

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования**  
**«Южный федеральный университет»**  
**Инженерно-технологическая академия**

**A.B. Катаев  
Т.М. Катаева**

**Управление проектами  
на базе динамической сети партнеров**

Монография

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2017

УДК 338.24  
ББК 65.050  
К29

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Южного федерального университета

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор *Г.В. Горелова*;  
доктор экономических наук, профессор *И.Н. Олейникова*.

**Катаев, А. В.**

К29 Управление проектами на базе динамической сети партнеров: монография / А. В. Катаев, Т.М. Катаева; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 125 с.

ISBN 978-5-9275-2433-4

В монографии подробно описаны концептуальные основы построения и функционирования сетевых структур как наиболее перспективного способа организации бизнеса, рассмотрены и проанализированы проблемы формирования и управления динамической сетью партнеров. Исследованы теоретико-методологические подходы к организации и реализации проектной деятельности на базе динамической партнерской сети, разработан комплекс моделей и методов поддержки принятия решений при формировании партнерской сети как единой проектной команды. Приведены примеры применения разработанных моделей и методов на практике.

Монография предназначена для научных работников, аспирантов и соискателей групп специальностей 08.00.00 «Экономические науки» и 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление», а также студентов и магистрантов, обучающихся по направлениям «Бизнес-информатика», «Менеджмент», «Экономика» и пр.

ISBN 978-5-9275-2433-4

УДК 338.24  
ББК 65.050

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>  | 4   |
| <b>ГЛАВА 1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В БИЗНЕСЕ .....</b>   | 7   |
| 1.1. Динамическая партнерская сеть как новейшая форма экономического взаимодействия в бизнесе .....  | 7   |
| 1.2. Понятие и сущность, характеристика основных черт сетевой бизнес-структурь. Классификация форм межфирменного взаимодействия .....                                  | 9   |
| 1.3. Отличительные черты и особенности функционирования долгосрочного виртуального предприятия .....   | 21  |
| <b>ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ..</b>  | 34  |
| 2.1. Проблемы организации и управления динамической сетью партнеров, особенности управления проектами в сетевых структурах.....  | 34  |
| 2.2. Организационные механизмы поиска деловых партнеров, их оптимального отбора и объединения для участия в проекте .....  | 39  |
| 2.3. Краткая характеристика экономико-математического аппарата поддержки принятия решений при формировании команды проекта в рамках долгосрочной партнерской сети .... | 48  |
| <b>ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРТНЕРСКОЙ СЕТИ КАК ЕДИНОЙ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ.....</b>   | 54  |
| 3.1. Экономико-математический инструментарий формирования оптимальной по численности группы партнеров, покрывающей все требуемые компетенции .....                     | 54  |
| 3.2. Механизмы поиска оптимального распределения проектных работ по исполнителям.....  | 61  |
| 3.3. Модели назначения минимального количества исполнителей работ при ограниченном бюджете проекта.....  | 76  |
| 3.4. Оптимальное назначение исполнителей с ограничениями на предшествование работ .....  | 97  |
| 3.5. Модель построения оптимального расписания работ проекта .....   | 109 |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>  | 118 |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>  | 120 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Интеграционные процессы в экономике на фоне отчетливых тенденций глобализации, все возрастающее значение инфокоммуникационных технологий в деятельности предприятий значительно повлияли на развитие инновационных методов организации и управления бизнесом. При этом активно развивающейся формой рыночного взаимодействия хозяйствующих субъектов на современном этапе развития общества является сетевая модель, в рамках которой реализуется иной механизм структурной координации, отличный как от внутриfirmенного, так и от чисто рыночного механизма.

Как показывает практика, в настоящее время данная модель экономического партнерства достаточно эффективно используется в проектной деятельности, которая становится основой ведения бизнеса для многих отечественных и зарубежных компаний. В этой связи особую актуальность представляют собой исследования концептуальных основ сетевых организаций в бизнесе, а также методологических подходов к сетевой организации проектной деятельности.

Отметим, что проблемам управления проектами, в том числе построения эффективной организационной структуры управления проектами посвящены работы Разу М.Л., Якутина Ю.В., Воропаева В.В., Бронниковой Т.М., Титова С.А., Мазур И.И., Шапиро В.Д., Новикова Д.А. и др.

Проблемам организации, управления и функционирования сетевых организационных структур посвящены работы таких зарубежных авторов, как W.H. Davidow, M.S. Malone, A. Mowshowitz, C. Freeman, J. Hagedoorn, C. Faucheu, P.J. Buckley, X.A. Вютрих, Р. Патюрель, М. Райсс и других ученых. В России исследованию сетевых форм взаимодействия в бизнесе посвящены работы Г.В. Градосельской, Д.А. Иванова, В.С. Катькало, Г.Б. Клейнера, Д.А. Новикова, А.Н. Олейник, П.О. Скobelева, В.Б. Тарасова, О.А. Третьяк, В.В. Трофимова, А.К. Фоминых, Шерешевой М.Ю. и др.

Вопросам математического моделирования организационных систем, включая сетевые организационные структуры, и принятия управленических решений посвящены работы Д.А. Новикова, В.Н.

Буркова, И.М. Смирнова, Т.Е. Шохина, А.Г. Чхартишвили, А.В. Цветкова, С.Н. Петракова др.

К сожалению, как с отечественной, так и в зарубежной научной литературе, на наш взгляд, недостаточно внимания уделено вопросам разработки и применения формальных моделей и инструментов организации и эффективного управления партнерскими сетями и динамическими сетевыми структурами.

В этой связи целью данной работы является исследование специфики форм организации и функционирования партнерских сетевых структур и разработка комплекса моделей и методов поддержки принятия решений по управлению проектной деятельностью динамических сетей партнеров.

Авторам удалось достигнуть следующих научных результатов:

- уточнить сущность и основные характеристики сетевых бизнес-структур, определить наиболее актуальные с учетом основного направления данного исследования подходы к классификации видов межфирменного сетевого взаимодействия;
- выделить и обозначить некоторые из наиболее значимых отличительных черт и особенностей функционирования долгосрочных партнерских сетей;
- выявить и кратко охарактеризовать существующие проблемы организации и управления динамической сетью партнеров, а также особенности управления проектами в сетевых бизнес-структурах;
- определить основные задачи и организационный механизм поиска деловых партнеров, их оптимального отбора и объединения в виде команды для участия в проекте;
- разработать процедуру оценки потенциальных агентов партнерской сети по общим выделенным комплексным показателям и усредненным характеристикам, отличающуюся объединением экспертных оценок и фактических данных по результатам деятельности экономических агентов в рамках партнерской сети и вне ее, а также использованием вербально-числовой шкалы, которая позволяет рас считать рейтинг агента и сделать обоснованный вывод об уровне его компетенции;

- кратко охарактеризовать разработанный авторами экономико-математический аппарат поддержки принятия решений при формировании команды проекта в рамках долгосрочной партнерской сети, уточнив при этом его отличительные особенности, сферу и преимущества практического применения;
- представить подробное описание разработанного комплекса экономико-математических моделей и методов формирования партнерской сети как единой проектной команды посредством корректного формализованного учета существующих взаимосвязей между партнерами динамической сетевой структуры;
- привести численные примеры, иллюстрирующие применение разработанных моделей и методов на практике.

В целом данное монографическое исследование ориентировано на аудиторию научных сотрудников и преподавателей, аспирантов и студентов экономических и управленческих специальностей.

# **ГЛАВА 1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В БИЗНЕСЕ**

## **1.1. Динамическая партнерская сеть как новейшая форма экономического взаимодействия в бизнесе**

За последние несколько лет в экономической жизни общества произошли значительные изменения, вызванные процессами интеграции, глобализации и активного внедрения интернет-технологий в различные сферы человеческой деятельности, что привело к появлению и развитию относительно новых форм рыночного взаимодействия хозяйствующих субъектов и организационных механизмов координации их совместной коммерческой деятельности.

Такая кооперация экономических агентов, проявляющаяся в объединении их материальных и нематериальных ресурсов для совместной реализации определенных видов деятельности в рамках заключенных контрактов и зачастую позволяющая оставаться автономными, имеет множество форм своего проявления. По мнению авторов данного исследования, наиболее перспективной из них в эпоху бурного развития информационно-телекоммуникационных технологий является *динамическая сетевая структура*.

По нашему мнению, данная организационная форма межфирменного взаимодействия имеет более высокую по сравнению с другими видами структур, в том числе сетевых, степень адаптивности к стремительно меняющимся условиям функционирования во внешней среде, которые зачастую сложно спрогнозировать. Динамическая сетевая структура также достаточно быстро перестраиваться в зависимости от целей и приоритетов в совместной и индивидуальной деятельности входящих в ее состав организаций. При этом она позволяет задействовать в совместной работе наиболее высококвалифицированные кадры вне зависимости от их территориальной удаленности посредством активного использования инфокоммуникационных технологий в деятельности. В результате одним из наиболее важных и значимых преимуществ такого внутреннего устройства данной структуры является синергический эффект, который достигается за счет объеди-

нения ключевых компетенций и ресурсов предприятий, входящих в ее состав<sup>1</sup>.

Отметим также, что данная организационная форма экономического партнерства эффективно используется при реализации проектной деятельности, которая становится основой ведения бизнеса для многих предприятий в нашей стране и за рубежом. В этой связи все большую актуальность приобретают исследования партнерских сетевых структур, принципов их формирования и функционирования, а также проблем организации проектной деятельности в рамках динамической партнерской сети.

Уточним, что в рамках данного исследования термины «динамическая сетевая структура», «динамическая партнерская сеть», «динамическая сеть партнеров», «виртуальное предприятие» («виртуальная организация») будут использоваться как синонимы.

Под *динамической сетью партнеров* следует понимать временную кооперационную сеть предприятий (компаний, формальных и неформальных сообществ, а также индивидов), которая базируется на единой информационной системе, а ее члены обладают всеми ключевыми компетенциями, необходимыми для наилучшего выполнения рыночного заказа – результата работы по проекту<sup>2</sup>.

Таким образом, динамическая сетевая структура как особая форма рыночного взаимодействия, имея некоторые уникальные свойства, представляет собой один из типов межфирменных сетей и, соответственно, обладает всеми присущими им характеристиками. Рассмотрим их более подробно.

---

<sup>1</sup> Кузнецов Ю.В., Мелякова Е.В. Формирование и развитие виртуальной организации / Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», №4. 2015. С. 248-256.

<sup>2</sup> Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.

## **1.2. Понятие и сущность, характеристика основных черт сетевой бизнес-структурьы. Классификация форм межфирменного взаимодействия**

Под *межорганизационным* или *межфирменным взаимодействием* в рамках сети понимается такая специфическая форма сотрудничества независимых экономических агентов, которая предполагает объединение их материальных и нематериальных ресурсов для совместного осуществления каких-либо видов деятельности и обладает следующими отличительными чертами<sup>3</sup>:

- высокая адаптивность к быстроменяющимся условиям внешней среды, которая достигается благодаря децентрализации в управлении, сведению к минимуму количества уровней в иерархии управления, добровольной основе взаимодействия и возможности быстрого изменения состава участников сети;
- управление каждым входящим в состав сетевой структуры хозяйствующим субъектом остается автономным;
- нацеленность на оптимальное использование комплементарных ресурсов, которое способно привести к формированию коллектичного конкурентного преимущества на рынке или в отрасли.

Таким образом, сетевой называют зачастую такую организационную структуру, которая состоит из легко заменяемых «модулей»<sup>4</sup>, т.е. при необходимости состав ее участников может быстро меняться, позволяя скомбинировать иную, более актуальную с учетом сложившейся рыночной конъюнктуры комбинацию ресурсов и компетенций, что особенно необходимо для успешного функционирования предприятия на высокодинамичных рынках<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Кузнецов Ю.В., Мелякова Е.В. Формирование и развитие виртуальной организации / Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», №4. 2015. С. 248-256. Маленков Ю.А. Современный менеджмент: учебник. / Серия «Учебники экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета». М.: Изд-во ЗАО «Экономика», 2010. 439 с.

<sup>4</sup> Кузнецов Ю.В., Мелякова Е.В. Развитие подходов к проектированию организационных структур управления. Terra Economicus, 2013. Том 2. №3. С. 40-46.

<sup>5</sup> Кузнецов Ю.В., Мелякова Е.В. Формирование и развитие виртуальной организации / Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент», №4. 2015. С. 248-256.

К особенностям управления сетевой организационной структурой можно также отнести отсутствие единых для всех ее участников жестко установленных регламентов, правил и процедур, что предполагается в большинстве случаев невозможность формирования единой корпоративной культуры. Между тем в данных объединениях осуществляется определенное совместное планирование деятельности, направленной на достижение общей для всех участников цели функционирования в рамках сети, что не исключает наличие неких индивидуальных целей у партнеров. Административные методы управления практически отсутствуют, при этом единственным инструментом влияния становится контракт и сопутствующие ему экономические стимулы мотивации.

Таким образом, между партнерами в межфирменной сети существует добровольная связность, основанная на желании достичь максимального эффекта от использования имеющихся в наличии у каждого ресурсов.

Принято выделять достаточно много видов сетевых организационных структур. Наиболее емкую, лаконичную и четкую типологию межфирменных сетевых структур предложили Р. Майлз и Ч. Сноу<sup>6</sup>. В своей работе авторы выделили внутренние, стабильные и динамические сети, первые из которых представляют собой результат взаимодействия между подразделениями одной компании, реализуемого на основе рыночных механизмов (так называемое «внутреннее» предпринимательство). Стабильные сетевые структуры образуются, как правило, за счет передачи части работ на аутсорсинг субподрядчикам.

Под динамическими сетями понимались структуры, основанные на принципе гибкости, где изменения становятся практически постоянным и непосредственным атрибутом их хозяйственной деятельности, в соответствии с чем сеть при необходимости может мгновенно перестраиваться в ответ на изменения рыночной конъюнктуры. Как отмечалось ранее, подобная организационно-управленческая струк-

---

<sup>6</sup> Miles R. E., Snow C. C. Causes of failure in network organizations // California Management Review. 1992. Vol. 34 (4). P. 53-72.

тура делает предприятие более адаптивным и устойчивым к изменениям во вне и внутри него.

Некоторые коррективы в определение понятия и понимание сущности динамических сетевых структур внес прорыв в области информационно-коммуникационных технологий, который позволил сетевым организациям перевести реализацию некоторых бизнес-процессов в виртуальную реальность. В результате многие исследователи-теоретики и специалисты на практике под динамическими сетями понимают, прежде всего, виртуальные организации.

Существуют также и другие типологии сетевых форм организации бизнеса, которые достаточно подробно были рассмотрены в коллективной монографии под научной редакцией докт. экон. наук, проф. М. Ю. Шерешевой<sup>7</sup>. Краткая характеристика наиболее актуальных из них, на наш взгляд, в соответствии с направлением данного монографического исследования представлена в табл. 1.1.

Подводя итог проведенному обзору основных подходов к типологии межфирменного сетевого взаимодействия, необходимо отметить, что современная наука так и не пришла к единому мнению относительно ключевых критериев и типов данных организационных структур, что во многом объясняется сложной и многообразной природой объекта исследования. Однако, по нашему мнению, каждая из приведенных классификаций однозначно имеет определенную ценность и может быть достаточно успешно использована в зависимости от области проводимых исследований, а также конкретных целей и задач применения.

---

<sup>7</sup> Методология исследования сетевых форм организации бизнеса: коллект. моногр. / М. А. Бек, Н. Н. Бек, Е. В. Бузулукова и др.; под науч. ред. М. Ю. Шерешевой. М.: НИУ «Высшая школа экономики», 2014. 590 с.

Таблица 1.1

### Краткая характеристика основных подходов к классификации типов сетевого взаимодействия

| №                                      | Авторы                          | Критерий (ии) классификации | Типы сетей  |
|--|---------------------------------|-----------------------------|---|
| <i>Однокритериальные классификации</i> |                                 |                             |   |
| 1                                      | P. Майлз и Ч. Сноу <sup>1</sup> | Механизм координации        | <p><i>Внутренние сети</i> представляют собой такую форму взаимодействия отдельных подразделений (бизнес-единиц) компании, которая подчинена, прежде всего, действию рыночных сил, что способствует более успешному освоению организационных инноваций и функционированию предприятия в целом.</p> <p><i>Стабильные сети</i> предполагают долгосрочное взаимодействие, состоят из формально независимых предприятий, специализирующихся на отдельных видах деятельности, которые группируются вокруг одной крупной «центральной» производственной фирмы, реализующей ключевые компетенции данного объединения в целом.</p> <p><i>Динамические сети</i> – временное объединение независимых компаний, которые владеют несколькими ключевыми компетенциями и группируются вокруг управляющей фирмы или фирмы-брокера, обладающей, как правило, лишь стержневым для бизнеса навыком</p> |

<sup>1</sup> Snow C.C., Miles R.E., Coleman H.S. Managing 21st century network organizations; Miles R.E.,Snow C.C. Causes of failure in network organizations//California Management Review. 1992. Summer. Miles R.E., Snow C.C. Fit, failure and the hall of fame: How companies succeed or fail. New York, 1994.

Продолжение табл. 1.1

| № | Авторы                                 | Критерий (ии) классификации                           | Типы сетей  |
|---|--|---|---|
| 2 | Х. Хинтерхубер и Б. Левин <sup>1</sup> | Структура (состав) сетей                              | <p><i>Внутренние (внутриорганизационные) сети</i> – совокупность стратегических бизнес-единиц в рамках одной компании.</p> <p><i>Внешние (межорганизационные) сети</i> – объединение самостоятельных хозяйствующих субъектов, которое бывает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>горизонтальным</i>, т.е. имеет вид альянсов схожих между собой фирм, оперирующих на одних и тех же рынках;</li> <li>– <i>вертикальным</i>, т.е. принимает вид специфичного для каждой отдельной отрасли канала поставок и дистрибуции, располагающегося вокруг центрального агента – производственной компании;</li> <li>– <i>диагональным</i>, т.е. сформированным с участием различных компаний, действующих в разных секторах рынка и сильно отличающихся друг от друга</li> </ul> |
| 3 | P. Акрол <sup>2</sup>                  | Маркетинговая составляющая в деятельности объединения | <p>Автор выделил четыре формы сетевого взаимодействия:</p> <p>1. <i>Внутренние рыночные сети</i>, в рамках которых одни структурные единицы предприятия, наделенные относительной автономией, осуществляют операции с его другими подразделениями, а также внешними агентами, для своего эффективного функционирования,</p>   |

<sup>1</sup> Hinterhuber H.H., Levin B.M. Strategic networks - the organisation of the future // Long Range Planning. 1994. Vol. 27. No. 3. P. 43–53.

