМ (Инвестиционно-финансовая модель) – для Инвестора;
- УСМ (Укрупненная сетевая модель) – для Генерального подрядчика;
- ПСМ (Приемо-сдаточная модель) – для Заказчика;
- ОЛМ (Операционно-логистическая модель) – для Поставщика;
- ДСМ (Детальная сетевая модель) – для команды управления проектом, проектного офиса;
- МИВП (Модель исполнения властных полномочий) – для регулирующих и надзорных органов, органов власти;
- ДМ (Доходная модель) – для коммерческой службы.

При разработке отдельных моделей управления проектной деятельностью для заинтересованных сторон выделены основные элементы, из которых эти модели состоят. Ниже в таблице 26 приведены необходимые сетевые модели для ключевых стейкхолдеров и элементы, из которых данные модели состоят.

Таким образом, для управления проектной деятельностью в современных условиях необходимо предложены новые сетевые модели, удобные для применения заинтересованными сторонами, с возможностью комбинирования и интеграции их в комплексную укрупненную сетевую универсальную модель с учетом вероятности, стохастичности и альтернативности ее параметров.

Далее в таблице 27 представлены основные «пользовательские требования» ключевых заинтересованных сторон. Для каждой роли ключевых заинтересованных сторон указаны уровни управления, на которых они оперируют в проектной деятельности. В зависимости от уровней выделены основные функции, реализуемые в той или иной роли. Пользовательские требования – требования к модели управления проектной деятельностью с позиции того или иного стейкхолдера, необходимые ему для исполнения своих функций в определенной роли.

Насколько детально необходимо тому или иному стейкхолдеру управлять проектом зависит от уровня, на котором он действует, и исполняемых функций в проекте. Чем выше уровень управления, на котором действует стейкхолдер, тем меньшая детализация элементов проекта требуется.

## Элементы функциональных моделей ключевых стейкхолдеров

Ключевые стейкхолдеры	Функциональные модели	Элементы
Команда управления проектом, проектный офис	Детальная сетевая модель ДСМ (вероятностная, альтернативная, циклическая)	Работа, события, зависимости, ресурсы и ограничения
Инвестор	Инвестиционно –финансовая, ИФМ	Центры затрат, центры доходов, взаимосвязи, ограничения
Заказчик	Приемо – сдаточная модель, ПСМ	WBS, содержащая работы приемо-сдаточных комплексов, вехи, зависимости, временные ограничения
Генеральный подрядчик	Укрупненная сетевая модель УСМ (вероятностная, альтернативная, циклическая)	Пакеты работ, события, вехи, зависимости, ограничения
Поставщик	Операционно – логистическая, ОЛМ	Место, время, объемы, сроки, операций и поставок и их продолжительности
Регулирующие и надзорные органы, органы власти	Модель исполнения властных полномочий, МИВП	Экспертные решения, разрешения, согласования, налоги, санкции, продолжительности операций
Коммерческая служба	Доходная модель, ДМ	Вехи, работы по маркетингу и продажам, зависимости, обратный расчет, договора, финансовые параметры, работа с рекламациями

## Основные «пользовательские требования» ключевых заинтересованных сторон

Заинтересованная сторона (стейкхолдер)	Уровень управления	Функции	«Пользовательские требования» к сетевой модели
Команда управления проектом, проектный офис	Оперативный	Планирование работ по созданию продукта проекта, отслеживание хода выполнения, предоставление отчетности вышестоящему руководству, прогнозирование завершения, закрытие проекта	Детальный уровень
Инвестор	Стратегический	Принятие решений по вопросам финансирования проектной деятельности	Укрупненный уровень
Заказчик	Стратегический, тактический	Постановка стратегических целей, контроль их достижения, анализ и регулирование целей, принятие решений на уровне портфеля, программы, проектов	Укрупненный уровень с возможностью средней детализации
Генеральный подрядчик	Тактический	Управление качеством создаваемого продукта проекта, анализ и регулирование процессов для выполнения работ по созданию продукта проекта, обеспечение сдачи Заказчику модулей и продукта в целом	Средний уровень
Поставщик	Оперативный	Обеспечение поставок требуемых материалов и услуг для проекта: планирование цепочек поставок, соблюдение сроков и объемов	Детальный уровень

Регулирующие и надзорные органы, органы власти	Оперативный	Обеспечение исполнения требований законодательства разных уровней, согласование и экспертиза документов, учет национальных, страновых, социо – культурных, географических, политических факторов, экологических (зависит от масштаба проекта)	Детальный уровень
Коммерческая служба	Оперативный	Обеспечение определенных объемов продаж к моментам свершения требуемых вех (событий), реализация продукта на разных стадиях проекта, удовлетворение потребностей конечных потребителей продукта проекта, осуществление маркетинговых мероприятий	Детальный уровень

Ниже представлены основные принципы, по которым построены сетевые модели управления проектной деятельностью с позиций ключевых заинтересованных сторон.

#### Принцип 1. Отражение всех свойств объектов моделирования

Новые сетевые модели должны соответствовать объекту моделирования. Они должны включать временные, ресурсные и другие ограничения. Необходимо учитывать альтернативный, стохастический, вероятностный характер объекта моделирования.

#### Принцип 2. Универсальная сетевая модель

Предложенные модели должны обладать признаком универсальности. Для этого в сетевой модели для учета интересов разных заинтересованных сторон должны быть отображены разные виды технологических зависимостей, ресурсов и других видов ограничений.

#### Принцип 3. Одна модель для одной роли

Каждая сетевая модель управления проектной деятельностью для отдельной роли (Инвестор, Заказчик, Поставщик и т.д.) должна учитывать пользовательские требования данного стейкхолдера. Каждая отдельная модель должна включать набор определенных элементов, обеспечивающих стейкхолдеру эффективное исполнение своих функций в рамках роли.

#### Принцип 4. Комбинирование отдельных моделей

Как уже было замечено выше, часто одна и та же компания может выступать в двух и более ролях стейкхолдеров. Иногда все роли могут быть сосредоточены «в одной руке», иногда – «несколько, но не все». Число таких возможных комбинаций может быть довольно большое.

Действительно, если  $n$  – число стейкхолдеров, то  $C_n^k$  – число различных комбинаций из  $n$  по  $k$ , причем на каждую комбинацию остальные  $n-k$  стейкхолдеров могут образовывать свои различные комбинации. Итого получаем

$$\sum_{k=0}^n C_n^k \sum_{i=0}^{n-k} C_{n-k}^i = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot 2^{n-k} = (1+2)^n = 3^n. \quad (4.2.1)$$

При 7 стейкхолдерах получаем  $3^7=2187$  вариантов различных сочетаний!

Таким образом, должна существовать возможность для автоматизированного сочетания отдельных моделей управления и создания комбинированных моделей. Назовем такие модели комбинированными моделями.

#### Принцип 5. Комплексность

Главной моделью крупного проекта является комплексная укрупненная сетевая модель, включающая все виды проектной деятельности на протяжении всего жизненного цикла проекта (подготовку проекта, управление проектом, проектирование, создание, материально – техническое снабжение, продажи и получение выручки, и использование продукта). В модели отражаются все виды деятельности стейкхолдеров и состояние интересующих их параметров. Назовем эту модель комплексная модель.

Иерархически комплексная модель может включать как отдельные, так и комбинированные модели.

#### **Комплексная укрупненная сетевая модель (КУСМ)**

Как было отмечено выше, главной должна является Комплексная Укрупненная Сетевая Модель (КУСМ), содержащая в себе отдельные модели разных заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и их возможные комбинации, т.е. комбинированные модели. КУСМ предназначена для высшего руководства, лиц, принимающих стратегические решения по проекту и проектной деятельности.

Модель входит в состав инструментов для управления проектной деятельностью (далее ПД) с позиций различных стейкхолдеров. КУСМ является основным элементом программного продукта, содержащего средства управления проектом для разных заинтересованных сторон. Включает все виды деятельности и все отдельные и комбинированные модели.

### ***Назначение модели КУСМ***

Составление на ее основе перспективного плана создания продукта проекта, включающего все виды деятельности его участников (стейкхолдеров) на протяжении жизненного цикла проекта от организации работ по проекту до реализации проектной продукции – мониторинга, контроля, анализа, регулирования, прогнозирования, т.е. весь управленческий цикл, включая обратную связь. Перспективный план должен учитывать и описывать технологическую последовательность отдельных процессов и работ по всем видам включенной в него деятельности на основе универсальной сетевой модели.

### ***Состав модели КУСМ***

КУСМ представлена ориентированным графом, в котором представлены в технологической взаимосвязи все работы по организации проекта, управлению проектом, проектированию, обеспечению и осуществлению комплектных поставок, технологического и других видов оборудования, строительству, монтажу, пуску, наладке, вводу в эксплуатацию, выполнению надзорных функций со стороны органов власти, а также процессы реализации готовой продукции, как в период создания продукта, так и после его завершения.

Основными составными частями КУСМ являются отдельные сетевые модели и их возможные комбинации, т. е. комбинированные модели. Все эти модели, входящие в состав КУСМ, представляют собой сетевые модели с разной степенью агрегированности (см. рис.28).

### ***Преимущество используемой модели КУСМ***

- Использование универсального аппарата моделирования.
- Комплексность, учет всех фаз и процессов жизненного цикла создания проектного продукта.
- Учет интересов всех основных стейкхолдеров, представление им комфортных условий для выполнения своих функций в проектной деятельности.

- На основе этого достигается высокий уровень совершенствования управления и высокая эффективность самой ПД.

Рассмотрим далее назначение и состав отдельных сетевых моделей.

### ***Детальная сетевая модель (ДСМ)***

ДСМ предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями нижнего уровня. На ее основе составляются оперативные графики выполнения работ, поставок и других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, регулирование и обратная связь. ДСМ является процессной моделью всех видов деятельности и работ по созданию проектного продукта. ДСМ представлена ориентированным графом, в котором в технологической взаимосвязи показаны все работы с детерминированными и вероятностными характеристиками, с альтернативными, детерминированными и вероятностными связями, с возможностью образования циклов, т.е. описание проекта произведено с использованием всех возможностей УЦАСМ, описанной в главе 3. Главными элементами ДСМ являются работы, события, зависимости, временные и ресурсные ограничения.

### ***Инвестиционно–финансовая модель (ИФМ)***

ИФМ является укрупненной (агрегированной) моделью проекта, содержащей возможные варианты его реализации. Предназначена для Инвестора и высшего руководства ПД, принимающего стратегические решения. Включает все виды деятельности и их финансовые характеристики, необходимые для организации работ Инвестора и взаимодействующих с ним структур. На ее основе составляются перспективные и среднесрочные планы финансирования проекта, включающие все виды деятельности Инвестора на протяжении жизненного цикла от организации проекта до его реализации. А также для мониторинга, контроля, анализа, регулирования и прогнозирования. ИФМ учитывает и описывает технологическую последовательность отдельных процессов и работ по всем видам включенной в него деятельности для

обеспечения проекта необходимыми средствами и отслеживания процесса финансирования. Основными элементами модели являются центры затрат, инвестиций, доходов, прибыли взаимосвязи, события и вехи, ограничения.

### ***Приемо–сдаточная модель (ПСМ)***

ПСМ входит в состав инструментов для управления ПД с позиций Заказчика и связанных с ним структур. Предназначена для составления перспективного плана создания проектного продукта и поэтапного плана сдачи его готовых элементов (комплексов). В основе формирования ПСМ находится декомпозиция проекта на эти этих сдаточные элементы. Все элементы имеют свои измерения (трудоемкость, килограммы, длина, ширина, объемы работ, продолжительности) и все допустимые типы зависимостей между ними.

### ***Укрупненная сетевая модель (УСМ)***

УСМ является средством управления проектом для Генконтрактора и предназначена для составления перспективных и среднесрочных планов создания продукта проекта, включающего все виды деятельности Генконтрактора на протяжении жизненного цикла от организации проекта до его реализации. А также для мониторинга, контроля, анализа и регулирования, прогнозирования, включая обратную связь. УСМ представлена ориентированным универсальным или специальным графом, в котором показаны в технологической взаимосвязи все работы по организации проекта, управлению проектом, проектированию, обеспечению комплектных поставок, технологического и других видов оборудования, строительству, монтажу, пуску, наладке, вводу в эксплуатацию, выполнению функций авторского надзора.

### ***Операционно-логистическая модель (ОЛМ)***

ОЛМ предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями Поставщика и его структур. На ее основе составляются оперативные графики планирования и осуществления поставок и других логистических видов деятельности для обеспечения проекта всеми

необходимыми материалами и оборудованием, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, регулирование и обратная связь. ОЛМ предназначена для управления поставками и обеспечения качества, как поставляемых материалов, так и качества процесса организации поставок. Главными элементами ОЛМ являются: место, время, объемы, сроки операций и поставок и их продолжительности, временные, стоимостные и ресурсные ограничения.

### ***Модель исполнения властных полномочий (МИВП)***

МИВП предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями организаций, исполняющих функции регулирующих и надзорных органов, а также – органами власти. На ее основе составляются оперативные графики выполнения работ и других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, анализ, регулирование и обратная связь. Применение модели дает возможность регулирующим и надзорным органам, а также органам власти, обеспечивать исполнения требований законодательства разных уровней, согласование и экспертиза документов, учет национальных, страновых, социокультурных, географических, политических, экологических и других факторов (зависит от масштаба проекта). Главными элементами МИВП являются экспертные решения, разрешения, согласования, налоги, санкции, продолжительности операций, события, зависимости, временные и ресурсные ограничения.

### ***Доходная модель (ДМ)***

ДМ предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями коммерческой службы, отвечающей за реализацию проектного продукта. На ее основе составляются оперативные графики выполнения работ, событий, других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, анализ, регулирование, прогнозирование и обратная связь. Главными элементами ДМ

являются вехи, работы по маркетингу и продажам, зависимости, обратный расчет, договора, финансовые параметры, работа с рекламациями.

### 4.3.2 Математическая модель

Общая математическая модель интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами выглядит следующим образом:

$$Q_i(ДСМ)=G_i, (i=1,2,\dots,6), \quad (4.2.2)$$

где  $G_i = (ИФМ \vee ПСМ \vee УСМ \vee ОЛМ \vee МИВП \vee ДМ)$ ,

$$R_i(G_i), \quad (4.2.3)$$

– план, оптимальный по критериям  $i$ -го стейкхолдера,

$$Q_i^{-1}[R_i(G_i)] = ДСМ', \quad (4.2.4)$$

– оператор, обратный агрегированию сетевой модели для  $i$ -го стейкхолдера, заключается в задании ограничений на отдельные работы, комплексы работ, вехи в детальной сетевой модели.

### 4.3.3. Алгоритм интеграции моделей

Принятие решений в интегрированной информационно-аналитической системе управления проектами определяется последовательностью выполнения преобразований (4.2.2)-(4.2.4), учитывающей приоритетность стейкхолдеров в конкретном проекте. На практике наиболее распространенной схемой является:



В приложении 1 приведен полный перечень функций управления проектом на всех стадиях его жизненного цикла. В схеме интеграции, приведенной на рис.27, использованы все разработанные и описанные в главе 2 математические модели, показаны информационные потоки, циркулирующие в интегрированной системе управления проектом между всеми стейкхолдерами.

В таблицах 22-25 дано соответствие разработанных моделей реализуемым функциям из полного перечня.

#### **4.4. Выводы по четвертой главе**

На представленной в данной главе схеме дано соответствие разработанных моделей реализуемым функциям из полного перечня, показаны информационные потоки, циркулирующие в интегрированной системе управления проектом между всеми стейкхолдерами.

Описанные информационно-логическая схема взаимодействия стейкхолдеров, процедуры агрегирования сетевых моделей, алгоритм интеграции, в котором использованы все разработанные в диссертации математические модели, являются основой для создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами, учитывающей сложные реалии современного мира и обеспечивающей целостность и полноту выполняемых функций.

## **ГЛАВА 5. ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И РАЗРАБОТОК ДИССЕРТАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ И УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

### **5.1. Использование разработанных моделей и методов управления проектами в строительных организациях**

5.1.1. Федеральная строительная компания полного цикла «ИНСИ» г.Челябинск.

Организация ИНСИ находится в городе Челябинске по адресу 454091, г. Челябинск, ул. Либкнехта, 2.

Деятельность организации заключается в следующем:

- Комплексное строительство зданий и сооружений любой степени сложности по всей России и СНГ.
- Изготовление товарного бетона, металлоконструкций.
- Монтаж фасадных систем.
- Утепление и облицовка фасадов зданий металлокерамическим сайдингом и стеновым профилем.
- Строительство и реконструкция кровель из металлочерепицы и профилированного листа.
- Техническая консультация и шефмонтаж.

Исходная информация по объемам производства и реализации строительной продукции организации ИНСИ, произведенные расчеты с использованием моделей п.2.7 и полученные выводы и рекомендации содержатся в приложении 2.

5.1.2. Агентство недвижимости Риэлт Стройком входит в состав компании Стройком г.Челябинск, реализуя в ней функции коммерческой службы.

Компания Стройком осуществляет комплексную реализацию проектов «под ключ» в отраслях гражданского, энергетического, инфраструктурного и промышленного строительства, а также оказывает отдельные профессиональные услуги:

- Управление инвестиционно-строительными проектами.
- Организация и управление генеральным подрядом.

- Реализация функций технического заказчика.
- Негосударственная экспертиза проектной документации и результатов инженерных изысканий.
- Строительный контроль и охрана труда.

В компании разработана собственная система управления проектами, объединяющая различные технологии, и базирующаяся на положениях следующих стандартов:

- Стандарт IPMA International Competence Baseline (ICB) 3.0.
- Стандарт PMI Project Management Body of Knowledge Guide (PMBOK Guide).
- Национальные Требования к компетенции специалистов по управлению проектами (НТК), разработанные Российской Ассоциацией Управления Проектами.

Так как описанные в данном диссертационном исследовании математические модели и методы также соответствуют выше перечисленным стандартам, то это существенно облегчило проблему их совместимости при внедрении. Исходная информация по объемам строительства и реализации жилья организации Риэлт Стройком, произведенные расчеты с использованием моделей п.2.7 и полученные выводы и рекомендации содержатся в приложении 3.

## **5.2 Использование разработанных моделей и методов управления проектами в инвестиционных компаниях**

### **5.2.1 Инвестиционно-консалтинговая компания ООО ПРОФ МЕДИА г.Челябинск.**

Основная сфера деятельности инвестиционно-консалтинговой компании ООО ПРОФ МЕДИА относится к оказанию услуг по разработке проектов различной степени сложности для организаций, занимающихся строительством жилых сооружений, строительством в промышленном секторе, созданием и

развитием агрокомплексов. Инвестиционно-консалтинговая компания ООО ПРОФ МЕДИА располагается в Челябинске на ул. Татьянической, 12Б.

Результаты использования разработанных в диссертации моделей и методов управления проектами в инвестиционно-консалтинговой компании ООО ПРОФ МЕДИА представлены в акте (приложение 6).

#### 5.2.2. ООО страховая компания «ЮЖУРАЛ-АСКО» г. Челябинск.

Страховая компания ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО» образована 15 марта 1990г.

Адрес компании: Россия, 454091, г. Челябинск, ул. Красная, д.4.

Основной вид деятельности: страхование.

Компания имеет широко разветвлённую региональную сеть. Филиалы и представительства ЮЖУРАЛ-АСКО открыты в 70 городах и административных районах Челябинской и Курганской областей. При этом она планирует расширяться и открывать свои филиалы и представительства в других городах и регионах. Где лучше открыть филиал, какую прибыль он будет приносить, как скоро окупятся затраты на его открытие – эти вопросы регулярно встают перед руководством компании. Ответы на них даёт математическая модель (2.7.5), которая связывает ключевые социальные показатели с прибылью организации, позволяет сделать прогноз на перспективу и оценить привлекательность того или иного проекта открытия нового филиала.

Исходная информация по функционирующим филиалам ЮЖУРАЛ-АСКО, произведенные расчеты и полученные выводы и рекомендации содержатся в приложении 4.

### **5.3 Использование разработанных моделей и методов управления проектами в учебном процессе**

Разработанная методология управления проектами используется в учебном процессе в Южно-Уральском государственном университете, Высшей Школе Экономике (Москва) и Омском государственном университете при чтении курсов «Современные методы моделирования в менеджменте», «Математические методы и модели управления процессом создания

проектов». Рабочая программа дисциплины «Математические методы и модели управления процессом создания проектов» приведена в приложении 5.

Изначально анализ методологических посылок в преподавании указанных дисциплин уходит в анализ ее предметной области. Здесь мы сталкиваемся с противоречивыми мнениями: часть специалистов считают УП наукой, часть относят ее к науке в той же мере, что и философию. В строгом понимании УП нельзя отнести к науке, так как в этой дисциплине нет теоретических предположений (аксиом), гипотез, нет возможности новую посылку перепроверить в чистом виде, проведя повторение эксперимента. Но в УП есть стороны, характеризующие эту дисциплину как научную: в любом проекте присутствуют расчетные и логические методы, позволяющие обосновать и принять управленческие решения.

Проектная деятельность в основе своей имеет принципиальное общее начало с искусством, поскольку и то и другое имеет предметом создание нового, уникального. Таким образом, можно прийти к выводу, что УП – это конгломерат искусства и науки.

В современной учебно-методологической литературе по УП дается много разнородных, часто не совсем совпадающих по содержанию определений проекта. Поэтому во избежание разночтений и для внесения определенности, мы приводим свое краткое определение: проект – это комплекс мероприятий, направленных на получения нового (уникального) продукта, выполняемых в рамках ограниченных ресурсов.

Подходя системно в изложении материала, при рассмотрении жизненного цикла проекта автор последовательно движется от начальной точки инициации через четкую постановку цели проекта, и последующего фиксирования задач проекта, при решении которых мы реализуем цель проекта. В соответствии с поставленными задачами и условиями окружения проекта, определяются ресурсы, необходимые для решения задач. Здесь ресурсы понимаются в

широком семантическом наполнении: время, финансы, материально-технические, людские и т.д.

Большое внимание уделяется взаимоотношениям разных заинтересованных сторон при управлении проектом. В зависимости от объема выделенных часов на изучение дисциплин материал данного диссертационного исследования излагается в той или иной степени подробности.

В обратной связи (оценке эффективности методологии преподавания) – в обратном влиянии результатов обучения на методы преподавания и в самой оценке результата преподавания отдается предпочтение не собственно знаниям, а навыкам. Так, в преподавании УП нельзя ограничиться чисто дистанционным вариантом, а оценке знаний традиционным западным вариантом тестирования: выбором ответа на вопрос из предлагаемых фиксированных ответов. В этом случае невозможно создать статистически обоснованную объективную систему оценок знаний во всех областях дисциплины УП. С методологической точки зрения, нам более импонирует система оценки профессионального уровня (система сертификации) по версии IPMA, нежели, например, по версии PMI. Поскольку первая ориентирована в основе на оценку компетенции, вторая – на оценку знаний. Хотя в последнее время разработчики системы сертификации PMI осознали недочеты своей системы и предпринимают действия к их устранению.

Как показывает опыт внедрения проектов и преподавания дисциплин УП, значительная часть западных методик не эффективна в условиях ведения бизнеса в СНГ. Прямой перенос западных приемов и технологий для нас не приемлем. Мы должны осознанно подходить к выбору методик преподавания с учетом российских особенностей ведения бизнеса, национальных традиций и специфики российского характера, личностных качеств и интересов потребителей образования.

#### **5.4. Выводы по главе 5**

Разработанная автором методология создания информационно-аналитической системы в области УП позволяет принципиально повысить производительность процесса управления проектной деятельностью.

Применение конвергенции математических моделей, технологий и программных средств при разработке и внедрении систем управления проектами в крупных организациях подтвердило их продуктивность и корректность критериев выбора проектных решений.

В перечисленных выше организациях наряду с предложенными в данном диссертационном исследовании применялись и другие методы и средства управления проектами (организационные, технологические, финансово-аналитические), поэтому выделить в количественном выражении ту часть эффекта, которая относится именно к данным моделям, весьма затруднительно. Качественные показатели эффективности отмечены в актах внедрения (приложение к диссертации) и связаны с обеспечением целостности системы управления, повышением ее гибкости и адекватности, возможностью выбора оптимальных решений по различным критериям и т.д.

Кроме вышенеречисленного, научные положения и разработки диссертации, в том числе математические модели стейкхолдеров, модели описания сложных проектов, а также методика формирования информационно-аналитической системы управления проектами предложены министерству информационных технологий и связи Челябинской области и приняты для использования при анализе и управлении сложными проектами в социальных и экономических системах.

Соответствующие акты представлены в приложении к диссертации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

Диссертационное исследование, связанное с созданием информационно-аналитической системы управления проектами на основе комплекса математических моделей функционирования различных стейкхолдеров, позволило решить важную народно-хозяйственную проблему повышения эффективности разработки и реализации сложных комплексных проектов в условиях нарастания рисков, нестабильности внешней среды и противоречий между различными участниками проектного управления.

Основные выводы и результаты заключаются в следующем:

1. Проведен ретроспективный анализ развития теории стейкхолдеров применительно к управлению проектами, определены требования к их компетентности. При этом описаны процедуры, позволяющие формировать для каждого стейкхолдера свою сетевую модель соответствующей степени агрегированности, что позволило использовать целостную модель описания проекта и обеспечить методологическую и информационную совместимость всех входящих в его состав компонент.

2. Осуществлен анализ эволюции сетевых методов управления проектами. При этом введены единые обозначения и толкования основных понятий, что позволило систематизировать описания всех существующих моделей и методов проектного управления, выявить их недостатки, такие как неадекватность сложности современных комплексных проектов, их стохастической структуре, динамичности ресурсных, временных и других характеристик.

3. Разработан комплекс взаимосвязанных математических моделей управления проектами с позиций стейкхолдеров, таких как инвестор, заказчик, поставщик, руководитель проекта и его команда, регулирующие органы, коммерческая служба. На основе этих моделей создана интегрированная информационно-аналитическая система управления проектами, позволившая существенно повысить качество и эффективность проектной деятельности.

4. Предложена новая универсальная циклическая альтернативная сетевая модель (УЦАСМ), обеспечивающая возможность адекватного описания сложного проекта и не имеющая выявленных недостатков разнообразных моделей проектного управления. Этот класс моделей обладает широкими возможностями описания логико-временных взаимосвязей между элементами проекта с вероятностными и стохастическими параметрами. УЦАСМ обеспечивает эффективное функционирование и взаимодействие разработанных математических моделей для различных стейкхолдеров в рамках предложенной интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами.

5. Разработана методология создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами на основе представленных в диссертации математических моделей и методов. Подобная система позволяет осуществлять управление проектами в современных динамически меняющихся условиях окружающей среды, обеспечивая взаимодействие различных сторон, участвующих в проектной деятельности.

6. Осуществлено внедрение научных положений и разработок диссертационного исследования в практику управления проектами, что повысило эффективность их деятельности (акты внедрения прилагаются). Разработанные модели и методы решения отдельных задач применялись в системе обработки информации Агентства недвижимости Риэлт Стройком, входящей в состав компании Стройком г.Челябинск, Федеральной строительной компании полного цикла «ИНСИ» г.Челябинск, инвестиционно-консалтинговой компании ООО ПРОФ МЕДИА г.Челябинск, ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО» г.Челябинск, а также используется в учебном процессе в ЮУрГУ, ВШЭ и ОГУ.

Данное исследование предназначено профессионалам в сфере управления проектами – руководителям высшего и среднего звена, осуществляющим свою деятельность на стратегическом и тактическом уровнях управления и

принимающим решения при реализации проектов, программ и портфелей. Кроме того, работа представляет интерес для преподавателей, студентов старших курсов, аспирантов высших учебных заведений, руководителей и членов проектных команд, всех участников проектов, консультантов в сфере управления проектами.

**Основные положения диссертационной работы изложены в публикациях:**

*Статьи в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук:*

1. Гельруд, Я.Д. Оптимизация развития холдинговой структуры с использованием нечеткой логики / Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2007. – № 3. –С. 182-190.

2. Воропаев, В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами (часть 1) / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2008. –№1. –С. 2–13.

3. Воропаев, В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами (часть 2) / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2008. –№ 2. –С.92–104.

4. Воропаев, В.И. Принятие решений в управляемых циклических альтернативных сетевых моделях для проектов с детерминированными ветвлениями / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд, Д.И.Голенко-Гинзбург, А.Бен-Яр. // Управление проектами и программами. –2010. –№ 1. –С. 4-14.

5. Гельруд, Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / Я.Д.Гельруд // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Математика, механика, информатика. – 2010. –Т. 10. –№ 4. –С. 36-51.

6. Мохов, В.Г. Принципы отбора стратегий предпринимателем при оценке эффективности инвестиционного проекта, поддающегося дроблению /

В.Г.Мохов, Я.Д.Гельруд // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. –2011. –№ 41 (258). –С. 81-84.

7. Гельруд, Я.Д. Учет предпринимательских рисков при формировании инвестиционного портфеля / Я.Д.Гельруд, В.Г.Мохов, Н.В.Ким // Современные проблемы науки и образования. –2012. –№ 1. –С. 243.

8. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2012. –№4. –С. 258–269.

9. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для заказчика / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2013. –№1. –С. 18–29.

10. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для инвестора / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2013. –№2. –С. 102–112.

11. Головин, В.Ю. Современные инструменты эффективного менеджмента в малом бизнесе / В.Ю.Головин, Я.Д.Гельруд, В.Г.Мохов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. –2013. –Т. 7. –№ 2. –С. 126-130.

12. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для поставщика / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2013. –№3. –С. 180–196.

13. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для регулирующих органов / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2013. –№4. –С. 272–283.

14. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для руководителя и его команды управления проектом (часть 1) / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2014. – №1. – С. 62–71.

15. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для руководителя и его команды управления проектом (часть 2) / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами. –2014. –№ 2. –С. 94–102.

16. Воропаев, В.И. Функциональные модели управления проектной деятельностью для разных заинтересованных сторон / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд, О.А.Клименко // Управление проектами и программами. –2014. – № 4. –С. 266-278.

17. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для коммерческой службы/ В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд, О.А.Клименко // Управление проектами и программами. –2015. –№ 1. –С. 16-25.

18. Логиновский, О.В. Разработка комплекса адекватных математических моделей, реализующих функции различных стейкхолдеров и позволяющих обеспечить их эффективное взаимодействие при управлении сложным проектом. / О.В.Логиновский, Я.Д.Гельруд // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». –2015. –№ 2. –С. 131-138.

***Монографии:***

19. Гельруд, Я.Д. Модели и методы управления проектами в условиях риска и неопределенности / Я.Д.Гельруд.– Челябинск: ЮУрГУ, 2006. -220 с.

20. Воропаев, В.И. Управление проектами для стейкхолдеров / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд, О.А. Клименко.–М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 278 с.

***Статьи в Российских и зарубежных изданиях:***

21. Гельруд, Я.Д. Модели снабжения ресурсами для проектов со случайными параметрами / Я.Д.Гельруд, С.М.Любкин, Д.И.Голенко-Гинзбург, А.Гоник, С.Ситняковский // Труды международного симпозиума «SOVNET – 99»: Управление проектами: Восток–Запад — грань тысячелетий. SOVNET. М. 1999, декабрь 1–4, Т1. –С.229-231.

22. Воропаев, В. И. Новые модели и методы для управления проектами / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд, С.М.Любкин, Б.П.Титаренко, Д.И.Голенко-Гинзбург // Труды международного симпозиума «SOVNET – 99»: Управление проектами: Восток–Запад — грань тысячелетий. SOVNET. М. 1999, декабрь 1–4, Т1. –С.295-311.

23. Воропаев, В.И. Принятие решений в иерархических системах управления проектами / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд, С.М.Любкин, В.С.Резер, Д.И.Голенко-Гинзбург // Труды международного симпозиума «СОВНЕТ – 99»: Управление проектами: Восток–Запад — грань тысячелетий. SOVNET. М. 1999, декабрь 1–4, Т1. –С.291-294.
24. Любкин, С.М. Многоуровневая модель управления проектами со стохастическими параметрами / С.М.Любкин, В.С.Резер, Я.Д.Гельруд, В.И.Иванов // -М.: ВИНТИ. №6 (транспорт; наука; техника; управление). 1999. –С. 34-37.
25. Voropaev, V. I. Cyclic stochastic alternative network models for project management / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // Communications in Dependability and Quality Management, Casak, Serbia. Vol. 7. №2. 2004. -С.15-29.
26. Voropaev, V.I. Cyclic alternative network models for project management / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // In: Proceedings of the 17th World Congress on Project Management, June 4–6. 2003.
27. Гельруд, Я.Д. Циклические альтернативные сетевые модели и методы календарного планирования при управлении проектами / Я.Д.Гельруд // Труды Всероссийской научно-практической конференции: Актуальные проблемы развития экономики России. Челябинск.: ЮрГУ. 2000.
28. Гельруд, Я.Д. Использование ЦАСМ при формировании плана минимальной стоимости / Я.Д.Гельруд // Состояние и проблемы социально-культурной и экономической сферы города: Сборник научных трудов. Вып.7. Ч.1. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2000.
29. Логиновский, О.В. Циклическая стохастическая сетевая модель как универсальное средство моделирования задач планирования и управления проектами в социальных и экономических системах. / О.В.Логиновский, Я.Д.Гельруд, И.В. Емельянова // Сб. научных трудов Международного научно-практического семинара: Вопросы информатизации и управления органов государственной власти и местного самоуправления. -Челябинск. 2000. -27 с.

30. Авербах, Л.И. Выбор критерия оптимальности при моделировании задач планирования и управления проектами в условиях риска и неопределенности с использованием циклической альтернативной сетевой модели / Л.И.Авербах, Я.Д.Гельруд // Труды Международной научно-практической конференции: Актуальные проблемы реформирования экономики и законодательства России и стран СНГ. Челябинск.: ЮрГУ. 2001.

31. Гельруд, Я.Д. Использование циклической альтернативной сетевой модели при разработке информационных систем в региональном пространстве / Я.Д.Гельруд // Труды Международной научно-практической конференции: Актуальные проблемы реформирования экономики и законодательства России и стран СНГ. Челябинск.: ЮрГУ. 2002.

32. Мохов, В.Г.Использование срока окупаемости инвестиций для анализа эффективности проекта / В.Г.Мохов, Я.Д.Гельруд // Экономика. Информатика. Безопасность Сборник научных трудов региональной научно-практической конференции 29 апреля 2007 года, Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2008.

33. Мохов, В.Г.Учет рисков при оптимизации инвестиционного портфеля / В.Г.Мохов, Я.Д.Гельруд // 60 конференция ЮУрГУ. 21-22 мая 2008.

34. Гельруд, Я.Д. Применение циклических альтернативных сетевых моделей при управлении сложными проектами / Я.Д.Гельруд // Наука ЮУрГУ: материалы 61 научной конференции. –Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,2009.

35. Гельруд, Я.Д. Методы решения задач планирования сложного проекта с постоянной интенсивностью ведения работ при ограниченных ресурсах / Я.Д.Гельруд // Наука ЮУрГУ: материалы 62 научной конференции. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,2010.

36. Гельруд, Я.Д. Оптимальное распределение инвестиционного портфеля с использованием методов математического программирования / Я.Д.Гельруд // Наука ЮУрГУ: материалы 63 научной конференции. –Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,2011.

37. Гельруд, Я.Д. Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон / Я.Д.Гельруд // Наука ЮУрГУ: материалы 64 научной конференции.–Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,2012.

38. Voropaev, V.I. Mathematical Models of Project Management For Interested Parties / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal. Vol. I, Issue X – October. 2012.

39. Voropaev, V.I. Project management mathematical models for the customer / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. II, Issue III – March 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

40. Voropaev, V.I. Project management mathematical models for the investor / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. II, Issue IV – April 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

41. Averbach, L.I. Modeling the project management tasks under the risk and uncertainty conditions with a cyclic alternative network model / L.I. Averbach, V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. II, Issue V – May 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

42. Voropaev, V.I. Project management mathematical models for the supplier / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. II, Issue VII – July 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

43. Voropaev, V.I. Cyclic stochastic alternative network models for project management / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. II, Issue VIII – August 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

44. Voropaev, V.I. Decision Making in Controlled Cyclic Alternative Network Projects with Deterministic Branching Outcomes/ V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud, D. Golenko-Ginzburg // PM World Journal Vol. II, Issue IX – September 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

45. Voropaev, V.I. Project management mathematical models for the regulatory agencies/ V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. II, Issue X – October 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

46. Voropaev, V.I. Mathematical Models of Management for a Manager and his Team / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. III, Issue I – January 2014. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

47. Воропаев, В.И. Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон / В.И. Воропаев, Я.Д.Гельруд // Труды XII Всероссийского совещание по проблемам управления, Москва, ИПУ РАН, 16-19 июня 2014 г. <http://vsru2014.ipu.ru/node/8581>

48. Voropaev, V.I. Functional models for project management activities from position of different interested parties / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud, O.Klimenko. // PM World Journal Vol. III, Issue 8 – August 2014. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

49. Гельруд, Я.Д. Об одном способе принятия решений в управляемых циклических альтернативных сетевых моделях / Я.Д.Гельруд // НАУКА ЮУрГУ материалы 66-й научной конференции (Электронный ресурс). 2014. С. 652-654.