<sup>2</sup> Achrol R.S. Changes in the theory of interorganizational relations in marketing: Toward a network paradigm // Journal of the Academy of Marketing Science. 1997. Vol. 25. No. 1. P. 56–71.

*Продолжение табл. 1.1*

| №  | Авторы | Критерий (ии) классификации | Типы сетей   |
|----|--------|-----------------------------|--|
| 14 |        |                             | <p>исходя из условий рынка, однако действуют на основании общей политики и принципов, принятых в данной компании в целом.</p> <p>2. <i>Вертикальные рыночные сети</i> – специфичный для каждой отдельной отрасли канал поставок и дистрибуции, располагающийся вокруг «классической» производственной компании.</p> <p>3. <i>Межрыночные сети</i>, которые сгруппированы либо вокруг одной крупной финансовой структуры, либо на базе торгующей или производственной компании.</p> <p>4. <i>Сети возможностей</i> – временные образования вокруг конкретного проекта для заказчика и(или) потребителя, которые по своей сути аналогичны с динамическими сетями в классификации Р. Майлза и Ч. Сноу. Такая сеть специализируется на сборе информации о рынке, которой обеспечивает всех агентов сети. В центре подобной структуры зачастую находится маркетинговая организация, которая ведет мониторинг потребностей заказчика и обеспечивает связь клиента с потенциально возможными поставщиками продуктов и услуг, ведет переговоры, координирует проекты, регулирует продуктовые стандарты и правила обмена между участниками сети</p> |

Продолжение табл. 1.1

| № | Авторы                              | Критерий (ии) классификации           | Типы сетей  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 4 | С. Розенфельд <sup>1</sup>          | Объект обмена как причина объединения | <p>«Жесткие» сети, в которых три фирмы и более объединяют силы для совместного хозяйствования в рамках производства, закупок, создания и продвижения продукта.</p> <p>«Мягкие» сети, где фирмы объединяются для решения общих проблем, обмена информацией или приобретения новых знаний, умения и навыков</p>   |
| 5 | К. Мёллер и А. Раджала <sup>2</sup> | Процесс создания ценности             | <p>1. <i>Стабильные сети</i> с устоявшейся системой создания ценности, с хорошо известными компетенциями участников и четко прописанными бизнес-процессами, которые разделяются на две категории:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>вертикальные сети спроса-поставок</i>, выстроенные вдоль цепочки создания ценности;</li> <li>– <i>горизонтальные рыночные сети</i>, создаваемые с целью предложения конечным потребителям совместного продукта.</li> </ul> <p>2. <i>Обновляющиеся сети</i>, которые также имеют достаточно устойчивую систему создания ценности, однако участники сети имеют возможность вносить в нее изменения.</p> |

<sup>1</sup> Rosenfeld S.A. Does cooperation enhance competitiveness? Assessing the impacts of inter-firm collaboration // Research Policy. 1996. Vol. 25. No. 2. P. 247–263.

<sup>2</sup> Möller K., Rajala A. Business nets: Classification and management mechanisms. (Electronic working paper). Helsinki School of Economics - HSE Print, 2006. URL: <http://epub.lib.aalto.fi/pdf/wp/w407.pdf>. Möller K., Rajala A. Rise of strategic nets - New modes of value creation // Industrial Marketing Management. 2007. Vol. 36. No. 7. P. 895–908.

*Продолжение табл. 1.1*

| №  | Авторы | Критерий (ии) классификации | Типы сетей  |
|----|--------|-----------------------------|---|
| 16 |        |                             | <p>Они также разделены на две категории:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– временные сети с единой целью, состоящие из фокальной фирмы и ее поставщиков, заказчиков, консультантов и поставщиков специализированных технологий;</li> <li>– сети решений для конечного пользователя, формирующиеся из производителей с комплементарными ресурсами и компетенциями и действующие как проекты.</li> </ul> <p>3. «Зарождающиеся» сети, в которых создаются новые технологии, решения, концепции, сферы бизнеса путем радикальных прерывающих инноваций в масштабе всей системы. В подобных структурах чрезвычайно высоким является уровень неопределенности функционирования. Авторами классификации данный тип сетей может иметь три подтипа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– инновационные сети – исследовательские сети в области науки и высоких технологий, объединяющие университеты, научно-исследовательские институты и пр.;</li> <li>– сети доминирующего стандарта – диагональные коалиции партнеров, разделяющих схожие взгляды на развитие той или иной технологии и стремящихся еще на стадии разработки сделать технологию вновь разрабатываемого продукта доминирующим стандартом в отрасли;</li> </ul> |

*Продолжение табл. 1.1*

| №                                       | Авторы                              | Критерий (ии) классификации  | Типы сетей   |
|---|-------------------------------------|--|--|
|   |                                     |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– сети бизнес-приложений, которые формируются с целью создания коммерчески жизнеспособного бизнес-приложения, выходящего за рамки существующих общепринятых технологий.</li> </ul>  |
| <i>Многокритериальные классификации</i> |                                     |  |  |
| 6                                       | А. Грандори и Дж. Соды <sup>1</sup> | 1) уровень формализации (формальное заключение договоров);<br>2) уровень централизации и симметрии (есть ли центральная координирующая фирма);<br>3) существующие механизмы координации. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Социальные сети</i>, в которых идет обмен социальными продуктами, такими как престиж, власть, карьерные возможности и пр. Зачастую юридическое оформление подобного взаимодействия не требуется.</li> <li>2. <i>Бюрократические сети</i> – форма межфирменной координации, закрепленной в формализованных контрактах (комерческих договорах, контрактах об участии в ассоциации и пр.), которые призваны защитить соблюдение взаимных прав и обязанностей участников. Выделяют следующие виды подобных сетей:           <ul style="list-style-type: none"> <li>– симметричные – межфирменные ассоциации, созданные для координации действий большого числа схожих фирм с невысокой степенью взаимозависимости, картели, федерации, а также консорциумы, отличающиеся высоким уровнем формализации и комплексностью межфирменных отношений;</li> <li>– асимметричные – агентские сети, лицензирование и франчайзинг.</li> </ul> </li> <li>3. <i>Сети, основанные на правах собственности</i>, – форма, подразумевающая совместное (перекрестное) владение активами, к которой</li> </ol> |

<sup>1</sup> Grandori A., Soda G. Inter-firm networks: antecedents, mechanisms and forms // Organization Studies. 1995. Vol. 16. No. 2. P. 183–214.

Продолжение табл. 1.1

| №  | Авторы                               | Критерий (ии) классификации   | Типы сетей   |
|----|--------------------------------------|---|--|
|    |                                      |   | отнесены совместное предприятие и предприятие, основанное на венчурном капитале  |
| 18 | 7 Й Зюдов и А. Винделер <sup>1</sup> | 1) форма управления;<br>2) фокальность (степень доминирования одного из акторов);<br>3) стабильность. | В соответствие с данным набором критериев выделяют следующие четыре типа межфирменных сетей:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>проектные сети</i>, которые фокальны и нестабильны, что представляет собой одну из хорошо устоявшихся форм сотрудничества компаний в строительной отрасли;</li> <li>– <i>стратегические сети</i>, которые отличаются высокой степенью доминирования одного партнера и стабильностью, например сети поставщиков, создаваемые крупными автопроизводителями;</li> <li>– <i>виртуальные предприятия</i>, которые поликентричны и нестабильны, например некоторые компании в сфере информатики и консалтинга;</li> <li>– <i>сети-союзы</i>, которые также поликентричны, однако достаточно стабильны, что отражает специфику и находит хорошее применение на транспортных рынках</li> </ul> |

---

<sup>1</sup> Sydow J., Windeler A. Organizing and evaluating interfirm networks — a structurationist perspective on network management and effectiveness // Organization Science. 1998. Vol. 9. No. 3. P. 265–284. Sydow J., Windeler A. Projektnetzwerke: Management von (mehr als) temporären Systemen // Engelhard J., Sinz E.J. (Hrsg.). Kooperation im Wettbewerb. Wiesbaden: Gabler, 1999. S. 211–235.

| № | Авторы                     | Критерий (ии) классификации  | Типы сетей  |
|---|----------------------------|--|---|
| 8 | М.Ю. Шерешева <sup>1</sup> | 1) тип квази-интеграции (вертикальная или горизонтальная);<br>2) наличие внутренней конкуренции;<br>3) наличие или отсутствие барьеров входа в сеть;<br>4) размер компаний-участников;<br>5) степень равноправности взаимоотношений (фокальная или поликентрическая сеть); | <p><i>1. Стратегический альянс</i> - форма горизонтальной квазинтеграции, отличительным признаком которой является сотрудничество конкурентов, действующих на одной и той же ступени цепочки создания ценности и объединяющих ресурсы для решения общих стратегических задач.</p> <p><i>2. Динамическая фокальная сеть («паутина создания ценности»)</i> – сетевая структура, которая сгруппирована вокруг одной доминирующей центральной единицы, координирующей деятельность по созданию ценности иерархическими методами.</p> <p><i>3. Цепочка (сеть) создания ценность</i> – сеть, которая в отличие от динамической фокальной сети имеет долгосрочную ориентацию и состоит из партнеров, имеющих в целом равные права и обслуживающих специфические рынки либо заказы клиентов.</p> <p><i>4. Фокальная сеть поставщиков</i> по своим основным параметрам очень схожа с цепочкой создания ценностей, однако имеет в своем составе одну, как правило, крупную фирму, которая является ее стратегическим лидером, а также ее поставщиков, расположенных на разных ступеньках создания ценности и находящихся в зависимом положении в рамках жестко сформированной вертикальной структуры.</p> |

<sup>1</sup> Шерешева М. Ю. Межорганизационные сети в системе форм функционирования современных отраслевых рынков: автореф. дисс. ... д-ра экон. наук: 08.00.01. М., 2006. 53 с.

*Окончание табл. 1.1*

| № | Авторы | Критерий (ии) классификации  | Типы сетей   |
|---|--------|--|--|
|   |        | 1) стабильность группы;<br>2) характерные задачи, реализуемые с помощью объединения ресурсов и компетенций | <p>5. <i>Виртуальная организация</i> - форма квазиинтеграции, отличительным признаком которой является наличие пула компаний (как правило, мелких и средних), объединяющих ресурсы для реализации проектов, которые они не в состоянии осуществить поодиночке.</p> <p>6. <i>Кластер</i> - стратегическая межфирменная сетевая структура отраслевого или межотраслевого характера, которая объединяет в себе ресурсы и ключевые компетенции не только компаний как экономических агентов, но и других организаций</p> |

### **1.3. Отличительные черты и особенности функционирования долгосрочного виртуального предприятия**

В рамках данного исследования считаем целесообразным уделять особое внимание рассмотрению основных характеристик и особенностей функционирования такой формы межорганизационного бизнес-взаимодействия, как динамическая партнерская сеть. Как было отмечено ранее, данный тип сетевой структуры одними из первых в своих работах стали выделять Раймонд Майлз и Чарльз Сноу<sup>8</sup>.

Современному же пониманию сущности этой дефиниции, на наш взгляд, более всего соответствует определение виртуальной организации, предложенное в исследованиях российского ученого, доктора экономических наук Шерешевой М. Ю.<sup>9</sup> По мнению данного автора, такая форма квазиинтеграции представляет собой пул мелких и средних по размеру компаний, объединяющих ресурсы для реализации проектов, которые они не в состоянии выполнить по отдельности. Таким образом, члены виртуального предприятия или, в терминах данного монографического исследования, динамической партнерской сети добиваются увеличения своих производственных возможностей за счет достижения значительного «виртуального» размера при одновременном сохранении маневренности функционирования, которая присуща, прежде всего, небольшим компаниям.

Участники сети создают относительно стабильную структуру, которая способна реализовывать достаточно широкий спектр компетенций, при этом каждый отдельный ее член концентрирует свои усилия лишь на некоторых из них. По мнению Шерешевой М.Ю., товары и услуги, создаваемые и/или реализуемые данным объединением, все-

---

<sup>8</sup> Snow C.C., Miles R.E., Coleman H.S. Managing 21st century network organizations; Miles R.E.,Snow C.C. Causes of failure in network organizations//California Management Review. 1992. Summer. Miles R.E., Snow C.C. Fit, failure and the hall of fame: How companies succeed or fail. New York, 1994.

<sup>9</sup> Методология исследования сетевых форм организации бизнеса: коллект. моногр. / М. А. Бек, Н. Н. Бек, Е. В. Бузулукова и др. ; под науч. ред. М. Ю. Шерешевой. М.: Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2014. 444 с. Шерешева М.Ю. Формы сетевого взаимодействия компаний. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2010. Шерешева М. Ю. Межорганизационные сети в системе форм функционирования современных отраслевых рынков: дисс. ... д-ра экон. наук: 08.00.01: защищена 11.04.2007. М., 2006. 422 с.

гда сильно ориентированы на своего заказчика, что достигается формированием нового проекта при появлении нового заказа. При этом возникает так называемая «временная цепочка создания ценностей», т.е. «виртуальная фабрика», которая ограничена периодом реализации проекта, т.е. носит краткосрочный характер, и формируется очень динамично, а состав ее партнеров может варьироваться от заказа к заказу. Однако, как правило, формирование динамической партнерской сети в целом носит стратегический долгосрочный характер.

Среди отличительных черт виртуальной организации Шерешева М.Ю. выделяет также наличие конкуренции между ее партнерами, что объясняется входом в состав пула помимо партнеров с комплементарными ресурсами участников, предоставляющих одинаковые ресурсы и компетенции, что необходимо, в том числе для обеспечения достаточного количества производственных мощностей данного временного предприятия. При этом виртуальная организация поликентрична, имеет характерные признаки саморегулирования и открытую структуру либо невысокие входные барьеры для выбора наиболее надежных из числа претендентов на роль партнеров в целях достижения необходимой стабильности объединения.

Таким образом, по мнению авторов данной монографии, основными характеристиками динамической партнерской сети, отличающими ее от других видов сетевых структур в исследуемой совокупности, можно отнести следующее<sup>10</sup>:

- участниками данных сетевых объединений являются, как правило, предприятия малого и среднего бизнеса;
- с позиции стабильности группы участников данные организационные структуры являются динамическими, т.е. обладающими гибкой подвижной структурой, что проявляется в способности стремительно перестраиваться в ответ на изменения рыночной конъюнктуры.

---

<sup>10</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М. Межорганизационные сетевые структуры: проблемы организации и управления // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, Ч.1, №7, 2016. С. 141-145. Коженко, Я.В. Современные тренды инновационного развития экономики: коллективная монография / Я.В. Коженко, А.В. Катаев, Т.М. Катаева, Н.В. Лихолетова, Е.Л. Макарова, Л.В. Шаронина; под ред. Я.В. Коженко. Уфа: «ОМЕГА САЙНС», 2016. 109 с.

туры и позволяет достичь устойчивости в функционировании предприятия во внешней среде;

- данное сетевое объединение в полной мере нацелено на максимальное полное удовлетворение требований заказчика, что достигается посредством формирования и реализации «ad hoc»-проектов для выполнения новых конкретных заказов;
- структура партнерской сети является помимо прочего открытой распределенной, приоритет в управлении которой отдается горизонтальным связям;
- основные бизнес-процессы данного объединения реализуются в виртуальном пространстве, используя информационно-теле-коммуникационные и интернет-технологии, что позволяет среди прочего расширить границы сотрудничества и достичь возможности привлечения в качестве участников специалистов наивысшего уровня квалификации вне зависимости от их территориальной удаленности.

Следует отметить, что предприятия данного типа можно условно разделить на два больших класса в зависимости от характера главной цели их создания. Организации одного из выделенных классов формируются исключительно при выявлении некоторой рыночной возможности либо поступлении определенного рыночного заказа. В этом случае участники динамической сетевой структуры будут ориентированы прежде всего на выполнение конкретных задач в рамках данного проекта и организованы исключительно в соответствии с его целями и задачами. Как уже отмечалось ранее, завершение работы над проектом, предполагающим реализацию обозначенной рыночной возможности либо рыночного заказа, является моментом окончания существования виртуального предприятия.

Динамические партнерские сети второго из выделенных классов создаются на постоянной основе для поиска и выполнения различных проектов, что, однако, не является препятствием для их быстрой внутренней перестройки в связи с изменениями рыночной конъюнктуры.

Исходя из содержания описанных выше различий, становится понятно, что методы и инструменты управления виртуальными предприятиями каждого из указанных классов имеют принципиальные различия. Во втором случае определенно требуется применение специ-

фических организационных механизмов управления, направленных на обеспечение эффективного долгосрочного стратегического взаимодействия и сотрудничества участников партнерской сети. На практике для достижения этой цели на базе подобного виртуального предприятия создается *стратегический координационный центр (СКЦ)*, в состав которого входят представители основных партнеров и/или специально приглашенный для этих целей партнер, обладающий соответствующими ключевыми компетенциями<sup>11</sup>.

Структура такого СКЦ может быть абсолютно разной в зависимости от размеров и специфики деятельности динамической партнерской сети, однако возможным, на наш взгляд, является выделение следующих функциональных подразделений в его составе, обеспечивающих реализацию основных стоящих перед центром задач:

1. Подразделение маркетинга (ПМ), отвечающее за организацию поиска проектов определенной специфики, повышение лояльности и привлечение потенциальных заказчиков и пр.

2. Организационно-управленческое подразделение (ОУП), отвечающее за разработку конкретных целей и постановку задач, стратегии и тактики функционирования и развития, а также планирование, организацию, координацию и управление деятельностью виртуального предприятия.

3. Подразделение управления знаниями (ПУЗ), обеспечивающее идентификацию, накопление, привлечение и развитие ключевых компетенций структуры.

Рассмотрим более подробно основные функции и задачи, стоящие перед приведенными выше подразделениями стратегического координационного центра, кратко характеризующие основное содержание их работы.

### ***I. Подразделение маркетинга (ПМ)***

Внедрение и организация маркетинговой деятельности в рамках динамической сетевой структуры предполагает реализацию следую-

---

<sup>11</sup> Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.