50. Гельруд, Я.Д. Математические модели управления комплексным проектом со стороны местных органов власти / Я.Д.Гельруд // НАУКА ЮУрГУ материалы 66-й научной конференции (электронный ресурс). 2014. С. 645-652.

51. Gelrud, Y.D. The algorithm for generating an optimal investment portfolio / Y.D.Gelrud // PM World Journal Vol. III, Issue 10 – October 2014. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

52. Voropaev, V. I. Project management mathematical models for sales department of the organisation (on the example from construction industry) / V.I.Voropaev, Y.D.Gelrud, O.Klimenko // PM World Journal Vol. IV, Issue 1 – January 2015. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net)

***Учебные пособия:***

53. Гельруд, Я.Д. Электронный учебно-методический комплекс «Методы принятия решений» / Я.Д.Гельруд. - Челябинск: ЮУрГУ. Инвентарный номер ВНТИЦ 50200700891, 2007. -88 с.

54. Гельруд, Я.Д. Электронный учебно-методический комплекс «Математика» / Я.Д.Гельруд. - Челябинск: ЮУрГУ. Инвентарный номер ВНТИЦ 50200700887, 2007. -88 с.

55. Гельруд, Я.Д. Электронный учебно-методический комплекс «Линейное программирование» / Я.Д.Гельруд. - Челябинск: ЮУрГУ. Инвентарный номер ВНТИЦ 50200700890, 2007. -88 с.

56. Гельруд, Я.Д. Электронный учебно-методический комплекс «Теория вероятностей и математическая статистика» / Я.Д.Гельруд. - Челябинск: ЮУрГУ. Инвентарный номер ВНТИЦ 50200700892, 2007. -88 с.

57. Гельруд, Я.Д. Математика в экономике. Математические модели: учебное пособие / Я.Д.Гельруд. Урал. соц.-экон. ин-т АТиСО. –Челябинск, 2005.-152 с.

58. Гельруд, Я.Д. Математика для юридических и гуманитарных специальностей: Учебно-методический комплекс / Я.Д.Гельруд. –Челябинск: ЮУрГУ. 2005. – 242 с.

59. Гельруд, Я.Д. Модели управления процессом создания проектов: учебное пособие / Я.Д.Гельруд. –Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.-58 с.

60. Гельруд, Я.Д. Основы методологии принятия решений: учебное пособие / Я.Д.Гельруд. –Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.-69 с.

Учебные пособия 53-56 сданы в ОФАП (см. приложение 7).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алтунин, А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография / А.Е.Алтунин, М.В.Семухин. - Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000.
2. Андерсен, Э. Сфокусированное управление проектом: Пер. с англ. / Э.Андерсен, К. Груде, Т.Хауг. –М.: Гранд-Фаир, 2006. –540 с.
3. Ансофф, И. Стратегический менеджмент / И.Ансофф, –СПб.: Питер, 2009. –344 с.
4. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов.–М.: Финансы и статистика, 2005.
5. Аньшин, В.М. Исследование методологии оценки и анализ зрелости управления портфелями проектов в российских компаниях / В.М. Аньшин, О.Н. Ильина. –М.: Инфра-М, 2010. –200 с.
6. Аньшин, В.М. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности / В.М.Аньшин, И.В.Демкин, И.М.Никонов, И.Н.Царьков. –М.: МАТИ, 2008. –194 с.
7. Асаул, А.Н. Интегративное управление в инвестиционно-строительной сфере / А.Н.Асаул, В.П. Грахов. –СПб.: Гуманистика, 2007. –248 с.
8. Асаул, А.Н. Снижение транзакционных затрат в строительстве за счет оптимизации информационного пространства / А.Н.Асаул, С.Н. Иванов. –СПб.: АНО «ИПЭВ», 2008. –300 с.
9. Асаул, А.Н. Государственное предпринимательство в строительстве (государственный строительный заказ) / А.Н.Асаул, В.А. Кощеев. –СПб.: АНО «ИПЭВ», 2009. –320 с.
10. Аскинадзи, В.М. Инвестиционное дело: Учеб. / В.М.Аскинадзи, В.Ф.Максимова, В.С.Петров. –М.: Маркет ДС, 2008. –512 с.
11. Арчибальд, Р.Д. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Р.Д. Арчибальд. - М.: АЙТИ системный интегратор, Изд-во ДМК, 2002.

12. Бажин, И.И. Анतिकоррупционные механизмы выбора поставщика в управлении ресурсным обеспечением / И.И. Бажин, Н.М.Баринаова, В.В. Сысоев. // «Руководитель бюджетной организации», 2011, N 8.
13. Бажин, И.И. Управление процессом закупок методом многокритериальной оценки выбора поставщика / И.И.Бажин, Н.М.Баринаова, В.В. Сысоев. // Проблемы теории и практики управления. 2006, N 8.
14. Балашов, В.Г. Механизмы управления организационными проектами / В.Г.Балашов, А.Ю.Заложнев, А.А.Иващенко, Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2003.
15. Балашов, В.Г. Модели и методы принятия выгодных финансовых решений / В.Г. Балашов. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003.
16. Баркалов, С.А. Теория и практика календарного планирования строительного производства / С.А.Баркалов. – Воронеж: Воронежская государственная архитектурно-строительная академия, 1999.
17. Баркалов, С.А. Минимизация упущенной выгоды в задачах управления проектами / С.А.Баркалов, В.Н. Бурков. – М.: ИПУ РАН, 2001.
18. Баркалов, С.А. Методы агрегирования в управлении проектами / С.А.Баркалов, В.Н.Бурков, Н.М. Гилязов. – М.: ИПУ РАН, 1999.
19. Бартенева, О.А. Управление инвестиционными программами и портфелями проектов: Справ. пособие. / О.А. Бартенева, и др. –М.: Дело, 2010. –576 с.
20. Белый, Е.М. Управление проектами / Е.М.Белый.–Ульяновск: УлГУ, 2006.
21. Бенко, К. Управление портфелями проектов: соответствие проектов стратегическим целям компании: Пер. с англ. / К.Бенко, Ф.Мак-Фарлан. – М.: Вильямс, 2007. –240 с.
22. Беркун, С. Искусство управления IT-проектами / С.Беркун. –СПб.: Питер, 2010. – 432с.
23. Богданов, В. В.Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом / В. Богданов. –М. : Манн, Иванов и Фербер, 2012. –248 с.

24. Боди, З. Принципы инвестиций / З.Боди, А.Кейн, А.Маркус. - М.: Вильямс, 2002.
25. Бурков, В.Н. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике / В.Н.Бурков, И.И.Горгидзе, Д.А.Новиков, Б.С. Юсупов. – М.: ИПУ РАН, 1997.
26. Бурков, В.Н. Организационные механизмы управления научно-техническими программами / В.Н.Бурков, Е.В.Грацианский, А.К.Еналеев, Е.В.Умрихина. – М.: ИПУ РАН, 1993.
27. Бурков, В.Н. Большие системы: моделирование организационных механизмов / В.Н. Бурков, Б.Данев, А.К. Еналеев и др. – М.: Наука, 1989.
28. Бурков, В.Н. Механизмы финансирования программ регионального развития / В.Н.Бурков, А.Ю.Заложнев, С.В.Леонтьев, Д.А.Новиков, Р.А. Чернышев. – М.: ИПУ РАН, 2002.
29. Бурков, В.Н. Теория графов в управлении организационными системами / В.Н.Бурков, А.Ю.Заложнев, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 2001.
30. Бурков, В.Н. Модели и методы мультипроектного управления / В.Н.Бурков, О.Ф.Квон, Л.А. Цитович. – М.: ИПУ РАН, 1998.
31. Бурков, В.Н. Как управлять проектами / В.Н.Бурков, Д.А. Новиков. - М.:СИНТЕГ-ГЕО, 1997.
32. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. -М.: Синтег, 1999.
33. Буркова, И.В. Метод дихотомического программирования в задачах управления проектами / И.В. Буркова. -Воронеж: ВГАСУ, 2004.
34. Бэгьюли, Ф. Управление проектом / Ф. Бэгьюли. –М.: Гранд-Фаир, 2002. –375 с.
35. Вайс, Д. 5 стадий управления проектом /Д. Вайс, Р. Высоцки. 2010. –82с.
36. Васильев, В.М. Управление в строительстве / В.М.Васильев, Ю.П.Панибратов, Г.Н.Лапин, В.А.Хитров. –СПб.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. –272 с.

37. Васильев, Д.К. Типовые решения в управлении проектами / Д.К.Васильев, А.Ю.Заложнев, Д.А.Новиков, А.В. Цветков.- М.: ИПУ РАН, 2003.
38. Взятыхшев, В.Ф. Введение в методологию инновационной проектной деятельности: Учебник для вузов / В.Ф. Взятыхшев. – М.: «ЕЦК», 2002.
39. Виленский, П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учеб. пособие. 4-е изд. / П.Л.Виленский, В.Н.Лившиц, С.А. Смоляк С.А. –М.: Дело, 2008. –1104 с.
40. Воропаев, В. И. Модели и методы календарного планирования в автоматизированных системах управления строительством / В. И. Воропаев. — М.: Стройиздат, 1975.
41. Воропаев, В. И. Управление проектами в России / В. И. Воропаев. — М.: Аланс, 1995.
42. Воропаев, В. И. Методические рекомендации по ресурсному анализу календарных планов на основе обобщенных сетевых моделей / В. И. Воропаев, Б.Я.Лебедь и др. — М.: ЦНИИЭУС, 1990.
43. Воропаев, В.И. Новые модели и методы для управления проектами / В.И.Воропаев, С.М.Любкин, Я.Д.Гельруд, Б.П.Титаренко, Д.И.Голенко-Гинзбург. // Труды международного симпозиума «СОВНЕТ – 99» :Управление проектами: Восток–Запад – грань тысячелетий SOVNET. -М. 1999, декабрь 1–4, Т1.
44. Воропаев, В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / В.И.Воропаев, Я.Д.Гельруд // Управление проектами и программами, 2008, №1–2.
45. Воропаев, В.И. Системный подход к управлению проектами и программами / В.И. Воропаев, Г.Секлетова. // Управление проектами, 2005, №3(3).
46. Воропаев, В.И. Решение задачи очередности строительства объектов мелиоративного комплекса на основе матричной модели / В.И. Воропаев // Тезисы доклада совещания по применению матметодов и ЭВМ в мелиорации и водном хозяйстве, - Ереван: ЦБНТИ Минмелиоводхоза СССР. — М., 1969.

47. Гельруд, Я.Д. Математика для экономистов / Я.Д.Гельруд. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005.
48. Гельруд, Я.Д. Модели и методы управления проектами в условиях риска и неопределенности / Я.Д.Гельруд. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006.
49. Гибсон, Р. Формирование инвестиционного портфеля: управление финансовыми рисками: Пер с англ./ Р.Гибсон. –М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. –538 с.
50. Гламаздин, Е.С. Механизмы управления корпоративными программами: информационные системы и математические модели / Е.С.Гламаздин, Д.А.Новиков, А.В. Цветков. – М.: Спутник, 2003.
51. Голенко, Д. И. Статистические методы сетевого планирования и управления / Д. И. Голенко. — М.: Наука, 1968.
52. Голенко-Гинзбург, Д. И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками / Д. И. Голенко-Гинзбург. – Воронеж: «Научная книга», 2010.
53. ГОСТ Р 548689-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом». - М.: Ростстандарт, 2012.
54. ГОСТ Р 54870-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов». - М.: Ростстандарт, 2012.
55. ГОСТ Р 54871-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению программами». - М: Ростстандарт, 2012.
56. Грачева, М.В. Риск-анализ инвестиционного проекта: Учеб. для вузов / М.В. Грачева. –М.: Юнити-Дана, 2001. –340 с.
57. Грей, К.Ф. Управление проектами / К.Ф.Грей, Э.У. Ларсон. –М.: Дело и Сервис, 2007. –2-е изд. –608 с.
58. Гриффит, А. Системы управления в строительстве: Пер. с англ / А.Гриффит, П.Стивенсон, П.Уотсон. –М.: Олимп-Бизнес, 2007. –464 с.
59. Дамодаран, А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов. Пер. с англ / А.Дамодаран. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 1342 с.

60. Дафт, Р. Менеджмент, 6-е изд. Пер. с англ. / Р.Дафт. – СПб.: Питер, 2007. – 864 с.
61. Джестон, Дж. Управление бизнес-процессами. Практическое руководство по успешной реализации проектов / Дж.Джестон, Й.Нелис. –СПб.: Символ-Плюс, 2008. –512 с.
62. Дипроуз, Д. Управление проектами / Д.Дипроуз. –М.: Эксмо, 2008. – 240 с.
63. Дитхелм, Г. Управление проектами / Г.Дитхелм. - СПб, Бизнес-пресса, 2003.
64. Дмитриев, Д.В. Управление проектами: Практ. рук-во / Д.В.Дмитриев, З.М.Дмитриева, М.Ю.Рыбаков и др. –М.: Юркнига, 2003. –240 с.
65. Домбкинс, Д. Менеджеры комплексных проектов / Д.Домбкинс. // Управление проектами и программами, 2007, №3(11); №4(12); 2008, №1(13).
66. Драган, З.М. Набор инструментов для управления проектами / З.М. Драган. – М.: АйТи; ДМК Пресс, 2008. – 729 с.
67. Евстигнеев, В.Т. Портфельные инвестиции в мире и России: выбор стратегии / В.Т. Евстигнеев. –М.: УРСС, 2002. –308 с.
68. Ершов, В.Ф. Бизнес-проектирование: руководство по применению / В.Ф. Ершов. –СПб.: Питер, 2005.
69. Ефремов, В.С. Проектное управление: модели и методы принятия решений / В.С. Ефремов. <http://www.cfin.ru/press/management/1998-6/11.shtml>
70. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.Заде. - М.: Мир, 1976.
71. Заренков, В.А. Управление проектами / В.А. Заренков. –М.; СПб.: АСВ; СПбГАСУ, 2010.
72. Зуховицкий, С. И. Математические методы сетевого планирования / С.И.Зуховицкий, И. А. Радчик. –М.: Наука, 1965.
73. Иванов, В.В. Основы управления проектами: Учеб. пособие / В.В.Иванов, А.В. Бельц. –М.: МИЭТ, 2000. –310 с.

74. Ильин, В.В. Проектный офис – Центр управления... проектами. Системный подход к управлению компанией / В.В. Ильин.–М.: Вершина, 2007. –264 с.
75. Ильин, А.В. Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения / А.В.Ильин, В.Д. Ильин. // Информационные технологии и вычислительные системы, №2, 2004.
76. Йордон, Э. Управление сложными Интернет-проектами / Э.Йордон. –М.: "Лори", 2002.
77. Календжян, С.О. Делегирование полномочий и ответственности. Система эффективного управления: Учеб. / С.О.Календжян, Г.Бёме.–М.: Дело, 2007. – 280 с.
78. Капустин, С.Н. Современные технологии управления для оптимизации бизнеса компаний / С.Н. Капустин. –М.: Дашков и К, 2002. –546 с.
79. Каппелс, Т.М. Финансово-ориентированное управление проектами / Т.М. Каппелс. –М.: Олимп-Бизнес, 2008. –400 с.
80. Карлинская, Е.В. Системы управления портфелями проектов в мире: состояние и перспективы развития в 2007-2008 гг. / Е.В. Карлинская. // Управление проектами и программами. 2008. № 3. С. 230.
81. Катасонов, В. Ю. Проектное финансирование: организация, управление риском, страхование/В. Ю.Катасонов, Д.С. Морозов. –М.: «Анкил», 2000. 272 с.
82. Кендалл, Дж. И. Современные методы управления портфелями проектов и Офис управления проектом / Дж.И.Кендалл, С.К. Роллинз. –М.: ПМСОФТ, 2004. –580 с.
83. Керцнер, Г. Стратегическое планирование для управления проектами с использованием модели зрелости / Г.Керцнер. Издательство: ДМК. 2003. – 320с.
84. Хелдман, К. Профессиональное управление проектами / К. Хелдман. – «Биним». –М.: 2005. – 517 с.
85. Клейнер, Г.Б. Стратегия предприятия / Г.Б. Клейнер. – М.: Дело, 2008. –568 с.

86. Клименко, О. А. Управление комплексными проектами: история вопроса, проблемы и подходы / Клименко О. А. // Российский журнал управления проектами, 2014, №3 (8).
87. Кокинз, Г. Управление результативностью. Как преодолеть разрыв между объявленной стратегией и реальными процессами / Г.Кокинз. –М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. –328 с.
88. Кокс, Дж. Цель: процесс непрерывного совершенствования / Дж.Кокс, Э.Голдратт. –М.: Попурри, 2007. –496 с.
89. Колосова, Е.В. Методика освоенного объема в оперативном управлении проектами / Е.В.Колосова, Д.А.Новиков, А.В. Цветков. – М.:Апостроф, 2001.
90. Колосова, Е.В. Управление проектами / Колосова Е.В., Халимов К.В., Цветков А.В. – М.: Высшая школа, 2001.
91. Коновальчук, Е.В. Модели и методы оперативного управления проектами / Е.В.Коновальчук, Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2004.
92. Королев Д. Эффективное управление проектами / Д.Королев. –М.: ОЛМА пресс, ИНЭС, 2003.
93. Костров, А. В. Информационный менеджмент. Оценка уровня развития информационных систем: Монография / А. В. Костров. - Владимир: ВлГУ, 2012. – 125 с.
94. Кофман, А. Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями / А.Кофман, Х.Хил Алуха. –Минск, Вышэйшая школа, 1992.
95. Кочетков, А.И. Управление проектами (зарубежный опыт) / А.И. Кочетков и др. –С-Пб: “ДваТри”, 1993.
96. Крянев, А.В. Численные решения оптимизационных задач для математических моделей теории инвестиций / А.В.Крянев, А.И. Черный. // Математическое моделирование, 1996, №8.
97. Кузьмицкий, А.А. Разработка деловых игр по управлению проектами / А.А.Кузьмицкий, А.В. Щепкин. – М.: ИПУ РАН, 1994.
98. Куперштейн, В. Microsoft Project 2010 в управлении проектами / В.Куперштейн. –СПб : БХВ-Петербург , 2011.

99. Кэмпбелл, К.А. Управление проектом на одной странице / К.А. Кэмпбелл. –М.: Вильямс, 2009. –160 с.
100. Лапыгин, Ю.Н. Управление проектами: от планирования до оценки эффективности / Ю.Н. Лапыгин. –М.: –Омега-Л, 2008. – 252 с.
101. Леонтьев, С.В. Модели и методы управления разработкой и реализацией программ регионального развития / С.В. Леонтьев. – М.: Физматлит, 2002.
102. Локир, К. Управление проектами: Ступени высшего мастерства / К.Локир, ДЖ.Гордон. –Мн.: Гревцов Паблишер, 2008. –352 с.
103. Локк, Д. Основы управления проектами/пер. с англ. / Д.Локк. «НIPPO». –М.: 2004. – 253с.
104. Лотов, А.В. Теория и методы многокритериальной оптимизации / А.В.Лотов, И.И. Пospelова. – М: ВМиК МГУ, 2006.
105. Лысаков, А.В. Договорные отношения в управлении проектами / А.В.Лысаков, Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2004.
106. Мазур, И. И. Управление инвестиционно-строительными проектами: международный подход / И. И. Мазур. – М. : Омега-Л , 2011.
107. Мазур, И.И. Управление проектами / И.И.Мазур. –М.: Омега-Л, 2006.
108. Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н.Г.Малышев, Л.С.Берштейн, А.В. Боженюк. –М.: Энергоатомиздат, 1991.
109. ДеМарко, Т. Deadline. Роман об управлении проектами / Т.ДеМарко. – Издательство: Манн, Иванов и Фербер, 2010. –328 с.
110. ДеМарко, Т. Вальсируя с медведями. Управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения / Т.ДеМарко, Т.Листер. – Издательство. Компания p.m.Office, 2005. –196 с.
111. ДеМарко, Т. Человеческий фактор: успешные проекты и команды / Т.ДеМарко, Т.Листер. –М.: Изд-во «Символ-Плюс», 2005.
112. Масленников, В.В. Процессно-стоимостное управление бизнесом / В.В.Масленников, В.Г. Крылов. –М.: Инфра-М, 2009. –285 с.
113. Матвеев, А.А. Модели и методы управления портфелями проектов / А.А.Матвеев, Д.А.Новиков, А.В. Цветков. –М.: ПМСОФТ, 2005. –206 с.

114. Математические методы анализа экономики. / Под. ред. А. Я. Боярского. — М.: Изд-во МГУ, 1983.
115. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Вторая редакция, исправленная и дополненная. Утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999г. № ВК 477.
116. Милошевич, Д. Набор инструментов для управления проектами / Д.Милошевич. —М.: АйТи, ДМК пресс, 2008. —736 с.
117. Мир Управления проектами. / Под редакцией Х.Решке, Х.Шелле. Пер. с английского. —М.:АЛАНС, 1993.
118. Михеев, В.Н. Живой менеджмент проектов / В.Н. Михеев. —М.: Эксмо, 2007.
119. Мишин, С.А. Проектный бизнес. Адаптированная модель для России / С.А. Мишин. Издательство: Астрель. 2006. —428 с.
120. Мищенко, А.В. / А.В.Мищенко, А.А. Попов. // Менеджмент в России и за рубежом, 2002, №2.
121. Национальные требования к компетентности специалистов. —М.: Проектная практика, 2010.
122. Недосекин, А.О. Анализ риска инвестиций с применением нечетких множеств / А.О.Недосекин, К.И. Воронов. // Управление риском, 2000, №1.
123. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. —М., 1986.
124. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р. Ягера. —М.: Радио и связь, 1986.
125. Никитина, В.Г. Взаимодействие государственных и региональных интересов в инвестиционном процессе / В.Г. Никитина. // Финансы и кредит, 2007, №15.
126. Никсон, Д. Кризис проекта. Анализ ошибок и варианты выхода с минимальными потерями / Д.Никсон. —М.: Эксмо, 2009. —256 с.

127. Новиков, Д.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы / Д.А.Новиков, А.А. Иващенко. – М.:Ленанд, 2006.
128. Новиков, Д.А. Институциональное управление организационными системами / Д.А.Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2003.
129. Новиков, Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А.Новиков. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999.
130. Новиков, Д.А. Сетевые структуры и организационные системы / Д.А.Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2003.
131. Новиков, Д.А. Модели и механизмы управления научными проектами в ВУЗах / Д.А.Новиков, А.Л. Суханов. – М.: ИУО РАО, 2005.
132. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами. 2-е издание / Д.А.Новиков. – М.: Физматлит, 2007.
133. Ньюэлл, Майкл В. Управление проектами для профессионалов. Руководство по подготовке к сдаче сертификационного экзамена / Майкл В. Ньюэлл. –«КУДИЦ-ПРЕСС», 2008. –416 с.
134. О’Коннэл, Ф. Как успешно руководить проектами. Серебряная пуля: Пер. с англ. / Ф. О’Коннэл. –М.: Кудиц-образ, 2003. –230 с.
135. Организация, планирование и управление строительством: учебник / Под общ. ред. П. Г. Грабового и А. И. Солунского. –М.: Проспект, 2012. –528 с.
136. Опп, А.Д. Управление проектами: Руководство по ключевым процессам, моделям и методам: Пер. с англ. / А.Д. Опп. –Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2006. –234 с.
137. Основы профессиональных знаний и национальные требования к компетентности (НТК) специалистов по управлению проектами. – М.: Проектная Практика, 2010. –265 с.
138. Официальные термины и определения в строительстве, архитектуре и жилищно-коммунальном комплексе. 4-е изд. –М.: ВНИИНТПИ, 2008. – 240 с.

139. Панин, И.Н. Процессный подход в управлении предприятием и саморегулирование его деятельности / И.Н.Панин, Л.Д.Подлипаев, А.С. Панфилов. – М.: Гелиос АРВ, 2009. –320 с.
140. Перегудов, Ф.И. Основы системного анализа: Учебник. 3-е изд. / Ф.И.Перегудов, Ф.П. Тарасенко. –Томск: НТЛ, 2001.
141. Привезенцев, М.В. Организационный механизм деятельности холдинговой компании: управление строительными проектами / М.В. Привезенцев. –М.: Юнити, 2007. –168 с.
142. Позняков, В.В. Управление проектами для топ-менеджеров / В.В. Позняков. // Управление проектами и программами. 2012, № 3.
143. Полковников, А.В. Стандартизация в области управления проектами: текущее состояние и направления развития / А.В. Полковников. // Управление проектами и программами, 2013, № 2.
144. Попов, Ю. И. Управление проектами: учеб. пособие / Ю. И. Попов, О. В. Яковенко; Институт экономики и финансов "Синергия". –М.: ИНФРА-М, 2012. –208 с.
145. Прикладные нечеткие системы /Под ред. Тэтано Т., Асаи К., Сугэно. – М: Мир, 1993.
146. Просницкий, А. Самоучитель «УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ В MICROSOFT PROJECT 2010» / А.Просницкий. 2011. –177с.
147. Проценко, О.Д. Экономическое развитие в условиях нестабильности финансовых рынков: Сб. науч. тр./ О.Д Проценко. –М.: Гармония, 2009.– 122 с.
148. Путеводитель в мир управления проектами: Пер. с англ. – Екатеринбург: УГТУ,1998.
149. Репин, В.В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация / В.В Репин. –М.: РИА «Стандарты и качество», 2007. –240 с.
150. Репин, В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. 7-е изд. / В.В.Репин, В.Г. Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2009. – 408 с.
151. Ройс, У. Управление проектами по созданию программного обеспечения / У.Ройс. – М.: Лори, 2002.

152. Романова, М. В. Управление проектами: Учеб. пособие / М. В. Романова. –М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2013. –256 с.: ил. (Высшее образование).

153. Ронгуй, Д. Унифицированный повторяющийся процесс для руководства проектами, основанный на принципах 4R / Д.Ронгуй. // Управление проектами и программами, 2008, 04 (16)

154. Российская архитектурно-строительная энциклопедия: В 12 т. – М.: Альфа; ВНИИТПИ, 2009. – 574 с.

155. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (PMBOK Guide). 5-е изд. Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2004. – Guide to the Project Management Body of Knowledge, A (PMBOK Guide), Third Edition, Publisher: Project Management Institute, 2012. –589 с.

156. Рюэгг-Штюर्म, Й. Сетевые организационно-управленческие формы – мода или необходимость? / Й.Рюэгг-Штюर्म.

[http://www.ptpu.ru/issues/6\\_00/12\\_6\\_00.htm](http://www.ptpu.ru/issues/6_00/12_6_00.htm)

157. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л. Саати. –М.: Издательство ЛКИ, 2008.

158. Салливан Э. Время-Деньги. Создание команды разработчиков программного обеспечения / Э.Салливан. –Издательство: Русская Редакция, 2002.

159. Санталайнен, Т. Управление по результатам. Пер.с фин. / Т.Санталайнен, Э.Воутилайнен, П.Поренне,Й.Х.Ниссинен. 1993. –320 с.

160. Свод знаний по управлению проектами (PMBOK) / Пер.с англ. – М.: ПМСОФТ, 2000.

161. Сводный доклад Минэкономразвития России по итогам 2011 года (14.09.2012 г.)

162. Серов, В.М. Организация и управление в строительстве: Учеб. пособие. / В.М.Серов, Н.А.Нестерова, А.В. Серов. –М.: Академия, 2008. –432 с.

163. Система оптимизации фондового портфеля (Siemens Business Services Russia). <http://sedok.narod.ru/siemens.html>.

164. Стандарты компетентности — гармонизация через структуризацию / В.И. Воропаев, О.А. Клименко, А.С. Товб, Г.Л. Ципес // Управление проектами и программами, 2013, № 1.

165. Стерник, Г.М. Рынок недвижимости: экономико – правовое содержание, закономерности развития в транзитивной экономике / Г.М.Стерник, С.Г. Стерник. –М, ГОУ ВПО Государственный университет. Высшая школа экономики, 2010.

166. Терк, У. Управление проектами и здравый смысл / У.Терк. –М.: РИА «Стандарты и качество», 2009. –240 с.

167. Тернер, Дж.Р. Руководство по проектно-ориентированному управлению. Пер.с англ.под общей ред. Воропаева В.И. / Дж. Р.Тернер. – М.: Издательский дом Гребенникова, 2007.

168. Титаренко, Б. П. Управление рисками в инновационных проектах: монография / Б. П. Титаренко. – Москва : МГСУ, 2011. – 142 с.

169. Товб, А.С. Управление проектами. Стандарты, методы, опыт / А.С.Товб, Г.Л Ципес. –М. "Олимп-Бизнес", 2003. – 240 с.

170. Топка, В. В. Минимизация времени и стоимости при ограничении на показатель надёжности в дизъюнктивной модели проекта / В. В Топка. // Автомат. и телемех., 2012, № 7.

171. Трич, Д. Почему метод критического пути под любым другим названием не становится лучше? К созданию целостного подхода к PERT/CPM / Д.Трич. // Управление проектами и программами, 2006, №1(05).

172. Троцкий, М. Управление проектами / М.Троцкий, Б.Груча, К.Огонек. – М.: Финансы и статистика, 2006. –340 с.

173. Туккель, И.Л. Управление инновационными проектами / И.Л Туккель. –СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

174. Управление отношениями с поставщиками // SiemensPLMSoftware. [http://www.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru/products/teamcenter/solutions\\_by\\_product/supplier\\_relationship\\_management](http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/teamcenter/solutions_by_product/supplier_relationship_management).

175. Управление инвестиционно-строительными проектами: международный подход = Construction project management: international

approach:руководство / [Мазур И. И. и др.]: под ред. И. И. Мазура, В. Д. Шапиро. 3-е изд., стер. –М.: Издательство «Омега-Л», 2011. –736с.

176. Управление проектом. Основы проектного управления. Под ред. Разу М.Л. –М.: Кнорус, 2006. –768 с.

177. Управление проектами: Толковый англо-русский словарь-справочник / Под ред. проф. В. Д. Шапиро. –М.: Высшая школа, 2000. –350 с.

178. Управление проектами в переходной экономике: инвестиции, инновации, менеджмент. –М., Сборник материалов международного Симпозиума, 1997.

179. Управление проектами: основы профессиональных знаний. Национальные требования к компетентности специалистов по управлению проектами. Версия 3.0. / Под науч. ред. В.И.Воропаева. –М.: Проектная Практика, 2010.

180. Фатрелл, Р.Т. Управление программными проектами. Достижение оптимального качества при минимуме затрат / Р.Т.Фатрелл, Д.Ф.Шафер, Л.И.Шафер.–М., СПб, Киев: Издательский дом "Вильямс", 2003.

181. Ферн, Э.Дж. Управление проектами Time-to-Profit: руководство для менеджеров проектов разработки новой продукции / Э.Дж.Ферн. –М., 1999.

182. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д.Филлипс, А.Гарсиа-Диас. – М.: Мир. 1984.

183. Фунтов, В.Н. Управление проектами развития фирмы: теория и практика / В.Н. Фунтов. –СПб.: Питер, 2009. –496 с.

184. Халл, Э. Разработка и управление требованиями / Э.Халл, К.Джексон, Д.Дик. –Изд-во Telelogic, 2005.

185. Харгадон, Э. Управление инновациями. Опыт ведущих компаний / Э.Харгадон. –М.: Вильямс, 2007. –345 с.

186. Харрингтон, Дж. Совершенство управления проектами / Дж.Харрингтон, Т.Макнеллис. –М.: РИА «Стандарты и качество», 2007. –232 с.

187. Царьков, И.Н. Исследование эффективности методов оптимизации проекта с ограниченными ресурсами. Ч.1/И.Н.Царьков // Научные исследования и разработки. Российский журнал управления проектами. 2013, Т. 2, № 3.

188. Царьков, И.Н. Исследование эффективности методов оптимизации проекта с ограниченными ресурсами. Ч.2/И.Н.Царьков // Научные исследования и разработки. Российский журнал управления проектами, 2013, Т. 2, № 4.
189. Цветков, А.В. Управление проектами: Справ. для профессионалов / А.В.Цветков, В.Д Шапиро. и др. –М.: Омега-Л, 2010. –1200 с.
190. Цветков, А.В. Стимулирование в управлении проектами / А.В.Цветков. –М.: Апостроф, 2001.
191. Ципес Г.Л. Проекты и управление проектами в современной компании / Г.Л.Ципес, А.С. Товб. –М.: Олимп-Бизнес, 2009. –480 с.
192. Черемных, О.С. Стратегический корпоративный реинжиниринг: процессно-стоимостной подход к управлению бизнесом / О.С.Черемных, С.В. Черемных. –М.: Финансы и статистика, 2005. –736 с.
193. Шапиро, В.Д. Управление проектами / В.Д.Шапиро и др. –СПб.: ДваТри†, 1996. –610 с.
194. Шапкин, А.С. Управление портфелем инвестиций ценных бумаг. 2-е изд. / А.С.Шапкин, В.А. Шапкин. –М.: Дашков и К, 2008. –512 с.
195. Шапкин, А.С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций / А.С.Шапкин, В.А. Шапкин. –М.: Дашков и К, 2008. –544 с.
196. Шарп, У.Ф. Инвестиции / У.Ф.Шарп, Г.Д.Александр, Д.В. Бэйли. –М.: Инфра-М, 1997.
197. Шельмин, Е.В. Эффективная система на основе процессного управления. Проблемы. Анализ. Решение / Е.В. Шельмин. –М.: Вершина, 2007. –224 с.
198. Agle, B., Donaldson, T., Freeman, R., Jensen, M., (2008) 'Dialogue: toward superior stakeholder theory', Business Ethics Quarterly, Vol. 18, No. 2.
199. Anderson, E.S. (2003) 'Understanding your project organization's character', Project Management Journal, Vol. 34, No. 4.
200. APM (2006). Body of Knowledge. 5th ed. UK: APM Association for Project Managers.
201. Barkley, B. and Saylor, J. (2001) Customer-driven Project Management: Building Quality into Project Process, McGraw-Hill Professional, New York.

202. Boddy, D. (2001) *Managing Projects: Building and Leading the Team*, Prentice Hall, Harlow.
203. Bourne, L. (2005) 'Project relationship management and the stakeholder circle', Doctor of Project Management, RMIT University.
204. Bourne, L. (2006) 'Project relationships and the stakeholder circle', PMI Research Conference, Montreal, Canada.
205. Bourne, L. and Walker, D.H.T. (2005) 'Visualizing and mapping stakeholder influence', *Management Decision*, Vol. 43, No. 5.
206. Buchholtz, A.K. and Carroll, A.B. (2008) *Business & Society: Ethics and Stakeholder Management*, Thomson South-Western, Mason, OH.
207. Calvert, S. (1995) *Managing Stakeholders: The Commercial Project Manager*, McGraw-Hill, London.
208. Chan, A.P.C. and Chan, A.P.L. (2004) 'Key performance indicators for measuring construction success', *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 11, No. 4.
209. Chinyio, E. and Olomolaiye, P. (2010) 'Introducing stakeholder management', in Chinyio, E. and Olomolaiye, P. (Eds.): *Construction Stakeholder Management*, Blackwell Publishing Ltd., UK.
210. Chircu, A.M. (2008) 'E-government evaluation: towards a multidimensional framework', *Electronic Government, An International Journal*, Vol. 5, No. 4.
211. Clarkson, M.B.E. (1995) 'A stakeholder framework for analyzing and evaluating corporate social performance', *Academy of Management Review*, Vol. 20, No. 1.
212. Cleland, D.I. (1999) *Project Management Strategic Design and Implementation*, McGraw-Hill, New York.
213. Cleland, D.I. and Ireland, L.R. (2002) *Project Management: Strategic Design and Implementation*, McGraw-Hill, London.
214. Critical Values of Spearman's Rank Correlation Coefficient.  
[http://psystat.at.ua/Articles/Table\\_Spearman.pdf](http://psystat.at.ua/Articles/Table_Spearman.pdf)

215. Dill, W.R. (1958) 'Environment as an influence on managerial autonomy', *Administrative Science Quarterly*, Vol. 2, No. 4.
216. Dombkins D. *Complex project management // Project Management Technology*. 2007. V. 3.
217. Donaldson, T. and Preston, L.E. (1995) 'The stakeholder theory of the corporation: concepts, evidence, and implications', *Academy of Management Review*, Vol. 20, No. 1.
218. Elmaghraby S. (1977), *Activity Network: Project Planning and Control by Network Models*, Wiley, New-York.
219. Fassin, Y. (2009) 'The stakeholder model refined', *Journal of Business Ethics*, Vol. 84, No. 1.
220. Fletcher, A., Guthrie, J., Steane, P., Roos, G. and Pike, S. (2003) 'Mapping stakeholder perceptions for a third sector organization', *Journal of Intellectual Capital*, Vol. 4, No. 4.
221. Freeman, R.E. (1984) *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Pitman Publishing, Boston, MA.
222. Freeman, R.E. (1994) 'The politics of stakeholder theory: some future directions', *Business Ethics Quarterly*, Vol. 4, No. 4.
223. Friedman, A. and Miles, S. (2006) *Stakeholders: Theory and Practice*, Oxford University Press, USA.
224. GAPPS (2006). *A Framework for Performance Based Competency Standards for Global Level 1 and 2 Project Managers*. Sydney: Global Alliance for Project Performance Standards.
225. Glouberman S., Zimmerman B. (2002) *Complicated and Complex systems: what would successful reform of medicare look like?* Discussion paper 8, Commission on Future Health of Canada.
226. Golenko-Ginzburg D., Blokh D., (1997) *A generalized activity network model*, *J. Oper. Res. Soc.*

227. Golenko-Ginzburg, D. (1988), Управляемые альтернативные сетевые модели для руководства проектом, *European Journal of Operational Research*.
228. Golenko-Ginzburg, D.I. (1972), *Statistische Methoden der Netzplantechnik*, BSB Teubner, Лейпциг, Германия (на немецком языке).
229. Goodijk, R. (2001) 'Partnership at corporate level: the meaning of the stakeholder model', *Journal of Change Management*, Vol. 3, No. 3.
230. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) – Fourth Edition USA, Project Management Institute, 2008. –380 p.
231. Harris, F. (2010) 'A historical overview of stakeholder management', in Chinyio, E. and Olomolaiye, P. (Eds.): *Construction Stakeholder Management*, Blackwell Publishing Ltd., UK.
232. Helmsman. Guide to Complexity. URL: <http://www.helmsman-institute.com/sites/institute/>
233. Horlesberger, M., El-Nawawi, M. and Khalil, T.M. (2007) *Challenges in the Management of New Technologies*, World Scientific Pub Co Inc., Singapore.
234. ICB-IPMA Competence Baseline Version 3.0. IPMA Editorial Committee: Gilles Caupin, Hans Knopffel, Gerrit Koch, Francisco Perez Polo, Klaus Pannenbâcker, Chris Seabur, IPMA, 2006.
235. IPMA Competency Baseline 3.0 – Руководство по компетенции IPMA Международной Ассоциации Управления Проектами, 2007.
236. IPMA Editorial Committee: Caupin G., Knopffel H., Koch G., Pannenbacker K. and all (2006). ICB — IPMA Competence Baseline. Version 3.0.
237. IPMA Editorial Committee: Caupin G., Knopffel H., Morris P., Motzel E., Pannenbacker O. (1999). ICB — IPMA Competence Baseline. Version 2.0. Bremen: Eigenverlag.
238. IPMA OCB. Organizational Competence Baseline / Требования к компетентности организации в области управления проектами. М.: Проектная практика, 2014.