ших шести основных традиционных для данной сферы задач, охватывающих все обязательные функции маркетинга<sup>12</sup>:

*1. Определение наиболее перспективных для данного предприятия рынков.*

По существу решение данной задачи заключается в самоидентификации в существующей бизнес-среде, которая предполагает ответ на вопрос о том, в чем состоит выбранный бизнес и/или каким именно видом бизнеса партнером динамической сетевой структуры хотелось бы заниматься и какое количество средств в эту деятельность необходимо инвестировать?

Следует понимать, что решение о выборе рынков является стратегическим для всей сетевой организационной структуры и имеет большее значение для всей ее последующей деятельности, нежели выбор партнеров, продуктов или технологий. В силу высокой изменчивости внешней среды функционирования принятие подобного решения осуществляется многократно в течение жизненного цикла предприятия, а в некоторых случаях это происходит непрерывно на регулярной основе через определенные периоды времени<sup>13</sup>.

Решение относительно выбора наиболее интересных и перспективных для динамической партнерской сети рынков, как правило, принимают члены стратегического координационного центра коллегиально, при этом деятельность членов ПМ ограничивается рекомендациями на основании результатов проведенных маркетинговых исследований с учетом имеющихся ресурсов и компетенций состава виртуального предприятия.

Таким образом, результатом работы ПМ в рамках решения первой из выделенных задач является:

- выявление существующих и потенциальных рыночных возможностей для предприятия;

---

<sup>12</sup> Капон Н., Колчанов В., Макхалберт Дж. Управление маркетингом. СПб.: Питер, 2010. 832 с.

<sup>13</sup> Капон Н., Колчанов В., Макхалберт Дж. Управление маркетингом. СПб.: Питер, 2010. 832 с.; Котлер Ф., Армстронг Г., Вонг В., Сондерс Дж. Основы маркетинга. М.: Вильямс, 2012. 752 с.

– формирование рекомендаций относительно возможных стратегических действий.

## *2. Идентификация основных рыночных сегментов на выбранных рынках и ориентация на более привлекательные из них.*

Выявление основных рыночных сегментов предполагает определение отдельных групп потребителей на выбранном рынке, имеющих сходные потребности и приоритеты в выборе тех или иных товаров либо услуг. Результатом корректной и грамотной сегментации является выделение нескольких сегментов, существенно отличающихся характеристикой основных черт входящих в их состав потребителей.

Необходимо понимать, что эффективные действия в направлении сегментации и ориентация на наиболее привлекательные для предприятия сегменты позволяют динамической структуре лучше всего использовать свои сильные стороны и преимущества, а также расчитывать на получение дохода от ведения хозяйственной деятельности.

## *3. Определение конкурентных преимуществ и позиционирование на выбранном сегменте рынка.*

Реализация данной функции предполагает на первом этапе определение целевых задач и способов осуществления конкуренции, составляющих основу будущих стратегических решений предприятия по этим выбранным рыночным сегментам. Затем следует обозначение виртуальным предприятием с помощью ПМ своей рыночной позиции, для чего необходимо: 1) разработать ценное для типичного потребителя каждого из сегментов торговое предложение, более убедительное, нежели предложение целевого конкурента; 2) заставить потребителей поверить в наличие актуальной для него ценности.

Необходимо помнить, что динамическая партнерская сеть, как и любое другое предприятие, сталкивается с постоянно изменяющимися условиями внешней среды, что может выражаться в изменении потребностей и портрета типичного целевого потребителя, изменении конкурентного окружения в части его состава, а также стратегий, реализуемых основными его участниками, и пр. Данные обстоятельства определяет необходимость постоянной оценки со стороны виртуального предприятия актуальности стратегического направления своего

развития и проведение необходимых корректировок принятого курса. Решения о стратегическом направлении бизнеса создают основу для разработки и актуализации маркетингового предложения организации.

#### *4. Разработка маркетингового предложения.*

Маркетинговое предложение представляет собой пакет предложений, выгодных для потребителей выбранного целевого сегмента рынка, которые динамическая партнерская сеть готова предоставить своим клиентам<sup>14</sup>. Для каждого из рыночных сегментов создается свое торговое предложение, имеющее собственную ценность для потребителя и цену.

#### *5. Определение способов взаимодействия участников виртуального предприятия для выработки эффективного маркетингового предложения.*

Разработка и реализация корректного, актуального и интересного с позиции продавца и покупателя маркетингового предложения требует активного участия основных партнеров динамической партнерской сети. Такое участие должно выражаться в обеспечении поддержки данного процесса путем оценки технической, операционной и экономической осуществимости, с учетом которой происходит формирование рыночного предложения, а также путем содействия его реализации на выбранном сегменте рынка.

Поясним некоторые особенности реализации данной функции ПМ. Способность виртуального предприятия разработать и реализовать проект, заключающийся в создании и предоставлении маркетингового предложения, зависит от внутреннего потенциала организации и имеющихся в наличии комплементарных ресурсов.

Проект, обладающий наибольшей ценностью для потребителя, может потребовать приятия реализуемому товару/услуги таких характеристик, которые динамическая сетевая структура просто не может обеспечить. В этом случае, если проект по существу является неосуществимым, ПМ должно попытаться обеспечить сохранение ориентации предприятия на удовлетворение выявленных у целевого по-

---

<sup>14</sup> Капон Н., Колчанов В., Макхалберт Дж. Управление маркетингом. СПб.: Питер, 2010. 832 с.; Котлер Ф., Келлер К.Л. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс. 3-е издание. СПб.: Питер, 2012. 480 с.

потребителя потребностей и оказать всевозможное содействие в развитии его возможностей.

### *6. Осуществление мониторинга исполнения и контроль результатов.*

Решение данной задачи предполагает сбор и предоставление заинтересованным лицам информации о том, достигаются ли желаемые и запланированные результаты деятельности по формированию и реализации маркетингового предложения.

Таким образом, первые четыре из выделенных функций подразделения маркетинга являются стратегическими и директивными, при этом первая и вторая определяют место размещения ресурсов предприятия (наиболее интересные с учетом миссии предприятия целевые сегменты рынка), а третья и четвертая – способ их использования. Пятая функция отдела определяет способ и форму совместной работы партнеров динамической сетевой структуры, обеспечивающих выработку правильного и эффективного маркетингового предложения, а шестая – методы и способы контроля промежуточных и итоговых результатов деятельности.

## *II. Организационно-управленческое подразделение (ОУП)*

Основные задачи ОУП, как уже было заявлено выше, заключаются в стратегическом и текущем планировании деятельности виртуального предприятия, определении его целевых ориентиров в соответствии с установленными целями и задачами, а также в организации и координации совместной деятельности участников динамической партнерской сети.

Специфика деятельности динамических сетевых структур накладывает определенный отпечаток на содержание и механизм реализации данных вполне традиционных для любой организации функций. Так, постоянный поиск и выполнение разных по масштабу и другим элементам рыночных заказов, как отдельных проектов, требует реализации в качестве основной функции ОУП поиска и привлечения к сотрудничеству в качестве партнера юридических лиц различных организационно-правовых форм и сфер деятельности. Это в свою очередь требует реализации определенных механизмов поиска таких партнеров, комплексной оценки их уровня компетенций, методов и

моделей оптимального отбора и назначения участников виртуального предприятия на выполнение конкретных работ в рамках выполняемого проекта.

Необходимо понимать, что во многом способы решения указанных задач зависят от приоритетов и характера деятельности потенциальных участников динамической сетевой структуры, в роли которых могут выступать также публичные партнеры. Как отмечают некоторые исследователи<sup>15</sup>, использование механизмов государственно-частного партнерства в настоящее время получает широкое распространение в России и является достаточно перспективным и значимым для общества в целом.

Рассмотрим более подробно содержание основной деятельности организационно-управленческого подразделения СКЦ динамической сети партнеров. Итак, стратегическое и текущее планирование деятельности виртуального предприятия определяет необходимость разработки некоторой уникальной для каждой сетевой структуры системы поиска, отбора и объединения партнеров для регулярного участия в различных конкретных проектах, что предполагает решение следующих двух взаимосвязанных и взаимодополняющих задач:

1. Привлечение новых потенциальных участников динамической сети, обладающих ключевыми компетенциями для эффективного выполнения отдельных задач в рамках различных проектов определенной специфики, что позволит обеспечить тем самым успешное функционирование долгосрочного виртуального предприятия в целом.

2. Оптимальный отбор и объединение участников виртуального предприятия, обладающих ключевыми компетенциями, для выполнения конкретных работ в рамках актуальных для организации проектов.

Решение первой из выделенных задач предполагает разработку соответствующих механизмов поиска, оценки уровня компетентности, отбора и привлечения к сотрудничеству потенциальных партнеров

---

<sup>15</sup> Коженко Я.В. Условия и направления формирования государственной политики по развитию государственно-частного партнерства в Российской Федерации // Аграрное и земельное право. 2016. № 8 (140). С. 134-137.

динамической сети, для которых возможными стимулами кооперации могут служить<sup>16</sup>:

- возможность получения дополнительных заказов, наращивание объемов производства и участия в выполнении ранее недоступных комплексных и крупных проектах;
- доступ к новой для предприятия специализированной и специфической информации относительно методик работы на выбранных сегментах рынка, результатов ранее проведенных исследований и пр.;
- повышение качества собственных производимых (оказываемых) продуктов (услуг) за счет использования опыта и знаний партнеров;
- возможность расширить перечень реализуемых товаров (услуг) и сформировать новые уникальные предложения комплексных решений за счет включения услуг и продуктов партнеров, выход на новые рынки сбыта;
- возможность уменьшения затрат и сроков реализации проектов за счет привлечения ресурсов партнеров;
- получение дополнительного дохода за счет предоставления партнерам своих неиспользуемых либо недостаточно эффективно используемых ресурсов.

Необходимо отметить, что при формировании динамической партнерской сети, ориентированной на функционирование в течение длительного периода времени, актуальной становится задача поиска и привлечения к сотрудничеству потенциальных участников до момента получения заказа на разработку и/или выполнение проекта. Это не позволяет точно сформулировать требования к компетенциям потенциальных партнеров и значительно усложняет их поиск.

Однако, несмотря на достаточно высокую степень неопределенности, можно выделить следующие этапы реализации второй из указанных задач ОУП:

---

<sup>16</sup> Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.

2.1. Определение потенциально необходимых ключевых компетенций и ресурсов, требующихся для выполнения основных задач в рамках проектов известной сферы деятельности и специфики.

2.2. Поиск среди имеющихся участников динамической сети потенциальных исполнителей, обладающих перечнем требуемых ключевых компетенций и ресурсов для выполнения основных проектных работ.

2.3. Оценка уровня компетенций, качества и объема необходимых ресурсов «найденных» партнеров и их отбор с целью их назначения на выполнение необходимых работ по проекту.

2.4. Осуществление поиска потенциальных партнёров среди внешнего ближнего и дальнего окружения в случае отсутствия таких, удовлетворяющих всем необходимым требованиям, в существующем составе динамической партнерской сети.

2.5. Инициация деловых связей с потенциальными партнерами и привлечение к долгосрочному сотрудничеству.

2.6. Оптимальный отбор и назначение привлеченных партнеров на выполнение работ в соответствии с целями и задачами проекта, ограничениями по времени, стоимости, прочими существенными дополнительными условиями.

### ***III. Подразделение управления знаниями (ПУЗ)***

Отдел, занимающийся в первую очередь определением потребности виртуального предприятия в знаниях, умениях и навыках, которые позволили бы ему выполнить или принять участие в привлекательных для компании проектах. Второй не менее важной задачей данного подразделения является разработка и реализация процедур и технологий обобщения, фиксации, кодификации, накопления и распространения имеющихся у структуры знаний относительно моделей и алгоритмов решения конкретных практических задач в рамках выполняемой профессиональной деятельности, а также об уровне компетенций и опыте совместной работы участников динамической сети партнеров.

Таким образом, основная функция данного подразделения в структуре СКЦ – выявление, хранение и распространение знаний среди участников динамической сетевой структуры и отдельных их пред-

ставителей, включая обмен ими, с целью эффективного применения в деятельности объединения и повышения его конкурентоспособности в среде функционирования.

Реализацию данной функции способна обеспечить система управления знаниями, основанная на созданных внутри предприятия стандартах и политики по управлению знаниями, а также информационными технологиями создания и распределения знаний.

### ***Выводы***

В настоящее время с учетом тенденций к глобализации, интеграции и усилению значения информационно-телекоммуникационных технологий активно развивающейся формой рыночного взаимодействия хозяйствующих субъектов является сетевая форма сотрудничества, в рамках которой реализуется определенный механизм структурной координации деятельности бизнес-партнеров.

Существует достаточно много видов такой специфической формы сотрудничества независимых экономических агентов, основными классификационными признаками которой, по мнению ученых, могут являться:

- механизм координации, в соответствии с которым принято выделять внутренние, стабильные и динамические сетевые объединения [Р. Майлз и Ч. Сноу, 1992, 1994];

- структура или состав сети, в соответствии с которым принято выделять внутренние (внутриорганизационные) сети и внешние (межорганизационные) горизонтальные, вертикальные и диагональные сети [Х. Хинтерхубер и Б. Левин, 1994];

- маркетинговая составляющая в деятельности объединения, которая предполагает выделение следующих четырех форм сетевого взаимодействия: внутренние рыночные сети, вертикальные рыночные сети, межрыночные сети, сети возможностей [Р. Акрол 1997];

- объект обмена («жесткие» и «мягкие» сети) [С. Розенфельд, 1996];

- набор классификационных признаков: уровень формализации, уровень централизации и симметрии, существующие механизмы координации, в соответствии с которым выделяют социальные, бюро-

кратические (симметричные и ассиметричные, а также сети, основанные на правах собственности) [А. Грандори и Дж. Соды, 1995];

– совокупность критериев классификации: тип квазинтеграции, наличие внутренней конкуренции, наличие или отсутствие барьеров входа в сеть, размер компаний-участников, степень равноправности взаимоотношений, стабильность группы, характерные задачи, реализуемые с помощью объединения ресурсов и компетенций, при которых выделяют стратегический альянс, динамическую фокальную сеть, цепочку создания ценности, фокальную сеть поставщиков, виртуальную организацию, кластер [Шерешева М.Ю, 2006].

Однако, по мнению авторов данного монографического исследования, наиболее перспективной из них с учетом характерных черт и особенностей функционирования является динамическая партнерская сеть как временная кооперационная сеть экономических партнеров, базирующаяся на единой информационной системе, участники которой обладают всеми ключевыми компетенциями, необходимыми для наилучшего выполнения рыночного заказа – результата работы по проекту [Катаев А.В., 2008].

В зависимости от характера миссии создания динамические сетевые структуры можно условно разделить на два больших класса: сети, создаваемые для реализации некоторого конкретного рыночного заказа, а также долгосрочные партнерские сети, которые создаются на постоянной основе для регулярного поиска и реализации различных проектов определенной направленности. Имеющиеся отличия между выделенными группами определяют принципиальные различия методов и инструментов управления. В рамках данного монографического исследования нас более всего будут интересовать объединения второго из указанных классов, для успешного функционирования которых требуется применение специфических организационных механизмов управления, направленных на обеспечение эффективного долгосрочного стратегического взаимодействия и сотрудничества его участников.

## **ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **2.1. Проблемы организации и управления динамической сетью партнеров, особенности управления проектами в сетевых структурах**

Перечисленные выше особенности функционирования динамической сетевой структуры как одной из наиболее перспективных, с нашей точки зрения, форм рыночного взаимодействия определяют по существу те преимущества, которыми такая форма кооперации обладает. К основным и наиболее значимым из них, на наш взгляд, целесообразно будет отнести<sup>17</sup>:

- высокую адаптивность к постоянно и стремительно меняющимся условиям внешней среды;
- снижение операционных и транзакционных издержек выполнения заказа в рамках проекта;
- увеличение скорости исполнения проектного продукта как конечного результата деятельности виртуального предприятия;
- максимально полное удовлетворение требований заказчика.

Однако помимо очевидных преимуществ подобного межфирменного сотрудничества, виртуальные сети имеют также определенные сложности в организации и управлении, которые, на наш взгляд, связаны с нестабильностью их внутреннего состава. Как отмечалось ранее, основной причиной тому является, с одной стороны, относительная свобода входа и выхода из динамической сетевой структуры, с другой, необходимость инициации деловых связей и привлечения к сотрудничеству в рамках сети новых участников ввиду постоянных изменений конъюнктуры рынка<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.

<sup>18</sup> Современные тренды инновационного развития экономики: коллективная монография / Я.В. Коженко, А.В. Катаев, Т.М. Катаева, Н.В. Лихолетова, Е.Л. Макарова, Л.В. Шаронина; под ред. Я.В. Коженко. Уфа: «ОМЕГА САЙНС», 2016. 109 с. Катаев А.В., Катаева Т.М. Межорганизационные сетевые структуры: проблемы организации и управления // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, 2016. №7 (Ч.1). С. 141-144.

Необходимость постоянного поиска рыночных заказов и исполнителей, наиболее полно удовлетворяющих требованиям для его выполнения, риски, связанные с чрезмерной зависимостью от качества кадрового состава партнерской сети, с текучестью кадров и прочее, являются, по нашему мнению, причиной следующих основных очевидно возникающих в деятельности любой динамической партнерской сети проблем:

- формирование ценного для потенциального либо имеющегося клиента коммерческого предложения, привлечение заказчиков;
- формирование состава и структуры системы, включая:
  - 1) проблемы определения наиболее вероятного перечня необходимых ресурсов и компетенций; 2) проблемы поиска и привлечения к сотрудничеству возможных партнеров – потенциальных исполнителей основных работ по проектам различной направленности и уровня сложности определенной предметной области и сферы деятельности; 3) проблемы оценки компетентности и эффективности деятельности участников партнерской сети как элементов системы, т.е. выбор критериев оценки, шкал и процедур;
  - определение процедуры распределения всех видов ресурсов в управляемой системе, имеющей заданную структуру, систему сбора и обработки информации и т.п., которое включает в себя, прежде всего, проблемы выбора и назначения, постоянного отслеживания и/или перераспределения конкретных исполнителей и ресурсов на выполнение отдельных функций по основным задачам проекта реализации рыночного заказа;
  - обеспечение координации и согласования интересов участников сети, включая задачи стимулирования и мотивации;
  - контроль и оперативное управление динамической сетью партнеров, т.е. отслеживание функционирования управляемой системы в реальном времени и внесение корректировок в случае отклонения ее показателей от запланированных и пр.