239. ISO 21500:2012. Guidance on project management. - International Organization for Standardization, 2012.
240. Jepsen, A.L. and Eskerod, P. (2009) 'Stakeholder analysis in projects: challenges in using current guidelines in the real world', *International Journal of Project Management*, Vol. 27, No. 4.
241. Jergeas, G., Williamson, E., Skulmoski, G. and Thomas, J. (2002) 'Stakeholder management on construction projects', *Cost Engineer*, Vol. 40, No. 3.
242. Jin, X.H. and Ling, F.Y.Y. (2005) 'Constructing a framework for building relationships and trust in project organizations: two case studies of building projects in China', *Construction Management and Economics*, Vol. 23, No. 7.
243. Johnson S.M. (1954), Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included.
244. Kaler, J. (2002) 'Morality and strategy in stakeholder identification', *Journal of Business Ethics*, Vol. 39, No. 1.
245. Karlsen, J.T. (2002) 'Project stakeholder management', *Engineering Management in the Global Environments*, Proceedings.
246. Karlsen, J.T. (2008) 'Forming relationships with stakeholders in engineering projects', *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 2, No. 1.
247. Karlsen, J.T., Graee, K. and Massaoud, M.J. (2008) 'Building trust in project-stakeholder relationships', *Baltic Journal of Management*, Vol. 3, No. 1.
248. Kelly J. E. (1961). Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*, Vol. 9(3), pp. 296–320.
249. Kelly J. E. and M. R. Walker. (1959). Critical Path Planning Scheduling. In: *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*, pp. 160–173, Dec.1–3,
250. Kerzner H. (1992). *Project Management: A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, 4<sup>th</sup> ed., Van Nostrand Reinhold, N.Y.
251. Khalfan, M., McDermott, P. and Swan, W. (2007) 'Building trust in construction projects', *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 12, No. 6.

252. Learning across mega projects workshop, Materials of discussion. Brussels, 2014. URL: [www.mega-project.eu/](http://www.mega-project.eu/)
253. Love, P.E.D., Irani, Z. and Edwards, D.J. (2004) 'Industry-centric benchmarking of information technology benefits, costs and risks for small-to-medium sized enterprises in construction', *Automation in Construction*, Vol. 13, No. 4.
254. Malcomb D. G., Roseboom J. H., Clark C. E. and W. Fazar. (1959). Applications of a Technique for Research and Development Program Evaluation. *Operations Research*, Vol. 7(5).
255. McKinsey Global Institute: [http://i.rbc.ru/organization/item/mckinsey\\_global\\_institute](http://i.rbc.ru/organization/item/mckinsey_global_institute), 2013.
256. Miloevi, D.Z. (1989) 'Systems approach to strategic project management', *International Journal of Project Management*, Vol. 7, No. 3.
257. Mitchell, R.K., Agle, B.R. and Wood, D.J. (1997) 'Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts', *Academy of Management Review*, Vol. 22, No. 4.
258. Moder J. J., Philips C. R., and Devis E. W. (1983). Project management with CPM, PERT. and precedence diagramming. Van Nostrand Reinhold, N.Y.
259. Morris P. W. G. (1994). The management of projects. Thomas Telford Publications, London.
260. Mouritsen, J. and Thrane, S. (2006) 'Accounting, network complementarities and the development of inter-organisational relations', *Accounting, Organizations and Society*, Vol. 31, No. 3.
261. Navigating Complexity: A Practice Guide, PMI. URL: <http://www.pmi.org/en/PMBOK-Guide-and-Standards/Standards-Library-of-PMI-Global-Standards.aspx>
262. Nokes, S. and Kelly, S. (2007) 'The definitive guide to project management: the fast track to getting the job done on time and on budget', Prentice Hall, New York.

263. Olander, S. (2003) External Stakeholder Management in the Construction Process, Lund University, Sweden.
264. Olander, S. and Landin, A. (2005) 'Evaluation of stakeholder influence in the implementation of construction projects', International Journal of Project Management, Vol. 23, No. 4.
265. Olander, S. and Landin, A. (2008) 'A comparative study of factors affecting the external stakeholder management process', Construction Management and Economics, Vol. 26, No. 6.
266. Pajunen, K. (2006) 'Stakeholder influences in organizational survival', Journal of Management Studies, Vol. 43, No. 6.
267. Payne, A., Ballantyne, D. and Christopher, M. (2005) 'A stakeholder approach to relationship marketing strategy', European Journal of Marketing, Vol. 39.
268. Pearson's Correlation Coefficient  $r$  (Critical Values): [http://psystat.at.ua/Articles/Table\\_Pearson.PDF](http://psystat.at.ua/Articles/Table_Pearson.PDF)
269. Pels D. PM World Journal. (ISSN 2330-4480). Vol. II, Issue XII – December. 2013. [www.pmworldjournal.net](http://www.pmworldjournal.net).
270. PMCC / ENNA (2002). A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation. Japan.
271. Pritsker A.A.B., Modeling and Analysis Using Q – GERT Network, Wiley, New-York, 1977.
272. Project Management Body of Knowledge. - PMI, 1996.
273. Project Management Institute (2004). PMBOK Guide. Newtown Square, Pennsylvania, USA.
274. Project Management Institute. PMBOK Guide. Newtown Square, Pennsylvania, USA, 2012.
275. Project Management Software Survey. (1999). PMI.
276. Pulse of the Profession® In-Depth Report: Navigating Complexity, PMI, 20130000

277. Rathe A.W. (Ed.). (1961). Gantt. American Management Association, N.Y. (Гантт вместе с Тейлором и Гилбрейтом заложил основы научного управления, автор графиков, впервые разработанных в 1917 г. для планирования производства арсенала Франкфорд.)

278. Seung Heon Han. Analyzing Schedule Delay of Mega Project: Lessons Learned From Korea Train Express / Seung Heon Han [et al] // IEEE Transactions on Eng. Management. 2009. Vol. 56, N. 2 (May).

279. Snowden D.J., Boone M.E. The leaders framework for decision making. Harvard Business Review, 2007, Nov.

280. Takim, R. (2009) 'The management of stakeholders' needs and expectations in the development of construction project in Malaysia', Modern Applied Science, Vol. 3, No. 5.

281. Turner J. R. (1992). The Handbook of Project Based Management, McGraw-Hill, Maidenhead.

282. Turner, J.R. and Veil, C. (2002) 'Group efficiency improvement: how to liberate energy in project groups', International Journal of Project Management, Vol. 20, No. 2.

283. Vernon Ireland. Appropriate Leadership and Management of Complex Projects // Project Perspectives. 2014. V. 36.

284. Voropaev V. I, Gelrud Ya. D. (2000). Cyclic stochastic alternative network models for project management. Communications in Dependability and Quality Management, Vol. 3(1).

285. Voropaev V. I., Gelrud Ya. D. (2003). Cyclic alternative network models for project management. In: Proceedings of the 17th World Congress on Project Management, June 4–6.

286. Web-site of International Complex Project Management materials and standards. URL: <https://iccpm.com/content/cpm-competency-standards/>

287. Yang, J., Shen, G.Q., Ho, M., Drew, D.S. and Chan, A.P.C. (2009a) 'Exploring critical success factors for stakeholder management in construction projects', *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 15, No. 4.

288. Yang, J., Shen, Q., Ho, M. (2009) 'An overview of previous studies in stakeholder management and its implications for the construction industry', *Journal of Facilities Management*, Vol. 7, No. 2.

289. Young, T.L. (2006) *Successful Project Management*, Kogan Page Ltd., London.

ПЕРЕЧЕНЬ ТРУДОВЫХ ФУНКЦИЙ И ДЕЙСТВИЙ В РАМКАХ ЭТИХ ФУНКЦИЙ,  
 ВЫПОЛНЯЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРОЕКТА

№	Обобщенная трудовая функция	Трудовая функция	Действие		
1.	Инициация проекта	Разработка концепции управления предметной областью проекта	Анализ проблемы и потребности в проекте		
2.			Определение целей и результатов проекта		
3.			Определение основных характеристик проекта		
4.			Определение критериев успехов и неудач проекта		
5.			Определение ограничений проекта		
6.			Анализ альтернатив для решения проблемы и выбора варианта проекта		
7.			Выбор стратегии осуществления проекта		
8.			Разработка устава проекта		
9.			Рассмотрение и утверждение концепции проекта		
10.	Разработка концепции управления проектом по временным параметрам	Разработка цели и стратегии управления проектом по временным параметрам	Определение критериев оценки качества календарных планов		
11.			Определение предметной области управления «временем»: состав задач и их характеристики		
12.			Определение ограничений по срокам		
13.			Определение методологии управления проектом по временным параметрам		
14.			Определение требований к системе управления проектом по временным параметрам		
15.			Выбор программного обеспечения		
16.			Определение полномочий и распределение ответственности		
17.			Разработка укрупненного календарного плана осуществления проекта		
18.			Согласование и утверждение концепции управления проектом по временным параметрам		
19.			Разработка концепции управления проектом по стоимостным параметрам	Разработка стратегии управления стоимостью и финансами проекта	Проведение экономического анализа и обоснования проекта
20.					Общая экономическая оценка проекта
21.					Разработка укрупненного графика финансирования
22.					Определение требований к системе управления стоимостью и финансированием в проекте
23.					Утверждение концепции
24.					Разработка концепции управления
25.			Формирование общих требований и принципов обеспечения качества (стандарты, нормативные		
26.					
27.					

		качеством в проекте	документы, правила)	
28.			Формирование требований к системе управления качеством	
29.			Определение ограничений и допущений при управлении качеством	
30.			Разработка стратегии управления качеством	
31.			Определение полномочий и распределение ответственности при управлении качеством	
32.			Определение необходимости в подготовке и переподготовке персонала	
33.			Согласование и утверждение концепции управления качеством в проекте	
34.	Разработка концепции управления рисками проекта		Определение целей управления рисками в проекте	
35.			Определение возможных рисков событий (внутренние и внешние риски)	
36.			Определение возможных источников рисков	
37.			Определение допустимой степени риска участников	
38.			Анализ альтернатив осуществления проекта	
39.			Выбор стратегии управления рисками в проекте	
40.			Определение требований к системе управления рисками	
41.			Утверждение концепции управления рисками	
42.	Разработка концепции управления человеческими ресурсами в проекте		Определение целей и задач управления персоналом в проекте	
43.			Определение потребности в трудовых ресурсах проекта	
44.			Определение требований к персоналу	
45.			Определение основных функций и укрупненной структуры команды проекта	
46.			Анализ возможностей обеспечения проекта нужными специалистами	
47.			Формирование жизненного цикла проекта	
48.			Разработка стратегии управления персоналом	
49.			Определение требований к управлению персоналом	
50.			Утверждение концепции управления человеческими ресурсами в проекте	
51.		Разработка концепции управления коммуникациям и в проекте		Определение целей и задач управления коммуникациями
52.				Определение общих требований и ограничений
53.			Определение требований к коммуникациям: срочность потребности в информации, преимущество технологий, состав участников проекта, продолжительность проекта	
54.			Определение основных участников проекта	
55.			Выработка стратегии управления коммуникациями	
56.			Обоснование и выбор коммуникационных технологий для управления проектом	
57.			Согласование и утверждение концепции управления коммуникациями	

58.	Разработка концепции управления закупками и контрактами в проекте	Построение дерева ресурсов на основе схемы декомпозиции работ проекта		
59.		Формирование предварительных спецификаций продуктов и услуг		
60.		Проведение маркетинга рынка продуктов и услуг		
61.		Определение возможных источников приобретения ресурсов		
62.		Определение ограничений (по условиям технологии и качеству, по условиям финансирования, по условиям хранения и складирования)		
63.		Разработка стратегии управления контрактами (учет стратегии компании, определение критериев выбора, анализ альтернатив)		
64.		Определение требований к контрактам и системе управления поставками		
65.		Согласование и утверждение концепции управления закупками		
66.		Разработка концепции управления изменениями в проекте	Определение целей и стратегии управления изменениями (цели и задачи управления изменениями, требования к управлению изменениями, ограничение изменений, управление изменениями в контексте проекта)	
67.			Определение принципов интеграции процессов управления изменениями (от внешних факторов, от внутренних факторов, принципы интеграции управления изменениями)	
68.			Рассмотрение и утверждение концепции управления изменениями	
69.			Разработка концепции управления безопасностью в проекте	Определение целей управления безопасностью в проекте
70.				Определение возможных источников проблем с безопасностью
71.				Определение допустимой степени риска участников
72.				Выбор стратегии управления безопасностью в проекте
73.	Определение требований к системе управления безопасностью			
74.	Утверждение концепции управления безопасностью			
75.	Планирование проекта	Планирование предметной области проекта	Уточнение целей и результатов проекта	
76.			Уточнение основных характеристик проекта	
77.			Подтверждение и уточнение критериев успеха и неудач проекта	
78.			Анализ и корректировка ограничений и допущений	
79.			Выбор критериев оценки промежуточных и окончательных результатов проекта	
80.			Определение работ проекта и связей между ними	
81.			Определение объектов и точек контроля в предметной области проекта	
82.			Разработка плана управления предметной области	

		проекта	
83.	Планирование проекта по стоимостным параметрам	Планирование ресурсов и определение их количества, необходимого для успешного выполнения проекта	
84.		Оценка стоимости проекта	
85.		Формирование бюджета проекта	
86.		Разработка плана финансирования	
87.		Разработка плана управления стоимостью в проекте	
88.	Планирование проекта по временным параметрам	Уточнение критериев и ограничений (по времени, ресурсам и способам их потребления на работах), учитываемых при разработке календарных планов	
89.		Определение работ проекта (декомпозиция работ проекта – определение основных элементов декомпозиционной структуры проекта, определение требований к детализации работ проекта, выбор сечения СДР – использование типовых или аналогичных моделей)	
90.		Определение последовательности выполнения работ, которая отображается организационно – технологической (сетевой) моделью (или сетевым графиком)	
91.		Определение потребности работ проекта в ресурсах	
92.		Определение продолжительности выполнения работ	
93.		Определение расписаний (календарного графика) работ проекта методом критического пути	
94.		Определение и анализ графиков проекта в ресурсах	
95.		Оптимизация расписаний работ проекта по временным и ресурсным критериям	
96.		Утверждение календарных планов	
97.		Разработка и утверждение плана управления проектом по временным параметрам	
98.	Планирование управления качеством в проекте	Уточнение целей и задач	
99.		Уточнение стратегии управления качеством	
100.		Уточнение ограничений и допущений при управлении качеством	
101.		Определение перечня и описание объектов качества в проекте	
102.		Определение критериев качества объектов контроля	
103.		Разработка процедур управления качеством	
104.		Разработка плана управления качеством	
105.		Рассмотрение и утверждение плана управления качеством	
106.		Планирование мер реагирования на рисковые события	Уточнение источников рисковых событий
107.			Уточнение потенциальных рисковых событий
108.			Идентификация рисков или качественный анализ рисков
109.			Количественная оценка рисков
110.			Предотвращение или снижение ущерба от рисковых событий

111.		Разработка плана управления рисками в проекте
112.	Планирование персонала для проекта	Выбор методов и средств организационного планирования
113.		Определение внешних участников проекта
114.		Определение численно – квалификационного состава команды проекта
115.		Определение функциональных обязанностей участников проекта
116.		Формирование организационной структуры проекта
117.		Распределение ролей и ответственности участников проекта
118.		Определение графика потребности в персонале
119.		Разработка системы мотивации
120.		Разработка плана управления персоналом
121.		Планирование коммуникаций
122.	Разработка информационных потоков в проекте	
123.	Анализ информации, подлежащей распространению, включая формат, содержание, уровень детализации	
124.	Определение способов распределения информации в проекте	
125.	Разработка системы отчетности об исполнении работ	
126.	Разработка регламента обмена информацией	
127.	Разработка процедур сбора, передачи, хранения и отображения информации	
128.	Определение технического и программного обеспечения	
129.	Распределение ответственности за подготовку необходимой документации	
130.	Разработка и утверждение плана управления коммуникациями	
131.	Планирование работ по подготовке и исполнению контрактов	Уточнение потребностей проекта в продуктах (работы и услуги, поставки и услуги)
132.		Проведение дополнительных маркетинговых исследований для определения возможных поставщиков и исполнителей
133.		Определение финансовых, технологических и других ограничений
134.		Выбор способа закупки
135.		Выбор типов контрактов
136.		Определение перечня контрактов в проекте
137.		Разработка плана работ по проведению конкурсов
138.		Формирование графика заключения контрактов
139.		Формирование графика поставок
140.		Разработка системы отчетности и порядка внесения изменений
141.		Разработка и утверждение плана управления контрактами в проекте

142.	Прогнозирование и планирование изменений	Выбор методов и средств прогнозирования и планирования изменений	
143.		Прогнозирование изменений	
144.		Мониторинг внешней среды и тенденции изменений	
145.		Планирование возможных предупреждающих воздействий для защиты проекта	
146.		Формирование раздела сводного плана изменений	
147.		Разработка и утверждение плана управления изменениями в проекте	
148.		Организация и контроль выполнения проекта	Организация выполнения работ проекта
149.	Контроль выполнения работ проекта		
150.	Формирование отчетности о ходе выполнения работ проекта		
151.	Ведение баз данных о состоянии предметной области проекта		
152.	Организация и контроль выполнения проекта по временным параметрам		Организация контроля выполнения работ проекта
153.			Учет выполненных работ проекта
154.			Формирование отчетности о ходе выполнения работ проекта
155.		Ведение баз данных и архива версий расписаний проекта	
156.		Организация и контроль выполнения проекта по стоимостным параметрам	Распределение функциональных обязанностей и ответственности в соответствии с планом управления стоимостью и финансированием в проекте
157.	Введение в действие системы управления стоимостью и финансированием в проекте		
158.	Учет фактических затрат в проекте		
159.	Формирование отчетности о состоянии стоимости и финансирования проекта		
160.	Организация управления и контроль качества в проекте		Организация управления качеством (регламенты, программные средства)
161.		Формирование и ведение баз данных по качеству в проекте	
162.		Проведение контроля качества объектов	
163.		Сбор фактической информации о качестве в проекте	
164.		Формирование отчета для оценки исполнения качества в проекте	
165.		Организация и контроль мер реагирования на рисковые события	Организация управления рисками (применение системы управления рисками в проекте, распределение ответственности при управлении рисками)
166.			Система контроля мер реагирования на рисковые события (сбор информации о состоянии рисков в проекте, регистрация данных о состоянии рисков, хранение системы отчетности)
167.	Проведение аудита (сбор информации по рисковым событиям, контроль мер реагирования на рисковые события)		

168.		Составление отчетов	
169.	Организация и контроль деятельности персонала в проекте	Организация работы команды проекта (поиск и отбор кандидатов, формирование команды проекта)	
170.		Контроль деятельности персонала в проекте (оценка исполнения персоналом работ проекта, формирование отчетов об исполнении работ проекта)	
171.		Организация управления коммуникациями в проекте	
172.		Информационная поддержка выполнения проекта	
173.		Контроль функционирования системы коммуникаций	
174.		Сбор и учет информации	
175.		Формирование отчетов об управлении коммуникациями	
176.		Организация подготовки и контроль выполнения контрактов	Распределение функциональных обязанностей и ответственности в соответствии с планом управления контрактами
177.			Подготовка и проведение конкурса
178.			Заключение контрактов
179.	Организация системы контроля, учета и отчетности		
180.	Учет выполнения работ по контракту		
181.	Формирование отчетов по выполнению контрактов		
182.	Организация и контроль изменений в проекте		Распределение ролей и ответственности персонала, вовлеченного в управление изменениями и формирование соответствующей организационной структуры
183.			Утверждение процедур осуществления изменений в проекте
184.			Введение в действие системы управления изменениями
185.			Информационная поддержка управления изменениями в проекте
186.		Сбор запросов и предложений на внесение изменений	
187.		Принятие решений и внесение изменений в проект	
188.		Контроль осуществления изменений в проекте	
189.		Отчет об исполнении изменений в проекте и отклонениях от плана управления изменениями	
190.		Ведение базы данных изменений проекта	
191.		Анализ и регулирование предметной области проекта	Выявление и анализ отклонений от базовых значений предметной области проекта
192.	Прогнозирование состояния		
193.	Подготовка и анализ последствий, рекомендуемых корректирующих воздействий для ликвидации нежелательных отклонений от базовых значений		
194.	Анализ причин, вызывающих отклонения в предметной области проекта		
195.	Сбор и обработка запросов на изменения в предметной области проекта		

196.		Принятие решений о регулирующих воздействиях и внесение изменений в предметную область проекта	
197.		Доведение информации до участников проекта	
198.	Анализ и регулирование проекта по временным параметрам	Выявление и анализ отклонений от базового расписания выполнения работ	
199.		Определение негативных факторов, влияющих на выполнение работ	
200.		Определение необходимых корректирующих воздействий	
201.		Прогнозирование хода выполнения работ по осуществлению проекта с учетом корректирующих воздействий	
202.		Согласование и получение разрешения на внесение необходимых изменений в расписание работ проекта	
203.		Корректировка расписания работ проекта с учетом внесенных изменений	
204.		Утверждение модифицированного расписания работ проекта	
205.		Анализ и документирование внесенных изменений	
206.		Анализ состояния и регулирование проекта по стоимостным параметрам	Текущий аудит состояния проекта по стоимости и финансам
207.			Определение степени выполнения проекта по стоимостным показателям
208.	Анализ отклонения стоимости выполненных работ от сметы и бюджета		
209.	Анализ различных факторов, влияющих на позитивные и негативные отклонения		
210.	Подготовка и анализ корректирующих воздействий		
211.	Прогнозирование состояния выполнения работ проекта по стоимости		
212.	Принятие решений о регулирующих воздействиях		
213.	Анализ состояния и регулирование обеспечения качества в проекте		Процесс проверки соответствия имеющихся результатов качества установленным требованиям
214.			Анализ состояния и прогресса качества в проекте на протяжении его жизненного цикла
215.			Формирование списка отклонений
216.		Анализ отклонений по качеству	
217.		Выявление факторов, оказавших негативное влияние на качество	
218.		Определение альтернативных вариантов корректирующих воздействий по обеспечению качества в проекте	
219.		Прогнозирование результатов корректирующих воздействий на качество	
220.		Решение о промежуточной приемке	
221.		Уточнение списков контроля объектов	
222.		Согласование корректирующих действий по обеспечению качества в проекте	

223.		Документирование изменений
224.	Анализ	Анализ состояния управления рисками в проекте
225.	состояния и регулирование	Дополнительная идентификация и анализ возможных рисков событий
226.	мер по снижению	Составление обновленного списка рисков
227.	рисков	Предложения по дополнительным мерам для снижения рисков
228.		Доведение информации, связанной с управлением рисками, до участников проекта
229.	Анализ и регулирование	Анализ результатов оценки деятельности команды проекта
230.	деятельности персонала в	Внесение изменений в персональный, численный и квалификационный состав команды проекта
231.	проекте	Регулирование оплаты, льгот и поощрений
232.		Регулирование конфликтов в команде проекта
233.		Поддержание психологического климата в команде проекта
234.		Реорганизация команды в соответствии с прогрессом проекта
235.		Рассмотрение и утверждение решений о совершенствовании работы команды проекта
236.	Анализ и регулирование	Анализ сбоев и нарушений при обеспечении участников проекта необходимой информацией
237.	коммуникаций	Определение корректирующих воздействий
238.	при выполнении	Составление запросов на изменения в системе управления коммуникациями
239.	е выполнения	Анализ запросов на внесение изменений
240.	проекта	Прогнозирование функционирования системы коммуникаций после внесения необходимых изменений
241.		Утверждение изменений
242.		Информирование участников о внесенных изменениях
243.	Анализ и регулирование	Анализ состояния и прогноз ситуации
244.	исполнения	Работа с запросами на изменение
245.	контрактов	Получение разрешений на оплату и внесение изменений
246.	Анализ и регулирование	Анализ и обработка запросов на изменения в проекте
247.	изменений	Определение и выбор необходимых корректирующих воздействий
248.		Анализ последствий рекомендуемых корректирующих воздействий
249.		Прогнозирование хода выполнения работ проекта, с учетом рекомендуемых корректив
250.		Согласование и получение разрешения на внесение необходимых изменений в планы работ проекта
251.		Корректировка планов работ проекта с учетом внесенных изменений

252.		Утверждение модифицированного плана управления изменениями в проекте
253.		Документирование внесенных изменений, доведение этой информации до участников проекта, в соответствии с их ответственностью и компетентностью
254.	Закрытие проекта	Закрытие управления
255.		предметной областью
256.	проекта	Проведение заключительного анализа результатов проекта
257.		Составление сводного отчета
258.		Разрешение спорных и конфликтных ситуаций
259.		Формирование архива проекта
260.		Извлечение уроков
261.	Закрытие управления проектом по временным параметрам	Анализ результатов и опыта управления проектом по временным параметрам
262.		Составление заключительного отчета
263.	Закрытие управления проектом по стоимостным параметрам	Формирование архива
264.		Ретроспективный анализ и извлеченные уроки
265.	Закрытие управления проектом по качеством	Разрешение претензий и конфликтов
266.		Подготовка исполнительной сметы и финансового отчета
267.	Закрытие управления проектом	Окончательные расчеты и закрытие финансирования
268.		Формирование архива
269.	Закрытие управления проектом	Разработка сводной оценки качества
270.		Формирование списка замечаний и претензий по качеству результатов реализации проекта
271.	Закрытие управления проектом	Разрешение спорных вопросов и конфликтов по качеству результатов реализации проекта
272.		Анализ опыта и составление заключительного отчета по управлению качеством
273.	Закрытие управления рисками в проекте	Оформление документации и архива по управлению качеством в проекте
274.		Извлеченные уроки
275.	Закрытие управления рисками в проекте	Анализ и обобщение данных по проявлению рисков и неопределенности в проекте
276.		Анализ выполнения плана по управлению рисками
277.	Закрытие управления рисками в проекте	Формирование исполнительной документации по рискам
278.		Подготовка сводного отчета по управлению рисками
279.	Закрытие управления персоналом в проекте	Выводы на основе проведенного анализа
280.		Формирование базы данных
281.	Закрытие управления персоналом в проекте	Формирование архива
282.		Общий анализ и оценка деятельности команды
283.	Закрытие управления персоналом в проекте	Формирование заключительного отчета о деятельности команды
284.		Разрешение конфликтов в команде проекта
285.	Закрытие управления персоналом в проекте	Проведение окончательных расчетов по оплате труда
285.		Формирование архива
		Анализ и документирование извлеченных уроков

286.		Расформирование команды проекта
287.	Закрытие управления коммуникациями в проекте	Заключительный анализ и оценка функционирования системы коммуникаций проекта
288.		Сводный отчет об управлении коммуникациями проекта
289.		Принятие решения о дальнейшем использовании средств коммуникаций проекта
290.		Извлеченные уроки из опыта управления коммуникациями проекта
291.		Формирование архива проектной документации
292.		Разрешение претензий и конфликтов
293.		Заключительный анализ и оценка эффективности обеспечения проекта ресурсами
294.		Заключительный отчет по управлению контрактами в проекте
295.		Формирование архива контрактной документации
296.		Извлечение уроков и их документирование
297.	Закрытие управления изменениями в проекте	Постпроектный анализ и оценка изменений и их результатов
298.		Подготовка исполнительной документации по управлению изменениями в проекте
299.		Заключительный отчет о фактических изменениях в проекте
300.		Формирование архива изменений в проекте
301.		Формирование базы данных изменений в проекте
302.		Извлеченные уроки и корректировка стратегии и технологии для будущих проектов

**Организация ИНСИ** осуществляет комплексное строительство зданий и сооружений любой степени сложности, а также производство и реализацию строительной продукции. В числе ряда задач, связанных с ресурсным обеспечением проектов, была решена задача определения оптимальных объемов производства строительной продукции по ряду номенклатур.

Номенклатура	Оптимальный объем выпуска	Номенклатура	Оптимальный объем выпуска
100-500-2,5м <sup>3</sup>	100	200-700-3,5 м <sup>3</sup>	25
100-500-3,5м <sup>3</sup>	50	240-500-2,5 м <sup>3</sup>	75
100-600-3,5м <sup>3</sup>	25	240-500-3,5 м <sup>3</sup>	75
100-700-3,5м <sup>3</sup>	25	240-600-3,5 м <sup>3</sup>	75
150-500-2,5м <sup>3</sup>	50	240-700-3,5 м <sup>3</sup>	25
150-500-3,5м <sup>3</sup>	25	300-500-2,5 м <sup>3</sup>	300
150-600-3,5м <sup>3</sup>	50	300-500-3,5 м <sup>3</sup>	175
150-700-3,5м <sup>3</sup>	25	300-600-3,5 м <sup>3</sup>	150
200-500-2,5м <sup>3</sup>	150	300-700-3,5 м <sup>3</sup>	25
200-500-3,5м <sup>3</sup>	100	400-500-2,5 м <sup>3</sup>	350
200-600-3,5м <sup>3</sup>	75	400-500-3,5 м <sup>3</sup>	300
400-600-3,5м <sup>3</sup>	50	400-700-3,5 м <sup>3</sup>	25

Исходная информация, промежуточные и результирующие расчеты по организации ИНСИ содержат 7 файлов в формате Excel общим объемом 21мб. Некоторые файлы содержат таблицы, состоящие из сотен строк и десятков столбцов. В силу этого они находятся на диске, который прилагается к диссертации. Отзыв о полученных результатах содержится в соответствующем акте.

**Агентство недвижимости Риэлт Стройком**, входящая в состав компании Стройком г.Челябинск осуществляет продажу реализованных проектов в отраслях гражданского, энергетического, инфраструктурного и промышленного строительства.

Была проанализирована база продаж жилого комплекса «Тополиная аллея» за 6 лет, и произведено разделение домов на кластеры. Мерой в пространстве объектов разделения была взята приведенная стоимость продаж. Между объектами каждого кластера, выявлены закономерные сходства, позволившие выделить параметры домов с оптимальной динамикой продаж. Рекомендации:

- соотношение квартир в доме: количество однокомнатных 50-55%, двухкомнатных 20% -25%, трехкомнатных не более 20%, 3-5% - четырехкомнатных;
- По типу дома: панельные дома 50%, монолитные дома 30% , и около 20% кирпичные;
- организации следует разработать определенные меры, чтобы стимулировать ипотечное кредитование. Как показал анализ, лучшие темпы продаж показали те дома, где был высокий процент квартир, взятых в кредит.

Исходная информация, промежуточные и результирующие расчеты по Агентству недвижимости Риэлт Стройком содержат 22 файла в формате Excel общим объемом 19мб. Некоторые файлы содержат таблицы, состоящие из тысяч строк и десятков столбцов. В силу этого они находятся на диске, который прилагается к диссертации. Отзыв о полученных результатах содержится в соответствующем акте.

**Выбор места для открытия нового филиала ЮЖУРАЛ-АСКО**

Из всего многообразия социально-экономических показателей с помощью корреляционного анализа были отобраны ключевые, которые дают комплексную характеристику региона:

- Население – отражает потенциальное число клиентов страховой организации;
- Заработная плата – отражает потенциальную величину страховых взносов;
- Размер пенсии – уточняет потенциальный размер страховых взносов;
- Число автомобилей – зависимость страхового результата организации и данного фактора очевидно, так как и страховые взносы по ОСАГО и выплаты по страховым случаям прямо пропорционально связаны общей численностью автопарка в регионе;
- Ввод в действие жилых домов – отражает общий уровень развития экономики в регионе, а также потенциальный объем страховых взносов по страхованию жилья.

Для анализа были взяты три года – 2009, 2010 и 2011. Отобранные показатели для выбранных нами объектов исследования по годам представлены в табл. П5.1-П5.3.

Таблица П5.1

Значения факторов по филиалам ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО», 2009 г.

2009 год	Страх. результат, тыс. руб.	Числ. населения, чел.	Размер з/пл, руб.	Размер пенсии, руб.	число автомобилей, шт.	Ввод в действие жилых домов, кв.м.
Кыштым	4,556	39,400	4,063	1,825	14,200	6,345
Троицк	7,263	83,900	4,459	1,623	19,462	12,286
Златоуст	9,567	196,600	4,114	1,815	29,230	17,917
Миасс	8,354	171,700	4,206	1,792	33,382	25,867
Касли	2,421	20,300	2,883	1,688	12,083	2,346
Еткуль	3,138	30,100	2,966	1,747	19,500	1,406

Таблица П5.2

Значения факторов по филиалам ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО», 2010 г.

2010 год	Страхов. результат, тыс. руб.	Числ. населения, чел.	Размер з/пл, руб.	Размер пенсии, руб.	Число автомобилей, шт.	Ввод в действие жилых домов, кв.м.
Кыштым	4,876	39,600	4,854	2,086	15,131	6,546
Троицк	8,672	83,500	5,589	1,861	18,119	13,178
Златоуст	9,353	195,200	4,854	2,072	28,988	18,185
Миасс	8,652	170,400	5,164	2,049	35,141	34,586
Касли	3,650	20,000	3,922	1,936	12,205	2,461
Еткуль	3,535	29,800	4,039	1,992	19,500	3,531

Таблица П5.3

Значения факторов по филиалам ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО», 2011 г.

2011 год	Страхов. результат, тыс. руб.	Числ. населения, чел.	Размер з/пл, руб.	Размер пенсии, руб.	число автомобилей, шт.	Ввод в действие жилых домов, кв.м.
Кыштым	5,012	39,500	6,106	2,576	16,034	7,241
Троицк	8,754	83,000	7,155	2,333	19,119	21,420
Златоуст	10,342	193,900	6,079	2,562	30,746	36,609
Миасс	9,043	169,000	6,420	2,542	40,497	46,135
Касли	5,467	19,800	4,812	2,412	13,426	4,252
Еткуль	4,538	29,400	4,813	2,481	21,849	2,643

Для показателя страховой результат ( $I$ ) построена регрессионная модель зависимости от переменных  $x$  с помощью пакета MS Excel, функция «Регрессия».

Получили:

$$I = -0.02 x_1 - 0.04 x_2 - 1.74 x_3 + 1.33 x_4 + 0.03 x_5 + 1859.304 \quad (\text{П5.1})$$

Увеличение количества автомобилей приводит к повышению страхового результата, что вполне логично. После принятия закона об ОСАГО данный вид страхования стал одной из основных статей дохода в страховых компаниях, а если учесть, что мы анализируем не города-миллионеры с широко развитой инфраструктурой, предприятиями самого различного направления, которые нуждаются в разных страховых услугах, то закономерно, что именно ОСАГО наиболее «популярно» в районных центрах и более мелких городах.

Отрицательные коэффициенты для заработной платы и пенсии показывают следующую зависимость: при увеличении своего дохода население более склонно к сбережению, чем к потреблению. То есть, если работник станет получать большую заработную плату или пенсионер пенсию, то они скорее отложат часть заработка, нежели потратят. Это вполне объяснимое явление: в мелких городах не так много мест, где люди могли бы истратить свой заработок, кроме того, население там более консервативно, что также отражается в привычке «откладывать на черный день».