Такая ситуация привела к разработке значительного экономико-математического аппарата поддержки принятия решений в данной

области, базирующегося на теории принятия решений<sup>19</sup>, математической экономики<sup>20</sup>, теории игр<sup>21</sup>, включая деловые и имитационные игры<sup>22</sup>; теории управления проектами, включая качественные<sup>23</sup> и формальные методы<sup>24</sup>.

В рамках настоящего исследования, по мнению его авторов, особый интерес представляет теоретико-игровые модели формирования сетевых структур, которые были достаточно подробно рассмотрены в работе по теории организационных систем проф., докт. техн. наук Новикова Д.А. «Сетевые структуры и организационные системы»<sup>25</sup>. Автор достаточно подробно описывает подход, который позволяет анализировать такие сетевые структуры, где потенциально суще-

---

<sup>19</sup> Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 327 с. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. 144 с. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. 148 с. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. М.: Патент, 1996. 271 с. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели. М.: Мир, 1991. 464 с.

<sup>20</sup> Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Ловецкий С.Е. Прикладные задачи теории графов. Тбилиси: Мецниереба, 1974. 234 с. Иванилов Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. М.: Наука, 1979. 304 с. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. М.: Наука, 1984. 391 с.

<sup>21</sup> Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 327 с. Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. М.: Радио и связь, 1982. 144 с. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. 148 с. Galliers J.R. The positive role of conflict in cooperative Multi-Agent Systems// Decentralized Artificial Intelligence / Ed. By Y.Demazeau, J.P. Muller. Amsterdam: North-Holland, 1990. P.33–46.

<sup>22</sup> Бабкин В.Ф., Баркалов С.А., Щепкин А.В. Деловые имитационные игры в организации и управлении. Воронеж: ВГАСУ, 2001. 252 с. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. 245 с. Щепкин А.В. Механизмы внутрифирменного управления. М.: ИПУ РАН, 2001. 80 с.

<sup>23</sup> Воропаев В.И. Управление проектами в России. М.: Аланс, 1995. 225 с. 19. Управление проектами. Справочник для профессионалов / под ред. А. В. Цветкова, В.Д. Шапиро. М.: Омега-Л, 2010.

<sup>24</sup> Балашов В.Г., Заложнев А.Ю., Иващенко А.А., Новиков Д.А. Механизмы управления организационными проектами. М.: ИПУ РАН, 2003. 84 с. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. М.: Синтег, 1997. 188 с. Васильев Д.К., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А., Цветков А.В. Типовые решения в управлении проектами. – М.: ИПУ РАН, 2003. 84 с.

<sup>25</sup> Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. 102 с.

ствуют связи между всеми их участниками. На время решения стоящей перед системой (межфирменным сетевым объединением) задачей некоторые из этих связей актуализируются, порождая определенную иерархию. Затем связи исчезают до момента возникновения новой задачи либо рыночного заказа, выполняемого в рамках проекта.

Подобная времененная иерархия возникает в сетевой структуре в результате необходимости оптимального решения отдельных задач, имеющих свою специализацию, разнообразие которых и порождает в вырожденной структуре многообразие организационных систем. Таким образом, тип структуры организационной системы, по мнению Новикова Д.А., зависит от времени и особенностей функционирования в исследуемый период. Так, на больших временных промежутках оргсистема может рассматриваться как сеть, на малых – как имеющая одну из типовых структур – вырожденная, линейная или матричная структура.

Автор подробно рассматривает вопросы (причины и способы) трансформации организационных структур в период функционирования сетей под воздействием меняющихся внешних и внутренних факторов, что обеспечивает эффективность выполнения рыночного заказа в рамках реализации проекта.

Внешними активными и/или пассивными условиями являются требования, предъявляемые к организационным системам внешней средой, т.е. нормы, нормативы, ограничения, потребительские ожидания, характеристики рынка и пр. Внутренние условия в первую очередь характеризуются организационными издержками, зависящими от условий взаимодействия участников сети, к которым относят затраты на организацию и координацию подобного сотрудничества партнеров.

Дальнейшие исследования Новикова Д.А. позволяют вывести некоторые качественные закономерности упрощения и усложнения организационных структур сетевых объединений, а также достаточно подробно рассмотреть вопросы соотношения отдельных областей эффективности типовых структур организационных систем и закономерности их трансформации.

В целом в указанной выше научной работе были подробно рассмотрены следующие актуальные вопросы организации и управления взаимодействием участников партнерской сети:

- качественный анализ эффектов сетевого взаимодействия;
- формальная постановка задачи структурного синтеза в терминах теории иерархических игр и рассмотрение наиболее известных в настоящее время ее частных случаев;
- решение задач структурного синтеза для моделей веерных структур, однородных и линейных организационных систем, организационных систем с побочными платежами, в том числе в рамках моделей ограниченной рациональности;
- подробное рассмотрение общих задач управления в сетевых структурах и примера совместного решения задач синтеза веерной структуры и механизма внутренних цен;
- постановка и решение задачи последовательного синтеза структуры;
- рассмотрение задач синтеза структуры с управлением проектами.

К отдельным специфическим особенностям управления проектами в сетевых структурах Новиков Д.А. относит:

- отсутствие жесткой централизованной структуры управления;
- временность и уникальность организационной структуры;
- равноправность участников;
- ориентированность организации на достижение результатов проекта;
- различная субъективная информированность участников.

Типовыми, по его мнению, являются случаи, когда объектом управления выступает один проект, в рамках которого взаимодействуют несколько участников, либо объектами управления выступают несколько проектов, выполняемых в рамках одной организации.

Перечисленные особенности управления проектами в сетевых организациях свидетельствуют, что в рассматриваемом классе задач основным методом управления является институциональное, которое

предполагает, прежде всего, управление ограничениями и нормами деятельности участников проекта. Кроме того, эффективное взаимодействие участников проекта в рамках временной сетевой структуры требует наличия единой информационной среды их взаимодействия<sup>26</sup>.

В работах<sup>27</sup> сформулирована и решена задача институционального управления, заключающаяся в нахождении таких допустимых ограничений и норм деятельности агентов, которые обеспечивали бы выбор ими наиболее благоприятных для центра действий. Также была исследована сравнительная эффективность институционального и мотивационного, т.е. побуждающего участников к определенным действиям за счет воздействия на их интересы и предпочтения<sup>28</sup>, управления, а также построены модели влияния репутации экономических агентов на результаты их совместной деятельности.

## **2.2. Организационные механизмы поиска деловых партнеров, их оптимального отбора и объединения для участия в проекте**

Для решения приведенных в предыдущем параграфе проблем в деятельности динамической партнерской сети, которые чаще всего возникают при организации и управлении долгосрочными сетевыми структурами, авторами данного монографического исследования предлагается реализовать определенную систему отбора и объединения партнеров, решающую две взаимосвязанные и взаимодополняющие задачи:

1. Привлечение новых участников динамической сети, обладающих ключевыми компетенциями для эффективного выполнения отдельных задач, возможных рыночных заказов и для функционирования долгосрочного виртуального предприятия в целом.

---

<sup>26</sup> Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003. 102 с. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. – М.: ПМСОФТ, 2007. 140 с.

<sup>27</sup> Зингер И.С., Модин А.А., Коротяев М.Ф. Экономико-организационные основы создания систем обработки данных. М.: Статистика, 1978. М.: МГУ, 2001. Новиков Д.А. Обобщенные решения задач стимулирования в активных системах. М.: ИПУ РАН, 1998.

<sup>28</sup> Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. М.: Апостроф, 2000.

2. Оптимальный отбор и объединение исполнителей и партнеров, обладающих ключевыми компетенциями для выполнения конкретного рыночного заказа, в соответствии с целями и задачами проекта.

Задача оптимального отбора и объединение исполнителей и партнеров разделяются на следующие этапы<sup>29</sup>:

1. Определение необходимых ключевых компетенций и ресурсов, требующихся для выполнения задач и требований проекта.

2. Поиск среди участников динамической сети потенциальных исполнителей и партнеров, обладающих требуемыми ключевыми компетенциями и ресурсами для выполнения рыночного заказа.

3. Оценка ключевых компетенций и ресурсов потенциальных исполнителей и партнеров с целью отбора партнеров, которые наилучшим образом могут выполнить определенные задачи.

4. В случае отсутствия в динамической сети подходящих ключевых компетенций и ресурсов производится поиск и оценка потенциальных исполнителей и партнеров вне динамической сети.

5. Привлечение потенциальных исполнителей и партнеров.

6. Оптимальный отбор исполнителей и партнеров в соответствии с целями и задачами проекта, ограничениями по времени, стоимости, качеству исполнения и т.п.

7. Объединение исполнителей и партнеров для выполнения рыночного заказа или проекта.

Для организации и управления проектами в рамках долгосрочной динамической сети партнеров рекомендуется воспользоваться методикой организации процесса выполнения заказов<sup>30</sup>, укрупненные блоки которой отражены на рис. 2.1, и организовать механизмы контроля исполнения проектов.

---

<sup>29</sup> Катаев А.В. Модели организации деятельности виртуальных предприятий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2008. № 5 (64). С. 311-316. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник/ под ред. В.Н. Волковой и А.А.Емельянова. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. 848 с.

<sup>30</sup> Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. – 120 с.

В предложенной методике под заказом понимается заявка на выполнение определенной работы, задачи или проекта, поступившая от внешнего заказчика, центра управления или участника сетевой структуры (внутренние заказы).

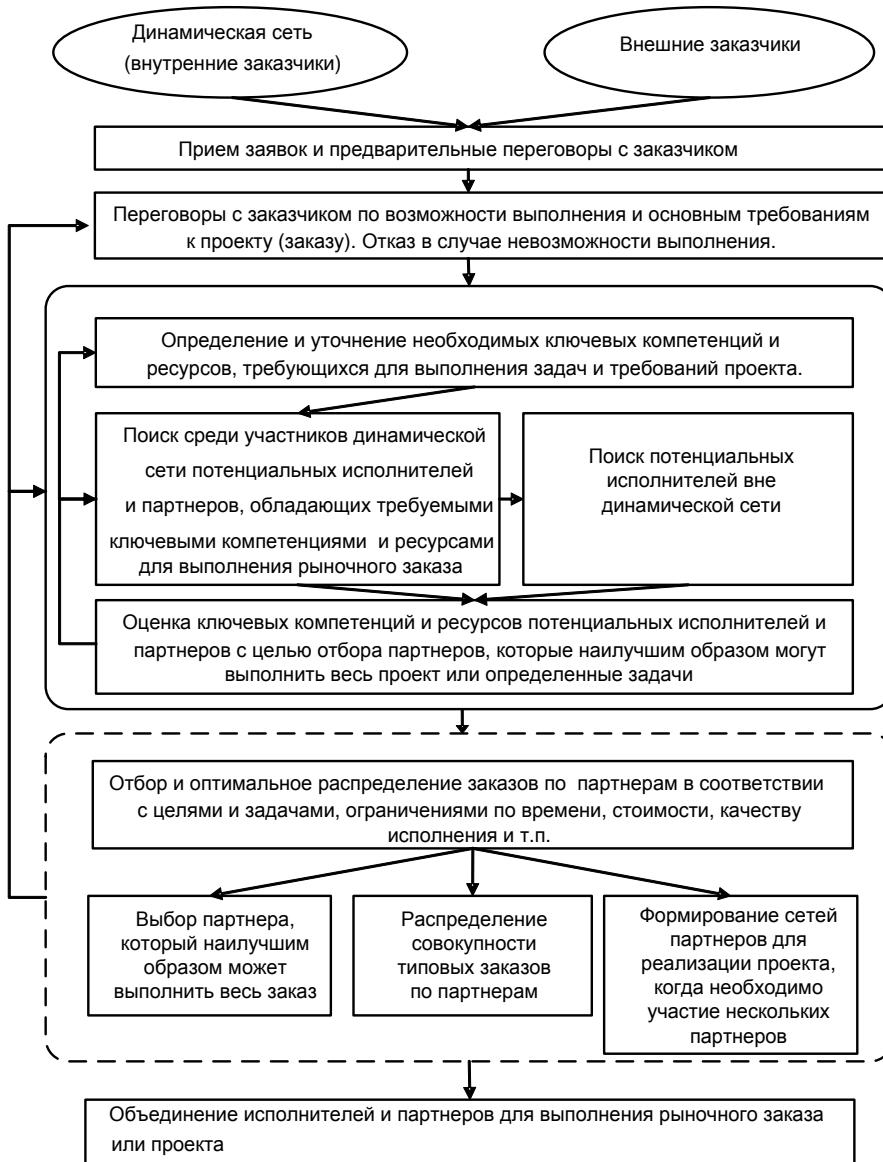
При распределении заказов в рамках сети выделяются три вида задач:

- 1) задачи оперативного выбора партнера (агента), который наилучшим образом может выполнить поступивший заказ;
- 2) задачи оптимального распределения совокупности заказов по совокупности партнеров за определенный период времени, когда один заказ полностью выполняется только одним партнером и заказы не связаны и независимы;
- 3) задачи оптимального распределения заказа по партнерам, когда один заказ требует участия нескольких агентов.

Для решения указанных задач авторами были самостоятельно организованы и проведены исследования в указанной области, результатом которых являлась разработка концептуальной модели организации и управления функционированием долгосрочного виртуального предприятия как социально-экономической системой, а также ряд однокритериальных и многокритериальных моделей распределения типовых заказов в рамках проектов, учитывающих такие параметры, как время, качество и стоимость его реализации<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> Катаев А.В. Исследование и разработка моделей для организации и управления виртуальными предприятиями: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: защищена 10.09.08, утв. 21.11.08. СПб.: 2008. 147 с.



**Рис.2.1.** Методика организация процесса выполнения заказов

Дальнейшие проведенные авторами исследования в области формирования и функционирования динамических партнерских сетей

привели к разработке процедуры комплексной оценки деятельности ее партнеров, которая позволяет принимать обоснованные управленческие решения по включению в сеть и исключению из нее таких партнеров, а также дает возможность обосновать выбор исполнителей для выполнения отдельных работ в рамках реализуемых заказов.

По мнению ее авторов, применение данной процедуры на практике позволяет сделать обоснованный вывод об уровне компетенции потенциального партнера виртуального предприятия. Рассмотрим ее более подробно.

Данная процедура определяет необходимость формирования перечня показателей, которые наилучшим образом в соответствии с целями создания сетевой структуры позволяют охарактеризовать состояние потенциального ее участника до его включения в сеть, оценить работу возможного предприятия-партнера в рамках такой сети и при этом образуют некую законченную совокупность. Значение и вес отдельных показателей при оценке основных видов и характеристик деятельности агентов для различных партнерских сетей могут быть различными, следовательно, в каждом конкретном случае в зависимости от специфики функционирования виртуального предприятия требуется производить индивидуальный отбор, оценку и ранжирование показателей деятельности агентов.

Проведенные исследования функционирования динамических партнерских сетей в разных сферах деятельности позволили нам выделить некоторые *общие комплексные показатели* ( $X_i$ ), которые характеризуют деятельность агента партнерской сети и могут быть использованы для создания описанной выше системы<sup>32</sup>:

1. *Уровень компетенции агента.* Показатель может оцениваться на основе мнения других участников сети, бывших и настоящих клиентов и заказчиков, независимых экспертов, а также с помощью проведения оценки ресурсов агента, тестовых заказов и др.

2. *Надежность агента.* В рамках функционирования в партнерской сети данный показатель можно рассчитать как отношение коли-

---

<sup>32</sup> Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.

чества успешно выполненных заказов (задач) агентом к общему количеству принятых им же заказов.

3. *Величина агента*. Группа показателей, характеризующих мощность, ресурсный потенциал и (или) размер агента. Могут определяться на основе выполнения количества типовых заказов за единицу времени, имеющегося количества определенных ресурсов и др.

4. *Автономность*. Показатель, характеризующий степень самостоятельности агента при выполнении конкретных задач в рамках компетенции.

5. *Коммуникабельность агента*. Данная характеристика может рассчитываться как отношение количества прямых деловых связей с другими агентами партнерской сети к общему количеству агентов сети либо к количеству связей в сети за определенный период времени.

6. *Конфликтность агента*. Определить количественно данный показатель можно через отношение числа конфликтных ситуаций, требующих вмешательства администрации, к общему количеству таких ситуаций по сети за определенный период времени.

К перечисленным выше показателям в случаях, когда мы знаем заранее, по какой цене, в какие сроки партнер может выполнить определенную работу в рамках заказа, целесообразно добавлять следующие усредненные характеристики по выполняемым работам<sup>33</sup>:

1. *Средняя стоимость типовой работы определенного вида*.
2. *Средняя продолжительность выполнения заказа*.
3. *Оценка качества выполняемых работ*.

Классифицированные по группам показатели могут образовывать иерархию, однако в простейшем случае они составляют неупорядоченный перечень. Решение о включении каждого из них в систему оценки деятельности агентов, а также определение их значимости по средствам присвоения весовых коэффициентов происходит с учетом специфики функционирования виртуального предприятия, а также особенностей выполняемого заказа.

---

<sup>33</sup> Катаев А.В. Информационные системы и модели оптимизации распределения заказов в партнерской сети виртуального предприятия // Прикладная информатика. 2007. №5 (11). С. 11-22.

Необходимо учесть, что использование описанной выше процедуры оценки деятельности партнеров осуществляется в условиях неопределенности, так как произвести сбор полной, точной, актуальной и достоверной информации по независимым и автономным агентам на практике не представляется возможным. В качестве источников информации здесь должны быть использованы как результаты самообследования потенциальных и (или) фактических участников партнерской сети, так и независимой экспертизы.

Решением данной проблемы может служить *процедура оценки потенциальных агентов по выделенным показателям*, объединяющая результаты экспертиз (экспертные оценки) и фактические данные по результатам деятельности агентов в рамках партнерской сети и вне ее. Данная процедура основана на использовании вербально-числовой шкалы, которая позволяет измерить степень интенсивности какого-либо параметра, имеющего субъективный характер.

Результатом проведения данной процедуры является определение рейтинга агента – интегрального показателя, значение которого позволяет сделать обоснованный вывод об уровне компетенции участника виртуального предприятия.