Наконец, отрицательный коэффициент для количества населения показывает обратную зависимость: с уменьшением жителей общин страховой результат для филиала возрастает. То есть, несмотря на то, что происходит естественная убыль населения, страховые взносы при этом возрастают. Это связано с возрастающей культурой жителей, в том числе страховой: узнавая про страхование, человек перестает относиться к нему с опаской и недоверием.

Полученное значение коэффициента детерминации (0.97) показывает, что модель (П5.1) адекватно отражает реальную закономерность.

***Анализ потенциальных мест для открытия филиала ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО»***

Для анализа возможных мест для открытия филиала были взяты 3 относительно крупных города, где пока нет представительства АСКО. Это Южно-Уральск, Чебаркуль и Аша. Социально-экономические показатели по этим городам представлены в табл.П5.4-П5.6.

Таблица П5.4

**Южно-Уральск – социально-экономические показатели (по годам)**

Год	Население, у <sub>1</sub> , чел.	Зар. плата, у <sub>2</sub> , руб.	Пенсия, у <sub>3</sub> , руб.	Автомобили, у <sub>4</sub> , шт	Жил. дома, у <sub>5</sub> , кв.м.
2005	51,800	2,222	769	5,931	472
2006	51,300	3,137	1,082	6,210	2,242
2007	50,800	3,423	1,483	6,567	8,498
2008	44,700	4,551	1,776	6,943	8,497
2009	44,500	4,871	2,029	7,043	6,255
2010	42,260	5,654	2,392	7,426	10,539
2011	40,140	6,325	2,714	7,722	12,321

Таблица П5.5

## Чебаркуль – социально-экономические показатели (по годам)

Год	Население, у <sub>1</sub> , чел.	Зар. плата, у <sub>2</sub> , руб.	Пенсия, у <sub>3</sub> , руб.	Автомобили, у <sub>4</sub> , шт	Жил. дома, у <sub>5</sub> , кв.м.
2005	50,700	1,522	754	3,792	3,064
2006	50,100	2,313	982	3,965	950
2007	49,500	3,167	1,382	4,056	1,429
2008	47,100	4,039	1,645	4,263	4,939
2009	46,400	5,046	1,878	4,331	6,414
2010	45,280	5,849	2,201	4,494	6,566
2011	44,120	6,727	2,492	4,632	7,635

Таблица П5.6

## Аша – социально-экономические показатели (по годам)

Год	Население, у <sub>1</sub> , чел.	Зар. Плата, у <sub>2</sub> , руб.	Пенсия, у <sub>3</sub> , руб.	Автомобили, у <sub>4</sub> , шт	Жил. Дома, у <sub>5</sub> , кв.м.
2005	50,000	2,176	715	10,045	12,059
2006	49,700	3,176	1,003	10,167	5,214
2007	49,500	3,793	1,427	10,538	12,840
2008	49,700	4,548	1,712	11,123	4,846
2009	49,100	5,351	1,954	11,264	8,438
2010	49,060	6,126	2,318	11,646	6,396
2011	48,880	6,898	2,637	11,985	5,635

Для каждого из рассматриваемых городов были построены уравнения зависимости величины каждого социально-экономического показателя от времени ( $t=1, \dots, 12$ , что соответствует годам с 2005 до 2016). Получили:

- для Южно-Уральска

$$y_1 = -2120 t_i + 54980 \quad R^2 = 0.91$$

$$y_2 = 671 .1t_i + 1627 .7 \quad R^2 = 0.88$$

$$y_3 = 321 .5t_i + 463 .2 \quad R^2 = 0.93$$

$$y_4 = 295 .7t_i + 5651 .7 \quad R^2 = 0.91$$

$$y_5 = 1782 .1t_i - 153 .5 \quad R^2 = 0.89$$

- для Чебаркуля

$$y_1 = -1160 t_i + 52240 \quad R^2 = 0.97$$

$$y_2 = 877 .3t_i + 585 .6 \quad R^2 = 0.95$$

$$y_3 = 291 .1t_i + 454 .9 \quad R^2 = 0.92$$

$$y_4 = 137.6t_i + 3668.6 \quad R^2=0.94$$

$$y_5 = 1068.9t_i + 152.5 \quad R^2=0.87$$

- для Аши

$$y_1 = -180t_i + 50140 \quad R^2=0.96$$

$$y_2 = 772.3t_i + 1492.02 \quad R^2=0.86$$

$$y_3 = 318.8t_i + 405.7 \quad R^2=0.93$$

$$y_4 = 339.4t_i + 9609.2 \quad R^2=0.85$$

$$y_5 = -761t_i + 10962.4 \quad R^2=0.86$$

На основании полученных регрессий были спрогнозированы значения необходимых для последующего анализа социально-экономических показателей на последующие 5 лет. Получили:

Таблица П5.7

Прогнозируемые значения социально-экономических показателей – Южно-Уральск

Год	Население, у <sub>1</sub> , чел.	Зар. плата, у <sub>2</sub> , руб.	Пенсия, у <sub>3</sub> , руб.	Автомобили, у <sub>4</sub> , шт	Жил. дома, у <sub>5</sub> , кв.м.
2012	38,020	6,997	3,035	8,017	14,103
2013	35,900	7,668	3,357	8,313	15,885
2014	33,780	8,339	3,678	8,609	17,668
2015	31,660	9,010	4,000	8,904	19,450
2016	29,540	9,681	4,321	9,200	21,232

Таблица П5.8

Прогнозируемые значения социально-экономических показателей – Чебаркуль

Год	Население, у <sub>1</sub> , чел.	Зар. плата, у <sub>2</sub> , руб.	Пенсия, у <sub>3</sub> , руб.	Автомобили, у <sub>4</sub> , шт	Жил. дома, у <sub>5</sub> , кв.м.
2012	42,960	7,604	2,783	4,769	8,704
2013	41,800	8,481	3,074	4,907	9,773
2014	40,640	9,358	3,365	5,045	10,842
2015	39,480	10,236	3,656	5,182	11,910
2016	38,320	11,113	3,947	5,320	12,979

Таблица П5.9

Прогнозируемые значения социально-экономических показателей - Аша

Год	Население, у <sub>1</sub> , чел.	Зар. плата, у <sub>2</sub> , руб.	Пенсия, у <sub>3</sub> , руб.	Автомобили, у <sub>4</sub> , шт	Жил. дома, у <sub>5</sub> , кв.м.
2012	48,700	7,671	2,956	12,324	4,874
2013	48,520	8,443	3,275	12,664	4,113

2014	48,340	9,215	3,594	13,003	3,352
2015	48,160	9,988	3,912	13,343	2,591
2016	47,980	10,760	4,231	13,682	1,830

По формуле (П5.1) рассчитан страховой результат для выбранных городов, на основании полученного прогноза социально-экономических показателей.

Таблица П5.10

Прогнозное значение страхового результата для выбранных городов (по годам), тыс. руб.

Год	Южно-Уральск	Чебаркуль	Аша
2012	6,573.17	2,371.09	11,851.21
2013	6,490.58	2,076.85	11,695.98
2014	6,407.98	1,782.62	11,540.74
2015	6,325.39	1,488.38	11,385.51
2016	6,242.79	1,194.15	11,230.27

Для оценки экономической эффективности проекта открытия того или иного филиала был использован NPV-метод.

Первоначальные затраты на открытие филиала составляют 20 млн. руб. (сюда включается строительство или покупка помещения, покупка мебели и оборудование офиса и т.д.), в следующие 2 года постоянные затраты будут составлять 1,5 млн. руб., а затем по 1 млн. руб. каждый год. Одинаковые значения затрат для каждого из потенциальных филиалов обусловлены тем, что размером они очень близки, так как схожи между собой социально-экономическим положением города, где планируется эти филиалы открыть.

Таблица П5.11

Страховой результат и постоянные издержки потенциальных филиалов ООО «ЮЖУРАЛ-АСКО» по годам, тыс. руб.

Год	Южно-Уральск		Чебаркуль		Сатка	
	Страховой результат	Затраты	Страховой результат	Затраты	Страховой результат	Затраты
2012	6,573.17	20,000	2,371.09	20,000	11,851.21	20,000
2013	6,490.58	1,500	2,076.85	1,500	11,695.98	1,500
2014	6,407.98	1,500	1,782.62	1,500	11,540.74	1,500
2015	6,325.39	1,000	1,488.38	1,000	11,385.51	1,000
2016	6,242.79	1,000	1,194.15	1,000	11,230.27	1,000

Затем доходы и расходы компании были приведены к чистому дисконтированному значению при процентной ставке 16,5%. Получили:

Таблица П5.12

Дисконтированные страховые результаты и расходы потенциальных филиалов «ЮЖУРАЛ-АСКО» по годам, тыс. руб.

Год	Южно-Уральск		Чебаркуль		Аша	
	Дисконт. страховой результат	Дисконт. затраты	Дисконт. страховой результат	Дисконт. затраты	Дисконт. страховой результат	Дисконт. затраты
2012	6,573.17	- 20,000	2,371.09	- 20,000	11,851.21	- 20,000
2013	5,571.31	- 1,287.55	1,782.70	- 1,287.55	10,039.47	- 1,287.55
2014	4,721.38	- 1,105.20	1,313.43	- 1,105.20	8,503.19	- 1,105.20
2015	4,000.46	- 632.44	941.32	- 632.44	7,200.70	- 632.44
2016	3,389.03	- 542.87	648.27	- 542.87	6,096.58	- 542.87
	24,255.35	- 23,568	7,056.81	- 23,568	43,691.15	- 23,568

Таким образом, ЧДД для каждого филиала составит:

ЧДД Южно-Уральска – 687 тыс. руб.

ЧДД Чебаркуля – 16,511 тыс. руб.

ЧДД Аши – 20,123 тыс.руб.

Таким образом, по результатам проведенного анализа видно, что открытие филиала в Аше даст наилучший экономический результат, поэтому к реализации следует принять именно этот проект.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЭКОНОМИКИ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА  
КАФЕДРА «ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И МЕНЕДЖМЕНТ»  
СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 080507

(шифр специальности)

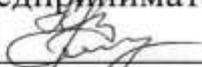
МЕНЕДЖМЕНТ ОРГАНИЗАЦИИ

(полное наименование специальности)

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. Выпускающей кафедрой

«Предпринимательство и менеджмент»

  
проф., д.э.н. Мохов В.Г.

«25» 11 2009 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Декан факультета

«Экономика и предпринимательство»

  
проф., д.э.н. Шиндина Г.А.

«30» НОЯБРЯ 2009 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины ДС.04 «Математические методы и модели управления  
процессом создания проектов»

для специальности **080507 «Менеджмент организации»**  
направление подготовки «специалист»  
факультет «Экономика и предпринимательство»

кафедра-разработчик «Предпринимательство и менеджмент»

Рабочая программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по специальности 080507 – Менеджмент организации, утверждённым Приказом Министерства образования Российской Федерации от 02.03.2000 г. № 686. Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Предпринимательство и менеджмент», протокол № \_\_\_ от «24» ноября 2009г.

Зав. кафедрой разработчика  
Учёный секретарь кафедры  
Разработчик



проф., д.э.н. Мохов В.Г.  
доц., к.э.н. Шмаков Б.В.  
доц., к.т.н. Гельруд Я.Д.

Челябинск, 2009

## **1. Введение**

### **1.1. Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

Согласно п. 2.2.4 ГОС «Требования по специальным дисциплинам» по специальности 080507 – «Менеджмент организации» менеджер, в результате усвоения дисциплины «**Математические методы и модели управления процессом создания проектов**» должен:

- Знать современные методы социально-экономической диагностики, получения обобщенных характеристик проектов, агрегирования информации и её обработки с помощью ЭВМ;
- Разрабатывать варианты управленческих решений и обосновывать выбор оптимального, исходя из критериев социально-экономической эффективности и экологической безопасности проектов;
- Разрабатывать программы реализации проектов и составлять план мероприятий по реализации этих программ;
- Владеть методами прогнозирования развития социально-экономических и организационных процессов при управлении проектами и оценки их состояния по потенциальным возможностям экономического, социального и организационного развития.

### **1.2. Требования к уровню подготовки для освоения дисциплины**

Дисциплина «**Математические методы и модели управления процессом создания проектов**» входит в цикл дисциплин специализации и изучается в девятом семестре. Для её изучения необходимы знания, соответствующие незаконченному высшему образованию. В процессе изучения дисциплины используются знания математических и естественно-научных дисциплин: Математика (ЕН.Ф.01), Информатика (ЕН.Ф.02); общепрофессиональных дисциплин: Экономическая теория (ОПД.Ф.02), Статистика (ОПД.Ф.07).

### **1.3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

Программа определяет общий объем знаний, а не порядок изучения предмета. В результате изучения дисциплины «**Математические методы и модели управления процессом создания проектов**» должны быть получены представления о классических, обобщенных, вероятностных и стохастических сетевых моделях и практические навыки по их использованию при управлении проектами.

Студенты должны уметь:

- формально описывать множества работ проекта различной природы и их взаимосвязи;
- решать оптимизационные задачи сетевого моделирования.

## 2. Цели и задачи преподавания и изучения дисциплины

Дисциплина «Математические методы и модели управления процессом создания проектов» предназначена для описания и формализации особого процесса человеческой деятельности, направленного на выбор наилучшего варианта действий при управлении проектами. Данную дисциплину следует рассматривать как важнейшую составляющую подготовки экономиста-менеджера в области управления. На формирование концепций управления в системах организационного типа большое влияние оказало развитие экономико-математических методов.

Поэтому *целью дисциплины* является:

1) привитие навыков современных видов логического и математического мышления при управлении организационными и производственными проектами;

2) привитие навыков использования основ моделирования и соответствующих инструментов и методов их обоснования и поддержки в области управления проектами различной сложности.

*Задачи дисциплины* заключаются в ознакомлении слушателя со следующими направлениями:

- ◆ формирование календарного плана реализации некоторого комплекса работ;
- ◆ выявление и мобилизация резервов времени, трудовых, материальных и денежных ресурсов;
- ◆ осуществление управления комплексом работ с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе работ;
- ◆ повышение эффективности управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разных уровней и исполнителями работ.
- ◆ особенности переработки информации человеком в связи с принятием решений.

Диапазон применения рассматриваемых методов весьма широк: от задач, касающихся деятельности отдельных лиц, до проектов, в которых участвуют сотни организаций и десятки тысяч людей.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции, час	Практические занятия, час	Самостоятельная работа студентов
1	2	3	4	5
1	Предмет, методы и задачи курса «Модели управления процессом создания проектов».	2	-	
2	Описание и расчет сетевой модели. Классический (детерминированный) вариант	6	12	Выполнение контрольной работы (Расчет временных параметров. Составление календарного графика. Приведение сетевого графика к заданному сроку).
3	Развитие сетевых моделей	6	2	Написание реферата
4	Оптимизация потребления ресурсов на основе сетевых моделей	6	10	Выполнение семестровой работы (Оптимизация сетевого графика методом “время – стоимость”. Оптимизация потребления ресурсов методом «Калибровка». Оптимизация потребления ресурсов методом «Сглаживание»).
5	Модели управления проектами для разных заинтересованных сторон	10	4	Написание реферата

### 4. Содержание разделов дисциплины

#### Тема 1. Предмет, методы и задачи курса «Модели управления процессом создания проектов».

Предмет исследования и область использования. Методология исследований и специфика методов. Задачи, решаемые методами рассматриваемой дисциплины. Сетевые модели как инструмент анализа и управления проектами.

#### Тема 2. Описание и расчет сетевой модели. Классический (детерминированный) вариант

Описание сетевой модели. Правила построения сетевого графика. Временные параметры сетевого графика. Расчет временных параметров. Составление календарного графика. Приведение сетевого графика к заданному сроку.

### **Тема 3. Развитие сетевых моделей**

Обобщенные сетевые модели. Вероятностные сетевые модели. Стохастические сетевые модели. Формализация общей постановки задачи планирования работ при управлении проектами и описание универсальной сетевой модели и задач временного анализа, решаемых на ее основе. Алгоритмы расчета временных параметров ЦАСМ. Формализация общей постановки задачи планирования работ при управлении проектами и описание универсальной сетевой модели и задач временного анализа, решаемых на ее основе

### **Тема 4. Оптимизация потребления ресурсов на основе сетевых моделей**

Общие понятия. Оптимизация потребления ресурсов методом «Калибровка». Оптимизация потребления ресурсов методом «Сглаживание». Оптимизация сетевого графика методом «время – стоимость». Многопроектные задачи сетевого планирования с учетом ограниченности ресурсов и сроков. Организационные аспекты применения сетевых моделей при управлении проектами.

### **Тема 5. Модели управления проектами для разных заинтересованных сторон**

Классификация разных заинтересованных сторон, их компетенции. Модели для заказчика, инвестора, руководителя проекта и его команды, генпоставщика, регулирующих органов и коммерческой службы.

## **5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

Примеры сетевых моделей для практических занятий приведены в Учебном пособии [1].

## **6. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

Основная задача контрольной работы – использование всего комплекса полученных знаний и навыков для проведения полного анализа сетевой модели проекта и решения оптимизационных задач, возникающих при его управлении.

При выполнении работы студент учится работать со специальной литературой, обрабатывать полученную информацию, творчески ее использовать.

Варианты контрольных работ даются отдельно, пример выполнения приведен в Учебном пособии [1].

## **6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **6.1. Рекомендуемая литература:**

#### *а) основная литература:*

1. Гельруд, Я.Д. Модели управления процессом создания проектов: учебное пособие / Я.Д. Гельруд. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 58 с.

2. Гельруд Я.Д. Модели и методы управления проектами в условиях риска и неопределенности. Монография. Челябинск.: ЮУрГУ. 2006.

3. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. и др. Математические основы управления проектами. -М.: Высшая школа, 2005.

#### *б) дополнительная литература:*

4. Роберт Т. Фатрелл, Дональд Ф. Шафер, Линда И. Шафер Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1136 с.

5. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами (часть 1 и 2). Журнал: Управление проектами и программами, #1 и #2, 2008 г.

### ***ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ***

[www.pmi.org](http://www.pmi.org) Project Management Institute

[www.pmi.ru](http://www.pmi.ru) Project Management Institute Moscow Chapter

[www.pro-invest.ru](http://www.pro-invest.ru) Группа компаний «Про-Инвест»

[www.pmssoft.ru](http://www.pmssoft.ru) Project Management Solution Soft System

**6.2. Учебно-методический комплекс** по дисциплине в электронном виде находится на кафедре **ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И МЕНЕДЖМЕНТ**

**Акты внедрения**

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Страховая компания

ЮЖУРАЛ-АСКО»

Любавин А.М.



2014г.

### АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание

ученой степени доктора технических наук

Гельруда Якова Давидовича

на тему «Методология создания информационно-аналитической системы управления проектами на основе комплекса математических моделей функционирования стейкхолдеров»

г. Челябинск

Комиссия в составе:

Председателя комиссии Безирова Заура Чамаловича, директора по страхованию ООО «Страховая компания ЮЖУРАЛ-АСКО»;

и членов комиссии:

Щеткиной Инны Эдуардовны, директора по развитию ООО «Страховая компания ЮЖУРАЛ-АСКО»;

Смольяниновой Инны Александровны, начальника отделения технологии страхования ООО «Страховая компания ЮЖУРАЛ-АСКО» рассмотрела результаты диссертационного исследования Я.Д.Гельруда на тему «Методология создания информационно-аналитической системы управления проектами на основе комплекса математических моделей функционирования стейкхолдеров» (Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах) и их внедрение в практику управления проектами в ООО страховая компания «ЮЖУРАЛАСКО».

Комиссия отмечает, что Я.Д.Гельрудом в ходе диссертационного исследования были выполнены следующие работы и получены важные и актуальные научные результаты:

1. Осуществлен анализ существующих методов управления проектами расширения филиальной сети, открытия филиалов и представительств региональных и межрегиональных компаний, осуществляющих деятельность

по оказанию различных услуг населению, и их применения в отечественной практике.

2. По результатам проведенного анализа был предложен ряд методов управления проектами расширения филиальной сети, которые на базе традиционных были дополнены методами кластерного и корреляционно-регрессионного анализа.

3. Проведен анализ методов управления проектами по реализации новых страховых программ, предложены методы, оптимизирующие затраты по их осуществлению.

4. Разработаны новые математические модели, позволяющие оптимизировать процесс выбора места для открытия нового филиала, рассчитывать динамику потребных ресурсов для реализации новых страховых программ:

- математическая модель оптимального выбора места для открытия нового филиала компании;
- математическая модель определения динамического набора ресурсов, необходимых и достаточных для осуществления новых страховых программ.

5. Разработаны рекомендации по изменению и дополнению информационного обеспечения дочерних организаций на основе использования информационно-аналитической системы управления проектами.

6. Осуществлено внедрение основных научных положений и разработок диссертационного исследования, в том числе методик, математических моделей и методов управления проектами в практику работы ООО «Страховая компания ЮЖУРАЛ-АСКО», позволившие существенно улучшить качество принимаемых решений в области осуществления проектов по открытию новых филиалов и представительств компании и реализации новых страховых программ.

Комиссия пришла к выводу, что использование основных научных положений диссертационной работы, предложенных математических моделей и методов, позволяющих их использовать, обеспечило значительное увеличение качества принимаемых решений, повысило их надежность и достоверность в условиях нестабильной внешней среды, связанной с современными тенденциями ведения бизнеса.

Все научные положения, математические модели и методы, представленные в диссертационной работе, разработаны лично соискателем. Комиссия отмечает, что данные разработки могут успешно применяться в

других организациях, в рамках управления проектами по открытию новых филиалов и представительств компании и реализации новых страховых программ.

Председатель комиссии



З.Ч.Безиров

Члены комиссии:



И.Э.Щеткина



И.А.Смолянинова

УТВЕРЖДАЮ  
Управляющий Федеральной строительной  
компанией полного цикла ЗАО «ИНСИ»

  
Е.П.Бабенков  
« 2 » ИЮНЯ 2015г.

АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание  
ученой степени доктора технических наук  
Гельруда Якова Давидовича  
на тему «Методология создания информационно-аналитической  
системы управления проектами на основе комплекса математических  
моделей функционирования стейкхолдеров»

г.Челябинск

Комиссия в составе:

Председателя комиссии Сайфутдинова Рафаила Магжановича,  
исполнительного директора ЗАО «ИНСИ»;

и членов комиссии:

Бабенкова Павла Евгеньевича, директора службы онлайн-маркетинга и  
бизнес аналитики ЗАО «ИНСИ»;

Олефиренко Евгения Михайловича, начальника отдела оптимизации  
запасов ЗАО «ИНСИ»;

рассмотрела результаты диссертационного исследования Я.Д.Гельруда на  
тему «Методология создания информационно-аналитической системы  
управления проектами на основе комплекса математических моделей  
функционирования стейкхолдеров» (Специальность: 05.13.10 – Управление  
в социальных и экономических системах) и их внедрение в практику  
управления проектами в Федеральной строительной компании полного  
цикла ЗАО «ИНСИ».

Комиссия констатирует:

1. Цель и задачи диссертационной работы Я.Д.Гельруда вполне  
обоснованы и логично вытекают из представленных в главе 1 диссертации  
материалов анализа основных причин неудач при реализации сложных  
комплексных проектов, этапов эволюции теории стейкхолдеров

применительно к управлению проектами и этапов развития сетевых методов управления проектами.

2. Разработанные Я.Д.Гельрудом комплекс математических моделей управления сложным комплексным проектом и предложенная на его основе методология создания информационно-аналитической системы управления проектами, учитывающая интересы разных стейкхолдеров, представляются актуальными и практически значимыми.

Отдельные модели использованы в ЗАО "ИНСИ" в качестве инструмента анализа, а также выбора оптимальных управленческих стратегий для предприятия. В числе ряда задач, связанных с ресурсным обеспечением проектов, была решена задача определения оптимальных объемов производства строительной продукции по ряду номенклатур. Кроме того, была использована математическая модель анализа и выявления факторов, оказывающих определяющее влияние на эффективность продаж строительной продукции, производимой ЗАО "ИНСИ". Разработанные в результате решения этих задач рекомендации способствуют повышению эффективности продаж строительной продукции на 5,5%.

3. Предложенные в диссертации модели и методы являются весьма эффективными для целей повышения гибкости управления проектами. Они способствуют ускорению выбора рациональных управленческих решений в современных условиях строительного производства.

4. Сформированные в диссертации Я.Д.Гельруда методические положения по созданию информационно-аналитической системы в современных условиях планирования и реализации сложных комплексных проектов могут использоваться другими компаниями, занимающимися проблемами управления проектами в строительной отрасли.

Комиссия отмечает, что разработанные Я.Д.Гельрудом научные положения, математические методы, методические разработки и рекомендации, а также обоснования и выводы представляют значительную ценность для управленческой практики организаций, связанных с проектной деятельностью в строительстве.

Председатель комиссии

Члены комиссии



Р.М.Сайфутдинов

П.Е. Бабенков

Е.М.Олефиренко

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. Управляющего по аналитике  
ООО ПРОФ МЕДИА  
А.И.Коблов  
«22» марта 2015г.



АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание  
ученой степени доктора технических наук

Гельруда Якова Давидовича

На тему «Методология создания информационно-аналитической системы  
управления проектами на основе комплекса математических моделей  
функционирования стейкхолдеров»

г.Челябинск

Комиссия в составе:

Зам. Управляющего по сервису ООО ПРОФ МЕДИА Золина Елена  
Алексеевна;

Проектный менеджер Жульдикова Екатерина Андреевна

Финансист Назарчук Иван Сергеевич;

рассмотрела результаты диссертационного исследования Я.Д.Гельруда на тему «Методология создания информационно-аналитической системы управления проектами на основе комплекса математических моделей функционирования стейкхолдеров» (Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах) и их внедрение в практику управления проектами в ООО ПРОФ МЕДИА.

Комиссия констатирует, что материалы диссертационного исследования Я.Д.Гельруда содержат актуальные научные результаты, способствующие решению важных народно-хозяйственных проблем в области управления сложными комплексными проектами. Одним из основных видов деятельности ООО ПРОФ МЕДИА является как раз оказание услуг по управлению процессом разработки и реализации сложных проектов в области жилищного и промышленного строительства, медицинского обслуживания населения, создания современных агрокомплексов. Этим обстоятельством и обусловлено изучение и использование в практике деятельности организации материалов данного диссертационного исследования.

Проведенный в работе анализ существующих методов управления сложными комплексными проектами и выявленные их недостатки полностью согласуется с практикой их использования в ООО ПРОФ МЕДИА.

Наиболее актуальными и применимыми в деятельности ООО ПРОФ МЕДИА оказались разработанные Гельрудом Я.Д. новые математические модели, позволяющие усовершенствовать ряд методов управления проектами:

- Модель нахождения объемов финансирования проекта собственными силами и объемов кредитования по периодам, которые удовлетворяют соответствующим ограничениям, максимизируя при этом чистый дисконтированный доход проекта.
- Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с детерминированными и переменными объемами финансирования (минимизация риска и максимизация ожидаемой прибыли).
- Модель отбора стратегий для оценки эффективности комплексного инвестиционного проекта.
- Математическая модель задачи по выбору варианта финансирования проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего прибыльность, минимизирующего риски и имеющего максимальную степень ликвидности.
- Математическая модель деятельности заказчика, максимизирующая степень качества.
- Многокритериальная математическая модель деятельности заказчика, которая заключается в разработке укрупненного календарного плана реализации проекта, удовлетворяющего ограничениям по отдельным директивным срокам, ограничениям по объемам финансирования, по качеству выполнения отдельных работ, с учетом показателя надежности проекта, минимизируя при этом степень изменения конфигурации проекта.
- Математическая модель определения оптимальных характеристик проекта, максимизирующая приведенный поток платежей от реализации квартир.

Разработаны рекомендации по оценке рынка жилищного строительства с применением регрессионной модели.

Предложена методика определения оптимальных характеристик проекта, обеспечивающих эффективное выполнение плана ввода комплексов (продаж), на базе построения регрессионной модели и использования кластерного анализа.

Внедрение основных научных положений и разработок диссертационного исследования в практику работы ООО ПРОФ МЕДИА позволило существенно улучшить ряд наиболее важных показателей деятельности организации, повысить качество и своевременность принимаемых проектных решений.

Все научные положения, математические модели и методы, представленные в диссертационной работе, разработаны лично соискателем. Комиссия отмечает, что данные разработки могут успешно применяться в других организациях, в рамках управления сложными проектами.

Председатель комиссии



Е.А. Золина

Члены комиссии:



И.С. Назарчук  
Е.А. Жульдикова

УТВЕРЖДАЮ  
Управляющий агентства недвижимости

Риэлт Стройком

Т.В.Кочкина



АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание  
ученой степени доктора технических наук  
Гельруда Якова Давидовича  
на тему «Методология создания информационно-аналитической  
системы управления проектами на основе комплекса математических  
моделей функционирования стейкхолдеров»

г.Челябинск

Комиссия в составе:

Председателя комиссии

Учредитель агентства недвижимости Риэлт Стройком Крикун Елена  
Владимировна;

и членов комиссии:

Начальник отдела первичной недвижимости Журавлева Ольга  
Владимировна;

Руководитель отдела маркетинга Алексеева Светлана Владимировна

рассмотрела результаты диссертационного исследования Я.Д.Гельруда  
на тему «Методология создания информационно-аналитической системы  
управления проектами на основе комплекса математических моделей  
функционирования стейкхолдеров» (Специальность: 05.13.10 – Управление  
в социальных и экономических системах) и их внедрение в практику  
управления проектами в агентства недвижимости Риэлт Стройком.

Комиссия отмечает:

1. Диссертационная работа Я.Д.Гельруда содержит полный и  
глубокий обзор математических моделей и методов, применяемых в  
настоящее время при управлении проектами. Полученные выводы и  
рекомендации полностью согласуются с нашими представлениями и могут  
служить ориентиром при выборе методов управления проектами в  
конкретных условиях.

2. Разработанный Я.Д.Гельрудом комплекс математических моделей и методов для управления проектами представляется практически значимым. Отдельные математические модели, в частности математические модели для коммерческой службы предприятия, использованы в агентства недвижимости Ризлт Стройком в качестве инструмента анализа динамики продаж квартир. Проведенный анализ и полученные рекомендации позволяют предприятию обосновать и принять более эффективную стратегию создания и реализации крупных жилых комплексов.

3. Предложенные в диссертации модели и методы являются весьма полезными для целей повышения гибкости управления проектами. Они способствуют ускорению выбора рациональных управленческих решений в современных условиях.

4. Комиссия отмечает, что разработанные Я.Д.Гельрудом научные положения, математические методы, методические разработки и рекомендации, а также обоснования и выводы представляют значительную ценность для управленческой практики организаций, связанных с проектной деятельностью.

Председатель комиссии

Крикун Е. В.

Члены комиссии

Журавлева О. В.

Алексеева С. В.

УТВЕРЖДАЮ  
Министр информационных технологий  
и связи Челябинской области, к.т.н.

А.С.Козлов

  
«10» апреля 2015г.



АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание  
ученой степени доктора технических наук

Гельруда Якова Давидовича

На тему «Методология создания информационно-аналитической системы  
управления проектами на основе комплекса математических моделей  
функционирования стейкхолдеров»

г. Челябинск

Комиссия в составе:

Заместитель министра информационных технологий и связи Челябинской  
области Кокорюкин Василий Владимирович;

Начальник управления технического развития, к.т.н., Макаренко Константин  
Викторович;

Доцент кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в  
социальных и экономических системах ЮУрГУ, к.т.н., доцент, Коровин  
Александр Михайлович (по согласованию);

рассмотрев переданные министерству материалы диссертационного  
исследования Я.Д.Гельруда на тему «Методология создания информационно-  
аналитической системы управления проектами на основе комплекса  
математических моделей функционирования стейкхолдеров»  
(Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных и экономических  
системах) и их апробацию и внедрение на предприятиях Челябинской  
области, отмечает:

1. Материалы диссертационного исследования Я.Д.Гельруда, связанного  
с созданием информационно-аналитической системы управления проектами  
на основе комплекса математических моделей функционирования

стейкхолдеров, позволяют решать задачи управления сложными комплексными проектами для различных предприятий и организаций.

2. Проведенный ретроспективный анализ развития теории стейкхолдеров применительно к управлению проектами, определение требований к их компетентности, описание процедур, позволяющих составлять для каждого стейкхолдера свою сетевую модель соответствующей степени агрегированности, дает возможность формировать целостную модель описания проекта, обеспечивает методологическую и информационную совместимость всех входящих в его состав компонент. Указанные результаты представляют интерес для министерства информационных технологий и связи Челябинской области, так как оно участвует в разработке и реализации многих сложных проектов и должно учитывать интересы разных заинтересованных сторон, участвующих в проектной деятельности.

3. Наиболее важными и применимыми в работе министерства информационных технологий и связи Челябинской области представляются разработанные Гельрудом Я.Д. математические модели, позволяющие усовершенствовать ряд методов управления проектами:

- Математическая модель задачи по выбору варианта финансирования проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего прибыльность, минимизирующего риски и имеющего максимальную степень ликвидности.

- Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с детерминированными и переменными объемами финансирования (минимизация риска и максимизация ожидаемой прибыли).

- Модель отбора стратегий для оценки эффективности комплексного инвестиционного проекта.

- Многокритериальная математическая модель деятельности заказчика, которая заключается в разработке укрупненного календарного плана реализации проекта, удовлетворяющего ограничениям по отдельным директивным срокам, ограничениям по объемам финансирования, по качеству выполнения отдельных работ, с учетом показателя надежности проекта, минимизируя при этом степень изменения конфигурации проекта.

4. Внедрение основных научных положений и разработок диссертационного исследования в практику министерства должно способствовать повышению качества и своевременности принимаемых проектных решений, снижению затрат на проведение проектных работ, улучшению технико-экономических показателей реализуемых проектов.

Комиссия считает, что разработки диссертационного исследования Гельруда Я.Д. могут успешно применяться в организациях и предприятиях не только Челябинской области, но других регионов Российской Федерации.

Председатель комиссии



В.В.Кокорюкин

Члены комиссии:



К.В.Макаренко  
А.М.Коровин

**Свидетельства о регистрации разработок в отраслевом фонде  
алгоритмов и программ**



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
ФГНУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»  
**ОТРАСЛЕВОЙ ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОТРАСЛЕВОЙ  
РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТКИ**

**№ 8201**

Настоящее свидетельство выдано на разработку:

**Электронный учебно-методический комплекс  
«Методы принятия решений»**

зарегистрированную в Отраслевом фонде алгоритмов и программ.

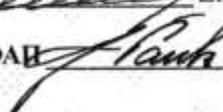
Дата регистрации: **24 апреля 2007 года**

Автор: **Гельруд Я.Д.**

Организация-разработчик: **Южно-Уральский государственный  
университет**



Директор  **Е.Г. Калинкевич**

Руководитель ОФАИ  **А.И. Галкина**

Дата выдачи **06.06.2007**



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
ФГНУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»  
**ОТРАСЛЕВОЙ ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОТРАСЛЕВОЙ  
РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТКИ**

**№ 8197**

Настоящее свидетельство выдано на разработку:

**Электронный учебно-методический комплекс  
«Математика»**

зарегистрированную в Отраслевом фонде алгоритмов и программ.

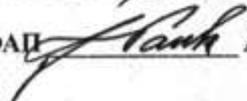
Дата регистрации: **24 апреля 2007 года**

Автор: **Гельруд Я.Д.**

Организация-разработчик: **Южно-Уральский государственный  
университет**



Директор  **Е.Г. Калинкевич**

Руководитель ОФАП  **А.И. Галкина**

Дата выдачи **06.06.2007**



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
ФГНУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»  
**ОТРАСЛЕВОЙ ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОТРАСЛЕВОЙ  
РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТКИ**

**№ 8200**

Настоящее свидетельство выдано на разработку:

**Электронный учебно-методический комплекс  
(ЭУМК) «Линейное программирование»**

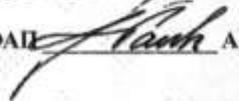
зарегистрированную в Отраслевом фонде алгоритмов и программ.

Дата регистрации: 24 апреля 2007 года

Автор: Гельруд Я.Д.

Организация-разработчик: Южно-Уральский государственный  
университет



Директор  Е.Г. Калининвич  
Руководитель ОФАЦ  А.И. Галкина

Дата выдачи 06.06.2007



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ФГНУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»  
ОТРАСЛЕВОЙ ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОТРАСЛЕВОЙ  
РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТКИ**

**№ 8202**

Настоящее свидетельство выдано на разработку:

**Электронный учебно-методический комплекс  
«Теория вероятностей и математическая статистика»**

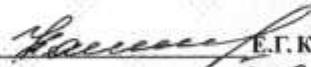
зарегистрированную в Отраслевом фонде алгоритмов и программ.

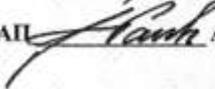
Дата регистрации: 24 апреля 2007 года

Автор: Гельруд Я.Д.

Организация-разработчик: Южно-Уральский государственный  
университет



Директор  Е.Г. Калинин

Руководитель ОФАП  А.И. Галкина

Дата выдачи 06.06.2007