Рассмотрим подробней реализацию такой процедуры. В первую очередь, следует заметить, что требуется проведение оценки деятельности агента по каждому виду работ, осуществляемой им в рамках партнерской сети. Далее, по умолчанию предполагается, что рост отдельного показателя  $X_i$  влечет к улучшению деятельности рассматриваемого партнера. Если для отдельного показателя наблюдается противоположная тенденция, то его следует заменить сопряженным.

Определим для каждого показателя деятельности агента ( $X_i$ ) уровень его значимости для анализа ( $r_i$ ). Чтобы оценить этот уровень, нужно расположить все показатели по порядку убывания значимости так, чтобы выполнялось правило

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_N. \quad (2.1)$$

Если система показателей проранжирована в порядке убывания их значимости, то значимость  $i$ -го показателя  $r_i$  следует определять по правилу Фишберна:

$$r_i = \frac{2(N-i+1)}{(N+1)N}, \quad (2.2)$$

где  $N$  – количество оцениваемых показателей.

Например, для системы с  $N$ , равным 3,  $r_1 = 6/12$ ,  $r_2 = 4/12$ ,  $r_3 = 2/12$  и сумма уровней значимости равна единице.

Правило Фишбера отражает тот факт, что об уровне значимости показателей известно только (2.1) и более ничего. Тогда оценка (2.2) будет отвечать максимуму энтропии наличной информационной неопределенности об объекте исследования. Если же все показатели обладают равной значимостью, тогда:

$$r_i = \frac{1}{N}. \quad (2.3)$$

Далее будем оценивать показатель с помощью качественной шкалы. Если показатель был рассчитан количественно, тогда следует отдельно определить процедуру перевода его в качественную шкалу. Качественная оценка показателей деятельности участников виртуального предприятия строиться на субъективном мнении экспертов, которые должны оценить показатели компетенций агента временной сети, используя следующие варианты: очень низкий, низкий, средний, высокий и очень высокий. В соответствие с данной оценкой заполняем табл. 2.1, где величина  $\lambda_{ij}$  может принимать значения 1 или 0.

*Таблица 2.1*  
**Качественная оценка уровня показателей деятельности  
агентов партнерской сети**

| Наимен.<br>показателя | Вес   | Уровень показателя |                |                |                |                  |
|-----------------------|-------|--------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
|                       |       | Очень<br>низкий    | Низкий         | Сред-<br>ний   | Высо-<br>кий   | Очень<br>высокий |
| $X_1$                 | $r_1$ | $\lambda_{11}$     | $\lambda_{12}$ | $\lambda_{13}$ | $\lambda_{14}$ | $\lambda_{15}$   |
| ...                   | ...   | ...                | ...            | ...            | ...            | ...              |
| $X_i$                 | $r_i$ | $\lambda_{i1}$     | $\lambda_{i2}$ | $\lambda_{i3}$ | $\lambda_{i4}$ | $\lambda_{i5}$   |
| ...                   |       | ...                | ...            | ...            | ...            | ...              |
| $X_N$                 | $r_N$ | $\lambda_{N1}$     | $\lambda_{N2}$ | $\lambda_{N3}$ | $\lambda_{N4}$ | $\lambda_{N5}$   |

Правильность заполнения табл. 2.1 определяется суммой значений всех столбцов и строк таблицы, которая должна быть равна N. Табл. 2.1 представляет собой карту агента партнерской сети, на которой отмечены как достоинства агента, так и его слабые стороны по определенной компетенции. При наличии нескольких компетенций у агента для каждой из них составляется своя карта агента.

В целях сравнительного анализа и отбора агентов по одной и той же компетенции требуется рассчитать интегральный показатель, который можно получить, выполнив двойную свертку данных табл. 2.1:

$$K = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij}, \quad (2.4)$$

где

$$g_j = 0,2j, \quad (2.5)$$

$\lambda_{ij}$  определяется по таблице 1, а  $r_i$  – по формуле (2.2) или (2.3).

В ходе свертки используются две системы весовых коэффициентов – значимость показателей и опорные веса (2.5) для сведения нескольких отдельных показателей в один.

В табл. 2.2 приведен классификатор уровня интегрального показателя, настроенный на систему весов (5):

Таблица 2.2

### Классификатор уровня агента

| Интервал значений | Заключение об уровне агента (участника сети) |
|-------------------|--|
| [0 - 0.2]         | Очень низкий уровень агента                  |
| [0.2 – 0.4]       | Низкий уровень агента                        |
| [0.4 – 0.6]       | Средний уровень агента                       |
| [0.6 – 0.8]       | Высокий уровень агента                       |
| [0.8 – 1]         | Очень высокий уровень агента                 |

Таким образом, внедрение предложенной системы показателей и процедуры оценки партнеров в систему управления виртуальной организацией позволяют перейти к обоснованному принятию решений по формированию и развитию партнерской сети.

### **2.3. Краткая характеристика экономико-математического аппарата поддержки принятия решений при формировании команды проекта в рамках долгосрочной партнерской сети**

Дальнейшие проведенные исследования в области формирования и функционирования динамических партнерских сетей позволили получить существенные научно-практические результаты, обладающие, по мнению авторов, некоторыми элементами научной новизны:

I. Предложена экономико-математическая модель минимизации времени выполнения проекта за счет оптимального выбора и назначения исполнителей проектной команды. Данная модель может быть применена для описания общего случая оптимального распределения участников виртуального предприятия по основным проектным работам, позволяя при этом учесть:

- взаимосвязь работ и событий, т.е. топологию сети;
- возможность некоторых исполнителей начать и закончить работы только в определенные периоды времени;
- время и стоимость выполнения отдельных работ и проекта в целом;
- невозможность выполнения отдельных работ по проекту тем или иным исполнителем.

Описанная модель не всегда имеет оптимальное решение. Как и любая модель математического программирования, она может не иметь решений при заданных ограничениях, и в этом случае необходимо либо «ослабить» ограничения, либо осуществить поиск других исполнителей на выполнение основных работ по проекту<sup>34</sup>.

II. Исследования проблем формирования проектной команды позволили выявить необходимость оптимизации количества исполнителей основных работ по проекту, которая на практике может быть вызвана потребностью в сокращении операционных издержек, сопутствующих данному процессу, а также в успешном регулировании

---

<sup>34</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М. Оптимизация длительности выполнения проекта за счет выбора исполнителей работ: математические модели и методические приемы // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2015. №2(22). С. 100-103.

уровня рисков, связанных с управлением кадровым составом динамической партнерской сети, участвующем в проекте.

В этой связи была разработана однокритериальная модель минимизации количества исполнителей работ по проекту, которая относится к классу моделей целочисленного математического программирования. В ее постановке было учтено положение о том, что для выполнения одной работы используется труд единственного члена команды проекта, однако он также может быть назначен на выполнение нескольких проектных задач<sup>35</sup>.

Таким образом, в качестве ограничений выступает условие выполнения одной работы одним исполнителем, а также размер выделенного бюджета проекта. Оптимальное же решение данной задачи – это удовлетворяющий всем ограничениям план распределения работ по основным участникам динамической партнерской сети, при котором значение целевой функции будет минимально.

Для решения поставленной задачи авторами исследования был разработан пошаговый эвристический алгоритм поиска близкого к оптимальному решению поставленной задачи, использование которого предполагает как программную реализацию, так и расчеты вручную при небольших размерностях. Представленному алгоритму предшествует описание заложенных в нем принципов, которые по существу представляют собой некоторые условия, определяющие корректность его применения и способствующие успешной его реализации на практике.

Особый интерес представляет также приведенный в работе численный пример, иллюстрирующий постановку и решение задачи минимизации количества исполнителей основных проектных работ.

III. Приведена базовая постановка задачи оптимального выбора и назначения основных исполнителей на выполнение работ по проекту, позволяющая учесть топологию сетевого графика, где в качестве критерия оптимизации выступает длительность реализации проекта. Основная особенность данной модели заключается в том, что неиз-

---

<sup>35</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М. Задачи минимизации количества исполнителей работ в проекте: математическая модель и алгоритм решения // Экономика и социум, 2016. №6-3(25). С. 77-84.

вестными являются все ранние сроки наступления событий проекта, а также факт назначения исполнителя на каждую из проектных работ. Другими словами, в отличие от моделей, где время выполнения каждой работы известно заранее, в предложенной модели длительность выполнения работы зависит от назначаемого исполнителя, его умений, знаний и навыков<sup>36</sup>.

В данной модели установлены также ограничения на суммарную стоимость выполнения всех работ по проекту, а также определено, что для выполнения каждой работы привлекается только один исполнитель, который в случае необходимости способен выполнить несколько проектных задач.

Исследования возможности, целесообразности и эффективности применения этой модели в данной авторской постановке позволили выявить необходимость включения в ее состав ряда существенных дополнительных условий (ограничений), учет которых, по мнению авторов работы, способен значительно повысить успешность и расширить сферу ее практического использования.

Данные условия связаны, прежде всего, с необходимостью оптимизации количества задействованных в проекте участников виртуального предприятия – исполнителей основных работ; с потребностью в учете возможности выполнения таких работ потенциальными исполнителями лишь в определенные периоды времени, что обусловлено их общей загруженностью, в учете возможных симпатий/антисимпатий со стороны проектного менеджера, которые он стремиться реализовать при назначении. Также была совершена попытка формализовать с целью корректного включения в модель такие условия ограничительного характера, как невозможность параллельного выполнения нескольких работ одним исполнителем, наличие очевидной связности между работами, которая определяет необходимость их выполнения только одним исполнителем и прочее.

---

<sup>36</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М., Макарова Е.Л. Управление проектами: математические модели оптимального назначения исполнителей проектных работ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право, 2016. Т.16, вып.3. С. 294-298.

IV. Дальнейшие исследования проблем формирования команды проекта в рамках динамической партнерской сети позволили выявить необходимость подробного содержательного и формализованного описания такого ограничительного условия как предшествующий положительный опыт совместной работы между потенциальными исполнителями – агентами сети. Учет наличия подобного положительного опыта сотрудничества способен привести к значительному сокращению затрат, как материальных, так и физических, на управление конфликтами, уровень которых в проектной группе традиционно значительно выше, чем в любом структурном подразделении предприятия вне зависимости от сферы его деятельности.

Также авторам исследования представляется перспективным включение в экономико-математическую модель поддержки принятия решений в качестве ограничения факт сложных межличностных коммуникаций или имевшегося ранее конфликта между потенциальными исполнителями – партнерами виртуального предприятия.

Как видится авторам исследования, корректный формализованный учет подобных взаимосвязей между партнерами динамической сети при формировании проектной команды возможен посредством использования задачи о нахождении клики, которая согласно теории графов представляет собой подмножество вершин неориентированного графа, любые две из которых имеют между собой соединение (ребро).

В представленной далее главе подробным образом рассмотрены кратко охарактеризованные выше результаты авторских исследований.

### ***Выходы***

Основные проблемы организации и управления динамической сетью партнеров, по мнению авторов данного исследования, связаны, прежде всего, с нестабильностью состава сети, обусловленного необходимостью стремительно перестраиваться в соответствие с изменениями рыночной конъюнктуры, ввиду постоянного поиска заказов и исполнителей, наиболее полно удовлетворяющих требованиям для его выполнения. Это в свою очередь ведет к очевидным проблемам в

формировании команд для выполнения основных работ по проектам реализации конкретных рыночных заказов, объективно возникающим в деятельности любого виртуального предприятия, нацеленного на долгосрочную перспективу.

Данная ситуация привела к разработке значительного экономико-математического аппарата, основанного на теории принятия решений, математической экономики, теории игр, теории управления проектами и пр. и позволяющего обосновывать принимаемые управлочные решения в это области. При этом, по мнению авторов данного монографического исследования, особый интерес представляют теоретико-игровые модели формирования сетевых структур, подробно рассмотренные в работе по теории организационных систем Новикова Д.А. [Новиков Д.А., 2003 г.]

В этой связи авторами были самостоятельно организованы и проведены комплексные исследования в области организации и управления виртуальными сетевыми предприятиями, одним из результатов которых стала разработанная организационная модель привлечения новых участников динамической сети, их оптимального отбора и объединения для решения ключевых целей и задач проекта. Данная модель базируется на использовании разработанного авторами инструментария:

- методике организация процесса выполнения заказов, позволяющей эффективно осуществлять пошаговый контроль выполнения проекта на каждом из его этапов;
- процедуре комплексной оценки компетенции потенциальных партнеров виртуальной организационной структуры по выделенным показателям, объединяющей результаты экспертиз и фактические данные по итогам деятельности агентов в рамках партнерской сети и вне ее.

Данная процедура основана на использовании вербально-числовой шкалы измерения степени интенсивности какого-либо субъективного параметра деятельности, позволяет построить матрицу возможностей участников и рассчитать интегральный показатель по каждой из учтенных компетенций. Ее применение на практике позволяет

сделать обоснованный вывод об уровне компетенции потенциального партнера виртуального предприятия.

Дальнейшие проведенные исследования в области формирования и функционирования динамических партнерских сетей позволили авторам разработать расчетно-аналитический инструментарий по обеспечению поддержки принятия эффективных управленческих решений, состав которого определяется:

- экономико-математической моделью минимизации времени выполнения проекта за счет оптимального выбора и назначения исполнителей проектной команды, которая позволяет сформировать подробное формализованное описание общего случая оптимального распределения участников динамической партнерской сети по основным проектным работам;
- однокритериальной моделью минимизации количества исполнителей работ по проекту, которая позволяет сформировать такой удовлетворяющий всем ограничениям план распределения работ по основным партнерам виртуального предприятия, при котором значение целевой функции будет минимально;
- моделью оптимального выбора и назначения основных исполнителей на выполнение работ по проекту, позволяющей учесть топологию сетевого графика, в которой в качестве критерия оптимизации выступает длительность реализации проекта;
- оптимизационную модель поддержки принятия решений о назначении исполнителей на выполнение проектных работ, отличающуюся подробным формализованным описанием некоторых существенных ограничений, учет которых в модели позволяет значительно расширить сферу применения и повысить эффективность ее использования на практике.

Более подробное описание указанного выше экономико-математического инструментария, включая содержательное и формализованное описание, область и подробные условия применения приведены в главе 3 данной работы.

## **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРТНЕРСКОЙ СЕТИ КАК ЕДИНОЙ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ**

### **3.1. Экономико-математический инструментарий формирования оптимальной по численности группы партнеров, покрывающей все требуемые компетенции**

На этапе формирования динамической партнерской сети и формирования команды для выполнения отдельного проекта наряду с задачами нахождения, выбора и привлечения потенциальных партнеров сети часто возникает проблема формирования оптимального по численности и имеющимся компетенциям группы партнеров.

Требования минимизации количества партнеров актуально при необходимости сокращения транзакционных издержек, связанных с заключением контрактов, трудовых договоров, дальнейшим контролем их исполнения и пр., а также для повышения управляемости и устойчивости функционирования виртуального предприятия.

Проблема оптимизации численности партнеров характерна, например, при формировании ядра динамической партнерской сети, ориентированной на долгосрочное функционирование и на регулярный поиск и выполнения различных заказов. Под *ядром* в данном случае понимается группа постоянных участников динамической сети, в совокупности обладающих всеми необходимыми компетенциями – знаниями, умениями, навыками и ресурсами, для поиска и исполнения основного потока рыночных заказов в соответствии с предназначением, направлением и сферой деятельности сети.

Для формирования ядра виртуального предприятия можно производить отбор и объединение тех из потенциальных участников сети, которые имеют наибольшее совпадение собственных компетенций с требуемыми в рамках виртуального предприятия компетенциями. Однако, в тех случаях, когда требуется минимизация количества участников в сети, такой способ не гарантирует нахождения оптимального решения с покрытием всех требуемых компетенций. Далее рассмотрим

рим математические постановки задачи и методы нахождения оптимального решения.

*Постановка задачи.* Для успешного функционирования динамической сетевой структуры на регулярной основе требуется  $m$  ключевых компетенций. Есть  $n$  потенциальных участников виртуального предприятия, каждый из которых обладает некоторыми из требуемых компетенций. Необходимо сформировать минимальную группу партнеров, которая бы покрывала все компетенции.

*Математическая постановка задачи* в виде задачи целочисленного линейного программирования:

$$L(y) = \sum_{i=1}^n y_i \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n c_{i,j} y_i \geq 1, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3.2)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.3)$$

где

- $c_{i,j}$  – наличие у исполнителя  $i$  компетенции  $j$  (1 – обладает компетенцией, 0 – нет);
- $y_i$  – искомые неизвестные, показывающие выбор в команду проекта  $i$ -го партнера (1 – выбран, 0 – нет).

Условия (3.1) – (3.3) соответствуют постановке задачи о покрытии множества, для решения которой наряду с симплекс-методом существует ряд эффективных алгоритмов, реализованных в широком спектре программных средств (например, LPSolve, MS Excel с надстройкой Solver, CPLEX Optimizer).

Задача (3.1) – (3.3) предполагает, что каждой из выделенных ключевых компетенций обладает как минимум один потенциальный партнер из подобранный группы. В отдельных случаях может потребоваться подбор нескольких участников под одну ключевую компетенцию, что позволит уменьшить зависимость от деятельности единственного партнера, обладающего соответствующими знаниями, умениями, навыками и ресурсами, а также увеличить производственный и интеллектуальный потенциал виртуального предприятия.

В этом случае вместо (3.2) используется условие:

$$\sum_{i=1}^n c_{i,j} y_i \geq r_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3.4)$$

где  $r_j$  – минимальное количество партнеров в группе, обладающих  $j$ -й компетенцией.

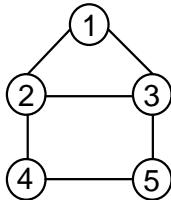
*Возможные дополнительные условия задачи, расширяющие ее первоначальную постановку:*

- Учитывается «конфликт интересов» или ситуации межличностных конфликтов, имевшие место в прошлой совместной деятельности. Таким образом, в состав участников виртуального предприятия могут быть включены исключительно экономические агенты, не имеющие разногласий, или не являющиеся соперниками в своей основной коммерческой и/или профессиональной деятельности.

- Учитывается наличие положительного опыта сотрудничества партнеров друг с другом в прошлом.

Указанные расширения задачи предполагают учет взаимосвязей между партнерами. В группу включаются только те исполнители, которые имеют связи с каждым исполнителем из этой группы, т.е. составляют клику в терминах теории графов. Покажем возможность моделирования взаимосвязей в виде линейных ограничений на следующем примере.

*Пример.* Пусть имеются пять потенциальных партнеров, которые с учетом существующих между ними связей можно представить в виде простого неориентированного графа. На рис. 3.1 приведено изображение данного графа, а также матрица смежности его вершин.



|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | x | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | x | 1 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 1 | x | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | x | 1 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | x |

**Рис.3.1.** Граф, описывающий взаимосвязь между пятью партнерами и матрица смежности его вершин

Ограничения (3.5) и (3.6) задают условие, что все возможные пары вершин, входящих в выбранную клику, имеют связывающее их ребро:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (1 - e_{i,j}) y_i y_j = 0, \quad (3.5)$$

$$y_i, y_j \in \{0, 1\}, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad n \geq 2, \quad (3.6)$$

где

- $e_{i,j}$  – наличие связи между  $i$ -м и  $j$ -м исполнителем (1 – есть связь, 0 – нет);
- $y_i$  – искомые неизвестные, определяющие выбор в состав динамической сетевой структуры партнера  $i$  (1 – выбран, 0 – нет).

Нелинейное ограничение (3.5) корректно определяет наличие клики. Докажем это, предположив, что выбор пал на некоторую пару  $\{y_i, y_j\}$ , не имеющую связывающего ребра, т.е.  $e_{i,j} = 0$ , тогда одна из слагаемых левой части уравнения (3.5) и, соответственно, вся левая часть этого уравнения принимают значение 1, что противоречит условию.

Линеаризуем (3.5), заменив группой ограничений вида

$$(1 - e_{i,j}) + y_i + y_j \leq 2. \quad (3.7)$$

Количество ограничений (3.7) составляет  $\frac{1}{2}(n^2 - n)$ , т.е. равно

числу ребер (количество неповторяющихся пар вершин) в полном графе с  $n$  вершинами.

Выражение (3.7) упрощается:

$$y_i + y_j \leq 1 + e_{i,j}. \quad (3.8)$$

Для данной задачи число ограничений (3.8) можно сократить на количество существующих ребер в графе, т.е. на количество связанных пар партнеров. В этом случае ограничения с  $e_{i,j} = 1$  не задаются (исключаются), а ограничения с  $e_{i,j} = 0$  упрощаются до

$$y_i + y_j \leq 1. \quad (3.9)$$

Для приведенного выше примера ограничения тогда будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} y_1 + y_4 \leq 1; \\ y_1 + y_5 \leq 1; \\ y_2 + y_5 \leq 1; \\ y_3 + y_4 \leq 1; \\ y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 \in \{0, 1\}. \end{cases} \quad (3.10)$$

При нахождении клики могут быть заданы веса ребер ( $a_{i,j}$ ) и введены ограничения, например, на средний вес ребра ( $g$ ) в выбранной клике. Другими словами, задается не только сам факт связи, но и определенная количественная характеристика конкретной связи. В этом случае потребуется найти и ребра, входящие в выбранную клику. Для этого можно ввести переменные  $x_{i,j}$ , принимающие значение 1, когда ребро  $(i, j)$  входит в выбранную клику, и 0 – в противном случае. Тогда ограничение на средний вес связи запишется следующем образом:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{i,j} x_{i,j} \geq g \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n x_{i,j} . \quad (3.11)$$

Ребро  $(i, j)$  входит в клику тогда и только тогда, когда и обе вершины в нее входят. Следовательно,

$$x_{i,j} = y_i y_j . \quad (3.12)$$

Для линеаризации уравнения (3.11) предлагается замена его на следующие ограничения:

$$y_i + y_j - 1 \leq 2x_{i,j} \leq y_i + y_j . \quad (3.13)$$

Докажем корректность замены условий (3.12) ограничениями вида (3.13), показав истинность (3.13) для всех удовлетворяющих условию (3.12) значений  $y_i, y_j, x_{i,j} \in \{0, 1\}$  и ложность – в противном случае. Ниже показана корректность (3.13) для всех возможных значений неизвестных:

- значения неизвестных, удовлетворяющие условию (3.12):

- 1) если  $y_i = 1, y_j = 1, x_{i,j} = 1$ , то  $(1 \leq 2 \leq 2)$  – истина;
- 2) если  $y_i = 0, y_j = 1, x_{i,j} = 0$ , то  $(0 \leq 0 \leq 1)$  – истина;
- 3) если  $y_i = 1, y_j = 0, x_{i,j} = 0$ , то  $(0 \leq 0 \leq 1)$  – истина;
- 4) если  $y_i = 0, y_j = 0, x_{i,j} = 0$ , то  $(-1 \leq 0 \leq 0)$  – истина;

- значения неизвестных, противоречащие условию (3.12):

- 1) если  $y_i = 1, y_j = 1, x_{i,j} = 0$ , то  $(1 \leq 0 \leq 2)$  – ложь;

- 2) если  $y_i = 0$ ,  $y_j = 1$ ,  $x_{i,j} = 1$ , то ( $0 \leq 2 \leq 1$ ) – ложь;
- 3) если  $y_i = 1$ ,  $y_j = 0$ ,  $x_{i,j} = 1$ , то ( $0 \leq 2 \leq 1$ ) – ложь;
- 4) если  $y_i = 0$ ,  $y_j = 0$ ,  $x_{i,j} = 1$ , то ( $-1 \leq 2 \leq 0$ ) – ложь.

Таким образом, линейная модель задачи нахождения минимальной по численности взвешенной клики, покрывающей все требуемые компетенции, выглядит следующем образом:

$$L(y) = \sum_{i=1}^n y_i \rightarrow \min; \quad (3.14)$$

$$\sum_{i=1}^n c_{i,j} y_i \geq 1, \quad j = \overline{1, m}; \quad (3.15)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (1 - e_{i,j}) x_{i,j} = 0; \quad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (a_{i,j} - g) x_{i,j} \geq 0; \quad (3.17)$$

$$2x_{i,j} \leq y_i + y_j, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{i+1, n}; \quad (3.18)$$

$$2x_{i,j} \geq y_i + y_j - 1, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{i+1, n}; \quad (3.19)$$

$$x_{i,j}, y_i, y_j \in \{0, 1\}, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad n \geq 2. \quad (3.20)$$

Модели (3.1) – (3.3), (3.14) – (3.20) и их вариации могут использоваться в автоматизированных процедурах поддержки принятия решений при формировании долгосрочных виртуальных предприятий и групп партнеров для реализации проектов различной направленности и уровня сложности.

Использование предложенных моделей требует тщательной проработки бизнес-модели виртуального предприятия особенно в части подробной детализации требуемых ключевых компетенций, а также разработки процедуры выявления существующих компетенций у потенциальных участников динамической партнерской сети. Возможность описания в математической модели взаимосвязей партнеров друг с другом позволяет при формировании ядра учесть положительный и отрицательный опыт взаимодействия агентов, что способствует

осуществлению на практике быстрого перехода от формирования сети к ее эффективному функционированию и снижения вероятности возникновения конфликтных ситуаций.

### **3.2. Механизмы поиска оптимального распределения проектных работ по исполнителям**

Проблемы оптимального распределения работ (заказов, проектов, задач) по совокупности исполнителей (агентов, партнеров) математически могут быть сформулированы в виде различных задач о назначениях.

Классическая постановка однокритериальной задачи о назначениях в исследовании операций состоит в нахождение пар «Исполнитель – Работа», которые обеспечивают минимум суммарных затрат на выполнение всех работ, причем каждый исполнитель выполняет только одну работу и для одной работы требуется только один исполнитель. То есть исполнители не делимы между работами, а работы не делимы между исполнителями. Таким образом, задача о назначениях является частным случаем транспортной задачи. Задачи о назначениях имеют место при назначении людей на должности или работы, бригад на строительные объекты, автомашин на маршруты, водителей на автомобили и т.п.

В табл. 3.1 приведена матрица задачи о назначениях по типу транспортной задачи.

*Таблица 3.1*  
**Общий вид матрицы задачи о назначениях**

| Исполнители,<br>$A_i$ | Работы, $B_j$ |          |         |          | Количество<br>исполните-<br>лей, $a_i$ |
|-----------------------|---------------|----------|---------|----------|--|
|                       | $B_1$         | $B_2$    | $\dots$ | $B_m$    |  |
| $A_1$                 | $c_{11}$      | $c_{12}$ | $\dots$ | $c_{1m}$ | 1                                      |
| $A_2$                 | $c_{21}$      | $c_{22}$ | $\dots$ | $c_{2m}$ | 1                                      |
| $\dots$               | $\dots$       | $\dots$  | $\dots$ | $\dots$  | $\dots$                                |
| $A_n$                 | $c_{n1}$      | $c_{n2}$ | $\dots$ | $c_{nm}$ | 1                                      |

|                         |   |   |         |   |                                       |
|-------------------------|---|---|---------|---|---------------------------------------|
| Количество работ, $b_j$ | 1 | 1 | $\dots$ | 1 | $\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^m b_j$ |
|-------------------------|---|---|---------|---|---------------------------------------|

Исходные параметры модели задачи о назначениях:

1.  $n$  – количество исполнителей,  $m$  – количество работ;

2.  $a_i = 1$  – единичное количество ресурса  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , например:

один партнер (агент), один работник, одно транспортное средство, одна научная тема и т.д.

3.  $b_j = 1$  – единичное количество работы  $B_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ), например: один заказ, одна вакансия; один маршрут; одна лаборатория.

4.  $c_{ij}$  – стоимость выполнения работы  $B_j$  с помощью ресурса

$A_i$ . Например,  $c_{ij}$  может быть компетентностью  $i$ -го работника при работе на  $j$ -й должности; временем, за которое  $i$ -е транспортное средство перевезет груз по  $j$ -му маршруту; степенью квалификации  $i$ -й научной группы при работе над  $j$ -й научной темой.

#### *Искомые параметры*

1.  $x_{ij}$  – факт назначения или «неназначения» исполнителя  $A_i$  на работу  $B_j$ :

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } i\text{-й ресурс не назначен на } j\text{-ю работу,} \\ 1, & \text{если } i\text{-й ресурс назначен на } j\text{-ю работу.} \end{cases}$$

2.  $L(X)$  – общая (суммарная) характеристика качества распределения исполнителей по работам.

*Общий вид задачи о назначениях* в виде модели линейного программирования:

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, m}; \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}) \\ 1, & \end{cases} \end{cases} \quad (3.21)$$

*Пример задачи:*

Необходимо распределить заказы по партнерам, чтобы суммарная стоимость (цена, внутренняя стоимость) выполнения совокупности заказов (задач) была минимальна. Решение данной задачи предполагает, что:

- сроки, объемы и качество выполнения фиксированы для каждого заказа (устанавливаются заказчиком либо менеджером как необходимое требование);

- возможность выполнения и стоимость (внутренняя стоимость) выполнения определенного заказа  $c_{ij}$  сообщается каждым партнером после предоставления требований и условий заказа (можно через аукционы) либо известна заранее по каждому партнеру для типовых заказов (например, тарифы для перевозок груза, цена на размещения рекламных сообщений, расценки по аренде помещений и т.п.);

Следует заметить, что для решения данной задачи с помощью модели (3.21)  $n$  должно равняться  $m$ . В случае несовпадения количества исполнителей и работ, необходимо ввести либо фиктивные работы, либо фиктивных исполнителей с присвоением  $c_{ij}$  заведомо больших значений (запрет) – больше максимального  $c_{ij}$  не фиктивных значений.

Задача о назначениях в таком виде может быть решена с помощью венгерского метода, симплекс-метода и др. В некоторых случаях, например, когда  $c_{ij}$  – это компетентность, опыт работы, или квали-

ификация работников, условие задачи может требовать максимизации ЦФ. В этом случае ЦФ  $L(X)$  заменяется на  $L_1(X) = -L(X)$  и решают задачу с ЦФ  $L_1(X) \rightarrow \min$ , что равносильно решению задачи с ЦФ  $L(X) \rightarrow \max$ .

### *Задача о назначениях в терминах теории графов*

Задачу о назначениях можно сформулировать в терминах теории графов. В этом случае  $G(X, Y, E, C)$  представляет собой взвешенный двудольный граф, где

- доля  $X = \{x_1, \dots, x_i, x_m\}$  – множество объектов (вершин графа), представляющие исполнителей;
- доля  $Y = \{y_1, \dots, y_j, y_m\}$  – множество объектов (вершин графа), представляющие работы (задачи);
- $E$  – множество всех возможных пар  $(x_i, y_j)$  размерностью  $m \times n$  .
- $C$  – матрица весов двудольного графа  $G$ ,  $c_{ij}$  – стоимость образования пары  $(x_i, y_j)$ .

Задача о назначении в теории графов решается на основе алгоритма нахождения кратчайшей сети Крускала. Применительно к двудольному графу алгоритм решения задачи для случая, когда число исполнителей меньше либо равно количеству работ ( $m \leq n$ ), имеет следующий вид:

1. В каждой строке матрицы  $C$  находится элемент, имеющий минимальное значение, в строке:

$$z_{1,i} = \min_j c_{ij}, i = 1, \dots, m.$$

2. Если все элементы  $z_1$  принадлежат разным столбцам, то решением задачи является пары  $(x_i, y_i)$ , соответствующие элементам  $z_1$  по каждой строке. В противном случае выполняется п. 3.

3. Для  $j$ -го столбца матрицы,  $j=1, \dots, n$ , выполняется анализ:

3.1. Если элемент  $z_{1,i}$  и  $z_{1,k}$  принадлежат одному столбцу матрицы  $j$ , тогда в  $i$ -й и  $k$ -й строках находятся следующие по величине элементы  $z_{2,i}$  и  $z_{2,k}$ .

3.2. Вычисляются разности  $\Delta z_i = z_{2,i} - z_{1,i}$  и  $\Delta z_k = z_{2,k} - z_{1,k}$ .

3.3. Если  $\Delta z_k \geq \Delta z_i$ , то вместо  $z_{1,i}$  принимается  $z_{2,i}$ , иначе вместо  $z_{1,k}$  принимается  $z_{2,k}$ .

#### *Линейная задача о назначении в узких местах*

Линейная задача о назначениях в узких местах (Linear Bottleneck Assignment Problem, LBAP) была сформулирована Фалкерсоном, Гликсбергом и Гроссом в работе<sup>37</sup>, посвященной распределению работ (операций) по машинам (станкам). Отличие данной проблемы от задачи о назначениях в том, что критерием оптимальности является не общая сумма назначений, а значение максимального из произведенных назначений:

$$L(X) = \max(c_{ij}x_{ij}) \rightarrow \min.$$

К примеру, требуется наладить поточную линию по выпуску деталей. Технология производства включает десять последовательных операций, имеется десять машин (рабочих мест), каждая машина  $i$  может выполнять операцию  $j$  за время  $c_{ij}$ . Требуется так закрепить операции за машинами, чтобы тakt поточной линии был минимален. Очевидно, что тakt поточной линии в этом случае зависит от выполнения самой длительной по времени операции, а не от суммы времени выполнения всех операций.

Для нахождения точного оптимального решения задачи о назначениях в узких местах существует ряд специальных эффективных алгоритмов, включая метод пороговых значений Гарфинкеля<sup>38</sup>, алгоритм Гросса<sup>39</sup>, базирующийся на идеях венгерского метода, и др.

Для нахождения решения с помощью универсальных медов линейного целочисленного программирования данную задачу можно, например, свести к следующему виду:

---

<sup>37</sup> D.R. Fulkerson, I. Glicksberg, and O. Gross. A production line assignment problem. Tech. Rep. RM-1102, The Rand Corporation, Santa Monica, CA, 1953.

<sup>38</sup> R. Garfinkel. An improved algorithm for the bottleneck assignment problem. Oper. Res., 19:1747–1751, 1971.

<sup>39</sup> O. Gross. The bottleneck assignment problem. Tech. Rep. P-1630, The Rand Corporation, Santa Monica, CA, 1959.

$$C_{\max} \rightarrow \min;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\max} \geq \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad j = \overline{1, m}; \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, m}; \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \\ 1, & \end{cases} \end{array} \right. \quad (3.22)$$

где  $C_{\max}$  – переменная, значение которой равно либо больше каждого произведенного назначения.

Модель (3.22) удобно использовать в качестве базовой в том случае, когда предполагается вводить дополнительные ограничения или оптимизировать по множеству критериев. В том случае, года требуется произвести расстановку исполнителей по работам таким способом, чтобы максимизировать минимальное из назначений, модель примет следующий вид:

$$C_{\min} \rightarrow \max;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\min} \leq \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad j = \overline{1, m}; \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, m}; \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \\ 1, & \end{cases} \end{array} \right. \quad (3.23)$$

где  $C_{\min}$  – переменная, значение которой равно либо меньше каждого произведенного назначения.

## *Обобщенная задача о назначениях исполнителей на выполнение основных проектных работ*

Данная задача о назначениях, именуемая в литературе «General Assignment Problems», является обобщением задачи о рюкзаке.

*Постановка задачи.* Имеется  $n$  исполнителей и  $m$  работ. Для каждого исполнителя  $i$  известны затраты  $c_{ij}$  на выполнение  $j$ -й работы и получаемая в результате выполнения этой работы прибыль  $p_{ij}$ . Каждый исполнитель ограничен бюджетом  $s_i$ . Требуется распределить работы по исполнителям таким образом, чтобы суммарная прибыль была максимальна. При этом исполнитель может быть назначен для выполнения нескольких работ, а на работы можно назначать не больше одного исполнителя.

Частные случаи данной задачи:

- *задача о максимальном паросочетании* – бюджеты исполнителей и все затраты на выполнения работ равны единице;
- *задача о мультиплексивном ранце (рюкзаке)* – затраты и прибыль для всех назначений исполнителей на работы равны;
- *задача о рюкзаке (ранце)* – при наличии только одного исполнителя.

Обобщенная задача о назначениях в виде задачи линейного целочисленного программирования выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} L(X) = \sum_{i=1}^n p_{ij}x_{ij} &\rightarrow \max; \\ \begin{cases} \sum_{i=1}^n c_{ij}x_{ij} \leq s_i, & i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1, & j = \overline{1, m}; \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}) \\ 1, & \end{cases} \end{cases} \end{aligned} \tag{3.24}$$

## *Распределение заказов*

Для распределения заказов в классическом виде модель задачи о назначениях мало применима в связи с ограничением по количеству

заказов, которое может взять один исполнитель (в классическом виде один исполнитель может взять только один заказ). В реальных же условиях функционирования виртуального предприятия один партнер в определенный период времени может выполнять множество заказов. Ограничениями же может выступать, например, количество типовых заказов, которое способен взять и выполнить за определенный промежуток времени партнер. К примеру, при выполнении дизайна сайта, разработки рекламных баннеров, проведении кабинетных исследований рынков, аудиту и т.п. партнеры, специализирующиеся на этом, могут оценить собственные возможности по количеству типовых заказов (проектов) в определенный период времени.

Представляя и решая задачу в виде задачи линейного программирования, можно устранить это требование и получить модель для распределения типовых заказов:

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min; \\ \begin{cases} \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq k_i, & i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, & j = \overline{1, m}; \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \\ 1, & \end{cases} \end{cases} \quad (3.25)$$

где  $k_i$  – количество возможных заказов.

В постановке (3.25) не требуется совпадение количества исполнителей и работ в модели, однако задача должна решаться целочисленными методами, т.е.  $x_{ij} \geq 0$  и  $x_{ij}$  – целые (0 или 1). Также могут быть добавлены ограничения на невозможность, отказ или запрет выполнения работ  $i$ -м партнером  $j$ -го заказа:

$$x_{ij} = 0;$$

либо обязательное (приоритетное) выполнение  $i$ -м партнером  $j$ -го заказа (например, предпочтение заказчика):

$$x_{ij} = 1.$$

Запреты и предпочтения также могут быть проставлены по примеру транспортной задачи путем присвоения значений  $c_{ij}$  заведомо больших значений (больше максимального  $c_{ij}$ ) – запрет или заведомо меньших значений – предпочтение.

Модель вида (3.25) при снятии ограничения для количества заказов  $k_j$  легко решается путем нахождения минимальных  $c_{ij}$  по каждому заказу, без применения методов линейного программирования. То есть линейная модель вырождается в простой выбор партнера, который обеспечивает наилучшее выполнение заказа.

Когда же заказы не типовые, но используются типовые ресурсы (количество сотрудников, фонд времени, площади и т.п.) для их выполнения, модель можно записать в виде (3.26)

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} \leq r_i, & i = \overline{1, n}, \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, & j = \overline{1, m}, \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \\ 1, & \end{cases} \end{cases} \quad (3.26)$$

где  $a_{ij}$  – количество (объем) требуемых ресурсов для выполнения заказа;

$r_i$  – возможное количество (объем) ресурсов, которое может выделить партнер для выполнения заказов.

Одна из трудностей в принятии решений, используя данные модели, возникает при количестве минимальных значений  $c_{ij}$  для одного заказа больше одного. То есть когда на выполнение заказа претендуют несколько партнеров, имеющих одинаковые показатели. В данном случае рекомендуется заранее сформировать решающие критерии –

показатели по которым будет отдаваться предпочтение одному из партнеров при прочих равных условиях. Например, решающими критериями могут быть срок участия в сети партнера, время ответа на заявку и др.

*Многокритериальные задачи о назначениях исполнителей основных проектных работ в рамках динамической партнерской сети*

Рассмотренные выше модели задач о назначениях применимы в случае одного критерия оптимальности. На практике же приходится принимать решения, учитывая несколько критериев.

В работе Ларичева О.И.<sup>40</sup> задача о назначении получила развитие на случай многих критериев. В этой постановке каждый исполнитель  $x_i \in X$ ,  $i = 1, \dots, n$  характеризуется некоторой совокупностью критериев  $C = \{c_1, \dots, c_p, \dots, c_g\}$ . С другой стороны, каждая работа  $y_j \in Y$ ,  $j = 1, \dots, m$  характеризуется перечнем требований к исполнителю  $R = \{r_1, \dots, r_p, \dots, r_g\}$ . По сути, эта задача отличается от классической задачи о назначении персонализацией как исполнителей, так и работ. Ее можно решать как со стороны исполнителей – подобрать каждому из них работу, так и каждой работе подобрать наиболее соответствующего исполнителя.

Если пространство критериев и предъявляемых к ним требований совпадают, под решением сформулированной задачи понимается совокупность пар  $(y_j, x_i)$ , обладающих максимальной степенью соответствия между требованиями  $(r_1, \dots, r_p, \dots, r_g)$  к исполнителю и значениями характеризующих его критериев  $(c_1, \dots, c_p, \dots, c_g)$ . Описанная задача Ларичева О.И. названа «многокритериальной задачей о назначениях» (МЗН). В работе же Микони С.В.<sup>41</sup> она называется «задачей многокритериального соответствия» (ЗМС) между возможным и желаемым.

---

<sup>40</sup> Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах. М.: Логос, 2003. 392 с.

<sup>41</sup> Микони С.В. Теория и практика рационального выбора: монография. М.: Маршрут, 2004. 463 с.

Одна из содержательных постановок такой задачи была дана в работе<sup>42</sup>, в которой решалась задача распределения рукописей между сотрудниками (редакторами, корректорами) издательства. Каждая рукопись характеризовалась тематикой, важностью и срочностью исполнения работы. Каждый работник, в свою очередь, характеризовался специализацией (предпочитаемой тематикой), качеством работы, производительностью труда.

В идеальном случае для каждой пары  $(x_i, y_j)$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$  имеет место полное соответствие векторов  $c_i = \{c_{i1}, \dots, c_{ip}, \dots, c_{ig}\}$  и  $r_j = \{r_{j1}, \dots, r_{jp}, \dots, r_{js}\}$ , т.е. их элементы попарно равны. Это означает, что для декартова произведения  $Y \times X$  можно подобрать функциональное соответствие между всеми элементами их множеств  $Y$  и  $X$ . Однако на практике такая ситуация встречается не часто. Следовательно, необходимо искать максимальное значение количества наилучших возможных назначений. Под наилучшим понимается такое назначение  $(x_i, y_j)$ , для которого имеет место максимальное совпадение векторов.

Для покомпонентного сопоставления векторов  $c_i$  и  $r_i$  достаточно номинальной шкалы. Она применима для сопоставления не только числовых, но и вербальных значений переменных, которые применяются при экспертном оценивании работ и исполнителей. В работе Ларичева О.И.<sup>43</sup> для сопоставления векторов  $c_i$  и  $r_i$  используется порядковая шкала. Ее применение преследует цель ранжирования всех претендентов  $x_i \in X$  на назначение  $y_j \in Y$  относительно степени соответствия векторов  $c_i$  и  $r_i$ . Ранжирование выполняется на основе суммирования несовпадающих компонент векторов для каждой пары  $(x_i, y_j)$ ,  $i = 1, \dots, n$  и упорядочения претендентов в направлении увеличения сумм.

---

<sup>42</sup> Черняк Л., Сердечкина Н., Кожухаров А., Патрикеева Т. Модель процесса подготовки рукописи в издательстве // Алгоритмы и модели управления в технических и организационных системах. М., 1976.

<sup>43</sup> Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах. М.: Логос, 2003. 392 с.

К недостаткам модели и метода решения, предложенного Ларичевым О.И., можно отнести следующее:

1. Для упорядочения претендентов используется грубая порядковая шкала. На практике же критерии могут иметь численные значения и измеряться в интервальной шкале. В этом случае интересует не только число имеющихся совпадений значений, но и величина несовпадения.

2. Предполагается однородность оценок несовпадения. Как правило, критерии разнородны и нуждаются в нормализации.

3. Предполагается равная значимость критериев в векторах  $x_i$  и  $y_j$ . На практике критерии, характеризующие возможности исполнителя и требования со стороны работы, как правило, неравноценны. То есть необходимо учитывать значимость (важность) этих критериев.

4. Ориентация только на совпадение предложений с требованиями с заданием точечных значений. В случае если есть исполнитель, который полностью соответствует требованиям, и исполнитель с характеристиками выше требований, то предпочтение будет отдано первому, а не второму.

Перечисленные недостатки сужают область применения данной модели и метода решения. Они могут быть использованы только в частных случаях задачи распределения заказов в рамках виртуального предприятия.

Задачи распределения заказов, сформулированных в виде задач целочисленного линейного программирования, могут быть так же сформулированы на случай множества критериев оптимальности. Ниже рассмотрим некоторые подходы и примеры решения многокритериальных задач (задач многокритериального выбора).

Для решения многокритериальных задач оптимизации известен ряд методов, которые можно условно разделить на четыре группы:

1. Сведение многих критериев к одному, например, путем аддитивной свертки с применением весовых коэффициентов важности для каждого критерия.

2. Минимизация абсолютных или относительных отклонений от наилучших значений по всем критериям.

3. Оптимизация только одного критерия, а остальные критерии выступают в роли дополнительных ограничений.

4. Ранжирование множества критериев и последовательная оптимизация по каждому из них. Например, для первого по важности критерия находится оптимальное значение целевой функции, которое становится дополнительным ограничением при поиске оптимального решения по второму критерию и так далее.

К примеру, используя один из методов сведения множества критериев к одному, построена модель распределения заказов<sup>44</sup> (3.28). В этой модели оптимизация проводится по трем критериям: стоимость  $c_{ij}$  (матрица  $C$ ), компетентность исполнителя  $q_{ij}$  (матрица  $Q$ ), время выполнения заказа  $t_{ij}$  (матрица  $T$ ).

$$L(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = \overline{1, m}), \\ \sum_{i=1}^n t_{ij} x_{ij} \leq Tm_j \quad (j = \overline{1, m}), \\ \sum_{i=1}^n q_{ij} x_{ij} \geq Qm_j \quad (j = \overline{1, m}), \\ \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \leq Cm_j \quad (j = \overline{1, m}), \\ x_{ij} = \begin{cases} 0, & (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \\ 1, & \end{cases} \end{cases} \quad (3.28)$$

где  $Tm_j$  – максимальное время, за которое необходимо выполнить  $j$ -й заказ;  $Qm_j$  – минимальная компетенция партнера, которая необходи-

---

<sup>44</sup> Катаев А.В. Информационные системы и модели оптимизации распределения заказов в партнерской сети виртуального предприятия // Прикладная информатика. 2007. № 5 (11). С. 11-22.

ма для выполнения  $j$ -го заказа;  $Cm_j$  – максимальная стоимость выполнения  $j$ -го заказа.

Учитывая, что значения критериев имеют различные единицы измерения, они приведены к безразмерному виду и произведена их свертка с учетом важности каждого критерия. В результате получена матрица интегральных коэффициентов (суперкритериев)  $D$ , элементы которой можно получить по следующей формуле:

$$d_{ij} = v_c \frac{c_{ij} - \min_{i,j} c_{ij}}{\max_{i,j} c_{ij} - \min_{i,j} c_{ij}} + \left( 1 - v_q \frac{q_{ij} - \min_{i,j} q_{ij}}{\max_{i,j} q_{ij} - \min_{i,j} q_{ij}} \right) + v_t \frac{t_{ij} - \min_{i,j} t_{ij}}{\max_{i,j} t_{ij} - \min_{i,j} t_{ij}}, \quad (3.27)$$

где  $d_{ij}$  – элементы матрицы интегральных коэффициентов;

$v_c, v_q, v_t$  – коэффициенты важности соответствующих критериев, причем  $v_c + v_q + v_t = 1$ ;

В модели (3.28) учтены в виде ограничений выдвигаемые заказчиком или руководством требования по стоимости заказа, времени и качеству выполнения каждого заказа. В модели не требуется совпадение количества исполнителей и работ.

В (3.28) могут быть добавлены, к примеру, следующие условия:

- ограничения на количество типовых заказов  $k_i$ , которые может взять каждый партнер:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq k_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (3.29)$$

- ограничения по общему объему ресурса ( $r_i$ ), которое может выделить партнер для выполнения всех взятых на себя заказов, при известном расходе ресурса ( $a_{ij}$ ) при выполнении партнером  $i$  заказа  $j$ :

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_{ij} \leq r_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad (3.30)$$

- учет невозможности выполнения работы  $j$  партнером  $i$  с помощью присвоения соответствующим  $d_{ij}$  заведомо больших значений (больше максимального  $d_{ij}$ ) либо путем прямого введения в модель дополнительного ограничения вида

$$x_{ij} = 0;$$

- учет принятого ранее решения по закреплению конкретной работы  $j$  за определенным исполнителем  $i$  путем присвоения соответствующему  $d_{ij}$  значений меньше минимального либо заданием условия вида

$$x_{ij} = 1.$$

Однокритериальные и многокритериальные задачи о назначениях могут ставиться с рядом других целевых функций и дополнительных условий, часть из которых будет рассмотрена далее.

### **3.3. Модели назначения минимального количества исполнителей работ при ограниченном бюджете проекта**

Проектный менеджер, действуя в рамках ограниченного бюджета, в ряде случаев стремится к минимизации количества исполнителей работ по проекту. Причем поиск единственного исполнителя, готового выполнить все работы, на практике, как правило, не оканчивается успешно либо ввиду отсутствия у претендентов перечня всех необходимых компетенций, либо из-за превышения существующих финансовых лимитов.

Основные причины, связанные с минимизацией команды проекта в рамках партнерской сети:

- желание упростить контроль и управление выполнением проекта;
- возможность получить скидки от партнеров за объем передаваемых им работ;
- стремление сократить транзакционные издержки, связанные с заключением контрактов, трудовых договоров и дальнейшим контролем их исполнения.

В этой связи актуальным является применение методов оптимизации, позволяющих подобрать минимальную по численности команду проекта. Далее рассмотрим одну из базовых задач и возможные методы ее решения.

*Постановка задачи.* Имеется  $m$  работ в проекте. На выполнение каждой работы претендуют  $n$  различных исполнителей (субподрядчиков), готовых в полном объеме выполнить определенные работы за согласованную с каждым исполнителем стоимость  $c_{i,j}$ . На каждую работу требуется выбрать только по одному исполнителю, но исполнитель может быть назначен на несколько работ одновременно. Требуется произвести назначение потенциальных исполнителей на основные проектные работы таким образом, чтобы количество задействованных в реализации проекта было минимальным, а общая стоимость их услуг не превышала выделенный бюджет.

Из постановки задачи следует, что целевой функцией является именно количество задействованных в проекте исполнителей. В качестве ограничений выступает выделенный на выполнение работ бюджет и условие выполнения одной работы одним исполнителем. Неизвестные – булевые переменные, показывающие факт назначения  $i$ -го исполнителя на  $j$ -ю работу ( $1$  – назначается,  $0$  – нет). Оптимальное же решение задачи представляет собой удовлетворяющий всем ограничениям план распределения работ по партнерам, при котором значение целевой функции будет минимально.

Очевидно, что без ограничения на бюджет оптимальным решением задачи является выполнение всех работ только одним (любым) исполнителем. Следовательно, лучшим значением целевой функции является  $1$  (нижняя граница), когда задействован только один исполнитель на всех работах, а худшим –  $n$  (верхняя граница), если потребовалось привлечь всех исполнителей для выполнения работ с выделенным общим объемом финансирования. Причем в случаях, когда  $n > m$ , верхней границей будет  $m$  – по условию задачи нельзя задействовать больше исполнителей, чем работ в проекте. Таким образом, значение целевой функции дискретно и лежит в интервале  $[1, \min(n,m)]$ .

Задача может не иметь решения в том случае, если не существует удовлетворяющего ограничению по бюджету варианта расстановки исполнителей по работам. Условие наличия решения можно выразить следующим выражением:

$$\sum_{j=1}^m \min_i c_{i,j} \leq S, \quad (3.31)$$

где  $i$  – порядковый номер исполнителя,  $i = \overline{1, n}$ ;

-  $j$  – порядковый номер работы,  $j = \overline{1, m}$ ;

-  $m$  – количество работ, а  $n$  – количество исполнителей;

-  $S$  – бюджет;

-  $c_{i,j}$  – стоимость выполнения  $j$ -й работы  $i$ -м исполнителем.

Условие (3.31) отражает то, что в том случае, если сумма минимальных по стоимости вариантов выполнения работ будет меньше либо равна бюджету, то существует хотя бы один допустимый план назначения исполнителей на работы.

Следует заметить, что рассматриваемая задача является обобщением NP-трудной задачи о покрытии множеств.

*Математическая постановка задачи* в виде задачи целочисленного нелинейного программирования (3.32) – (3.35) предложена нами в [3]:

$$L = L(x) = \sum_{i=1}^n \max_j x_{i,j} \rightarrow \min; \quad (3.32)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{i,j} x_{i,j} \leq S; \quad (3.33)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1, \quad j = \overline{1, m}; \quad (3.34)$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3.35)$$

где  $x_{i,j}$  – искомые неизвестные, показывающие факт назначения  $i$ -го исполнителя на  $j$ -ю работу (1 – назначается, 0 – нет);

-  $L$  – количество задействованных исполнителей, а  $L(x)$  – функция, определяющая  $L$  через  $x_{i,j}$ ;

-  $i$  – порядковый номер исполнителя,  $i = \overline{1, n}$ ;

-  $j$  – порядковый номер проектной работы,  $j = \overline{1, m}$ ;

- $m$  – количество работ, а  $n$  – количество исполнителей;
- $c_{i,j}$  – стоимость выполнения  $j$ -й работы  $i$ -м исполнителем;
- $S$  – выделенный бюджет проекта.

В случае же моделирования частной задачи о покрытии множества,  $S = 0$ , а  $c_{i,j}$  устанавливаются в следующих значениях: 0 –  $i$ -й исполнитель может выполнить  $j$ -ю работу, 1 – не может выполнить.

В приведенной модели целевая функция (3.32) нелинейная, что не позволяет найти оптимальное решение точными методами линейного программирования, включая симплекс-метод.

При решении же задачи методом полного перебора количество вариантов состава проектных групп будет

$$\sum_{i=1}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} = 2^n - 1.$$

К примеру, если количество исполнителей  $n$  равно 10, то количество вариантов групп будет 1023. Количество же комбинаций при расстановке исполнителей по задачам составит  $n^m$ . Если же  $n$  и  $m$  равняются 10, тогда число вариантов расстановки составит 10 млрд. Очевидно, что в этом случае полный перебор всех вариантов и выбор из них лучшего занимает неприемлемо длительное время.

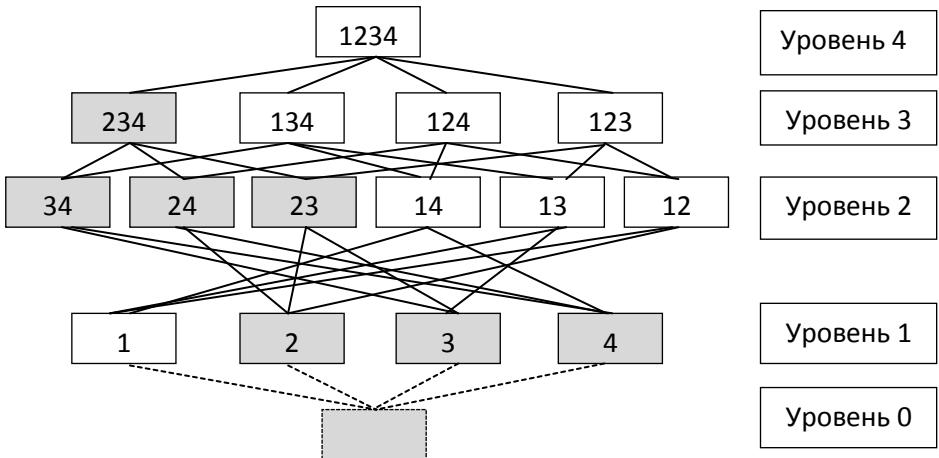
В отдельных случаях возможно сокращение размерности исходной задачи путем исключению из рассмотрения заведомо недопустимых элементов (назначений) и нахождения единственного допустимого назначения исполнителя на работу. Для иллюстрации приведем следующий пример:

|                | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> | P <sub>6</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| И <sub>1</sub> | 4              | 5              | 7              | 5              | 6              | 4              |
| И <sub>2</sub> | 2              | 1              | 5              | 2              | 5              | 1              |
| И <sub>3</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 3              | 8              |
| И <sub>4</sub> | 3              | 2              | 2              | 6              | 4              | 8              |
| Мин            | 1              | 1              | 1              | 1              | 3              | 1              |

Бюджет ( $S$ ) = 9.

В примере серым цветом залиты элементы, выбор которых не даст допустимого решения. Видно, что строка  $I_1$  не имеет ни одного допустимого элемента, а столбец  $P_6$  имеет всего один допустимый элемент (назначение  $I_2$  на  $P_6$ ). Следовательно, в любом допустимом решении не будет исполнителя  $I_1$ , всегда будет  $I_2$  с назначением на работу  $P_6$  и назначения будут произведены только среди элементов, залитых белым цветом. Логика нахождения недопустимых элементов по каждому столбцу следующая: если на все остальные работы будут выбраны исполнители, предлагающие выполнить каждую из них с минимальными затратами, что останется из бюджета на выполнение рассматриваемой работы? То есть все элементы, большие этого «остатка», являются недопустимыми.

Перебор можно вести не по элементам, а по вариантам проектных команд (составу групп). В этом случае также возможно увеличение скорости поиска точного оптимального решения путем отсечения заведомо недопустимых и, соответственно, неоптимальных решений. К примеру, если  $n = 4$ , то количество всех вариантов решений составит 15 (рис.3.2). Предположим, что для группы из трех участников под номерами 2, 3 и 4 («234») нет допустимого варианта расстановки исполнителей по задачам, тогда для всех групп меньшей размерности, состоящих только из участников группы «234», отсутствует допустимый вариант расстановки. Следовательно, данные группы можно исключить из рассмотрения на предмет оптимальной расстановки исполнителей по задачам.



**Рис. 3.2.** Пример дерева вариантов групп

Для установления факта отсутствия допустимых в соответствии с условиями (3.33) – (3.35) вариантов назначения потенциальных исполнителей на реализацию выделенных работ по проекту необходимо и достаточно выполнение следующего условия:

$$\sum_{j=1}^m \min_i c_{i,j} > S. \quad (3.36)$$

Условие (3.36) отражает, что в случае, если сумма минимальных по стоимости вариантов выполнения всех работ будет больше бюджета  $S$ , тогда не существует ни одной группы (подгруппы) с допустимым распределением задач по исполнителям.

Движение по дереву вариантов групп может осуществляться следующими способами:

1. Веточный способ – перебор ведется по веткам вниз, т.е. сначала проверяется наличие допустимого решения для группы «1234», затем для «234», «34», «3» и так далее.

2. Уровневый способ – перебор ведется с верхнего уровня поочередно, т.е. проверяются все группы 4-го уровня, затем все 3-го и так далее. В этом случае, если на определенном уровне не находится

ни одного допустимого решения, тогда оптимальным решением является любая допустимая группа вышестоящего уровня.

При уровневом способе для ускорения нахождения решения возможно применение алгоритма бинарного поиска (метода деления «пополам»). По этому алгоритму перебор ведется не с верхнего, а с «центрального» уровня, который делит количество всех уровней на две части: верхнюю и нижнюю. В случае, если на «центральном» уровне нет ни одной группы, отвечающей необходимым требованиям, поиск осуществляется в верхней части, которая в свою очередь таким же способом делится на две части и так далее, до нахождения искомого решения. Если на центральном уровне нашлась хотя бы одна допустимая группа, тогда оптимальное решение находится на данном уровне либо ниже. При использовании данного алгоритма количество проверяемых уровней сократится до  $1 + \log_2 n$ . Например, при  $n$ , равном 128, максимальное количество проверяемых уровней составит 8.

Модель (3.32) – (3.35) можно свести к задаче целочисленного линейного программирования<sup>45</sup> путем введения булевых неизвестных  $y_i$ :

---

<sup>45</sup> Катаев А.В. Задача оптимизации количества участников проекта как задача целочисленного линейного программирования // Теория и практика современной науки. 2016. №8 (14). С. 181-186.

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.37)$$

которые принимают следующие значения:

1 – если исполнитель  $i$  задействован, т.е. партнер назначается на одну или более работ.

0 – если исполнитель  $i$  не задействован, т.е. партнер не участвует в выполнении работ проекта.

Целевая функция (3.32) заменяется на функцию линейного вида:

$$L = L(y) = \sum_{i=1}^n y_i \rightarrow \min. \quad (3.38)$$

Далее требуется установить корректную связь  $y_i$  и  $x_{i,j}$ . Из самой постановки задачи следует, что если  $y_i = 0$ , то  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 0$ . Когда же  $y_i = 1$ , тогда  $m \geq \sum_{j=1}^m x_{i,j} \geq 1$ . Следовательно, связь  $x_{i,j}$  и  $y_i$  можно выразить условием следующего вида:

$$m \cdot y_i \geq \sum_{j=1}^m x_{i,j} \geq y_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3.39)$$

Покажем корректность условия (3.39) при любом целом значении  $m \geq 1$ :

1. Корректные значения  $y_i$  и  $x_{i,j}$ :

- если  $y_i = 0$  и  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 0$ , то условие  $0 \geq 0 \geq 0$  истинно;
- если  $y_i = 1$  и  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 1$ , то условие  $m \geq 1 \geq 1$  истинно;

- если  $y_i = 1$  и  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = r$ , то условие  $m \geq r \geq 1$  истинно при любом  $r$  в интервале  $[1, m]$ ;

2. Противоречивые значения  $y_i$  и  $x_{i,j}$ :

- если  $y_i = 0$  и  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 1$ , то условие  $0 \geq 1 \geq 0$  ложно;

- если  $y_i = 1$  и  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 0$ , то условие  $m \geq 0 \geq 1$  ложно;

- если  $y_i = 0$  и  $\sum_{j=1}^m x_{i,j} = r$ , то условие  $0 \geq r \geq 1$  ложно при любом  $r$ .

В итоге получаем модель целочисленного линейного программирования: (3.38), (3.39), (3.37), (3.33) – (3.35). Точное решение задачи в данной постановке можно получить с помощью симплекс-метода и методов решения задач целочисленного программирования, которые реализованы в широком спектре программных средств, включая LPSolve ([sourceforge.net/projects/lpsolve/](http://sourceforge.net/projects/lpsolve/)), MS Excel с надстройкой Solver («Поиск решения») или OpenSolver ([opensolver.org](http://opensolver.org)), CPLEX Optimizer и др.

Для быстрого решения задач большой размерности целесообразно использовать приближенные алгоритмы. Ниже подробно описаны два таких метода: алгоритм *максимального количества минимальных элементов*<sup>46</sup> (МКМЭ) и алгоритм *максимального количества допустимых элементов*<sup>47</sup> (МКДЭ).

---

<sup>46</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М. Задача минимизации количества исполнителей работ в проекте: математическая модель и алгоритм решения // Экономика и социум. 2016. №6-3 (25). С. 77-84.

<sup>47</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М., Коженко Я.В. Оптимизация численного состава команды проекта: экономико-математический инструментарий // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2016. № 8-3 (22). С. 101-104.

## ***Метод максимального количества минимальных элементов (МКМЭ)***

В основе предложенного эвристического алгоритма лежит идея пошагового поиска и добавления строк (в терминах решаемой задачи – исполнителей), имеющих *максимальное количество минимальных элементов* (МКМЭ) по столбцам (т.е. работам). Метод МКМЭ можно использовать как для программной реализации, так и для ручных расчетов (при небольших размерностях). Основные принципы, заложенные в описываемом ниже алгоритме:

1. Поиск решения начинается с лучших значений целевой функции по пути «вписывания» в бюджет (*принцип последовательной уступки*). Другими словами, если ни один исполнитель не может выполнить все работы с установленным бюджетом, то следует выбрать одного из них и закрепить за ним некоторые работы, а на оставшиеся работы искать партнеров, предлагающим выполнить их с меньшими затратами.

2. При выборе исполнителя следует отдавать предпочтение тем исполнителям, которые могут выполнить большее количество работ с минимальными для каждой работы затратами (*принцип максимального количества минимальных элементов*).

3. При наличии нескольких вариантов назначений, подходящих под имеющийся (оставшийся) бюджет, следует отдавать предпочтение назначению, не увеличивающему количество задействованных исполнителей. Если такого назначения нет, тогда отдается предпочтение наименьшему по затратам варианту (*принцип экономии бюджета*).

Для алгоритма целесообразным является представление исходных данных решаемой нами задачи в виде матрицы затрат  $C$  размерностью  $n$  на  $m$ , где столбцы – основные проектные работы, строки – возможные исполнители,  $c_{i,j}$  – затраты на выполнение  $j$ -й работы  $i$ -м исполнителем.

*Пошаговый эвристический алгоритм нахождения оптимального решения:*

*Шаг 1.* Основные действия:

- 1.1. Находим сумму всех  $c_{i,j}$  по каждой строке –  $D_i$ .
- 1.2. Если имеются  $D_i \leq S$ , тогда решение найдено и на выполнение всех работ назначается исполнитель с минимальным значением  $D_i$ . В противном случае переходим к действию 1.3.
- 1.3. Находим значения минимальных элементов  $c_{i,j}$  по каждому столбцу и обозначим их как  $M_j$ . Помечаем в каждом столбце все элементы, равные  $M_j$ .
- 1.4. Считаем количество помеченных элементов в каждой строке ( $K_i$ ) и сумму этих элементов ( $Z_i$ ).
- 1.5. Выбираем строку с максимальным  $K_i$ . Если таких строк несколько, то выбираем из них любую с максимальным  $Z_i$ . Фиксируем назначение выбранного  $i$ -го сотрудника на работы с помеченными в строке  $i$  элементами, строку помечаем.
- 1.6. Вычеркиваем столбцы, соответствующие зафиксированным назначениям. Уменьшаем бюджет на  $Z_i$ . Переходим к следующему шагу.

*Шаг 2.* На данном шаге аналогично предыдущему производятся те же действия, только с оставшимися столбцами и уменьшенным бюджетом. Действие 3 можно опустить – его результат получен на первом шаге и не изменится в дальнейшем.

*Шаг 3.* Аналогичен второму шагу. Основное отличие состоит в том, что при выполнении действия 2 предпочтение отдается  $D_i$  в уже помеченных строках. Другими словами, сначала ищутся минимальные значения  $D_i$ , меньшие либо равные остаточному бюджету, среди уже назначенных ранее исполнителей, а в случае неудачного поиска – среди остальных.

*Шаг 4 и далее.* Аналогично шагу 3 до нахождения подходящего по бюджету значения. Максимальное количество шагов составляет  $(m-1)$ .

### **Численный пример задачи и ее решение методом МКМЭ**

Согласно приведенной выше постановке задачи имеется четыре исполнителя и пять работ, матрица затрат  $C$  приведена в табл. 3.1, затраты на оплату работ по проекту определены в тысячах рублей. Ограничение на бюджет  $S$  составляет 14 тыс. руб. Требуется найти минимальное количество исполнителей, задействовав которых можно выполнить все работы и уложиться в бюджет.

*Таблица 3.1*

#### **Затраты на выполнение основных работ проекта возможными исполнителями**

| Возможные исполнители | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |       |       |       |       |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|
|                       | $P_1$   | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ |
| $I_1$                 | 5   | 7     | 9     | 2     | 2     |
| $I_2$                 | 2   | 3     | 3     | 8     | 3     |
| $I_3$                 | 2   | 6     | 5     | 5     | 1     |
| $I_4$                 | 4   | 1     | 4     | 6     | 3     |

Ниже представлено решение в табличной форме по предложенному выше алгоритму.

#### *Шаг №1*

Результаты, полученные на первом шаге алгоритма, приведены в табл. 3.2.

*Таблица 3.2*

#### **Вспомогательная таблица для проведения расчетов**

| Возможные исполнители | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |       |       |       |       | D, тыс. руб. | K, ед. | Z, тыс. руб. |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|--------------|--------|--------------|
|                       | $P_1$   | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ |              |        |              |
| $I_1$                 | 5   | 7     | 9     | 2     | 2     | 25           | 1      | 2            |
| $I_2$                 | 2   | 3     | 3     | 8     | 3     | 19           | 2      | 5            |
| $I_3$                 | 2   | 6     | 5     | 5     | 1     | 19           | 2      | 3            |
| $I_4$                 | 4   | 1     | 4     | 6     | 3     | 18           | 1      | 1            |
| M, тыс. руб.          | 2   | 1     | 3     | 2     | 1     |              |        |              |

В табл. 3.2, кроме непосредственно значений стоимости выполнения работ исполнителем, добавлены следующие столбцы:

- суммы элементов по каждой строке (столбец D);
- найденные минимальные значения элементов по каждому столбцу исходной матрицы (строка M), а соответствующие этим значениям элементы выделены жирным и подчеркнуты;
- количество отмеченных подчеркиванием элементов по каждой строке (столбец K) и сумма значений этих элементов (столбец Z).

Как видно, все  $D_i > S$ , однако, большее количество минимальных по величине значений ( $K = 2$ ) имеют строки  $I_2$  и  $I_3$ , при этом  $Z_2 > Z_3$ , в связи с чем целесообразным является для дальнейшего нахождения решения выбрать строку  $I_2$ , назначив на выполнение работ  $P_1$  и  $P_3$  исполнителя  $I_2$ .

Для большей наглядности полученных на данном шаге промежуточных результатов выделим интересующую нас строку в табл. 3.2 серым цветом. Выделим также ячейки с минимальными значениями элементов в указанной строке, а столбцы, где они расположены, отметим серым цветом. Переходя к следующему шагу поиска решения, выделенные столбцы исключаются из рассмотрения (вычеркиваются), а бюджет уменьшается на величину  $Z_2$ , соответствующую сумме значений в выделенных ячейках.

### *Шаг №2*

На данном шаге аналогично предыдущему производятся те же действия только с новой матрицей, полученной путем исключения столбцов  $P_1$  и  $P_3$ , и с бюджетом, уменьшенным на сумму выбранных назначений ( $S_2 = 14 - 5 = 9$  тыс. руб.). Результат представлен в табл. 3.3.

Таблица 3.3

**Вспомогательная таблица для проведения расчетов в рамках  
второго шага**

| Возможные исполнители | Вы бор | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |          |          | D, тыс. руб. | K, ед. | Z, тыс. руб. |
|-----------------------|--------|---|----------|----------|--------------|--------|--------------|
|                       |        | $P_2$   | $P_4$    | $P_5$    |              |        |              |
| И <sub>1</sub>        |        | 7   | <b>2</b> | 2        | 11           | 1      | 2            |
| И <sub>2</sub>        | *      | 3   | 8        | 3        | 14           | 0      | 0            |
| И <sub>3</sub>        |        | 6   | 5        | <b>1</b> | 12           | 1      | 1            |
| И <sub>4</sub>        |        | <b>1</b>  | 6        | 3        | 10           | 1      | 1            |
| M, тыс. руб.          |        | 1   | 2        | 1        |              |        |              |

Знаком «\*» отмечены выбранные ранее исполнители, которые уже задействованы в выполнении работ проекта.

В результате проведенных действий нами было закреплено выполнение работы  $P_4$  за исполнителем И<sub>1</sub>. При этом сумма оставшегося после предыдущего назначения бюджета уменьшилась на величину, равную стоимости указанной работы, т.е. на 2 тыс. руб.

*Шаг №3*

Повторяем аналогичные шагу №2 действия с учетом оставшегося бюджета ( $S_3$ ) в 7 тыс. руб. Результаты представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

**Вспомогательная таблица для проведения расчетов в рамках  
третьего шага**

| Возможные исполнители | Вы бор | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |          |  | D, тыс. руб. | K, ед. | Z, тыс. руб. |
|-----------------------|--------|---|----------|--|--------------|--------|--------------|
|                       |        | $P_2$   | $P_5$    |  |              |        |              |
| И <sub>1</sub>        | *      | 7   | 2        |  | 9            | 0      | 0            |
| И <sub>2</sub>        | *      | 3   | 3        |  | 6            | 0      | 0            |
| И <sub>3</sub>        |        | 6   | <b>1</b> |  | 7            | 1      | 1            |
| И <sub>4</sub>        |        | <b>1</b>  | 3        |  | 4            | 1      | 1            |
| M, тыс. руб.          |        | 1   | 1        |  |              |        |              |

Несмотря на то, что большее количество минимальных по величине значений ( $K=1$ ) имеют строки  $I_3$  и  $I_4$ , имеет смысл назначить на выполнение работы  $P_2$  и  $P_5$  исполнителя  $I_2$ , так как данное назначение позволяет нам не выйти за рамки оставшейся части выделенного бюджета ( $S_3=7$  тыс. руб.) и не увеличить количество членов команды проекта.

Таким образом, в результате проведенных действий мы получили план распределения задач по партнерам (табл. 3.5) с двумя исполнителями, суммарными затраты на выполнение в размере 13 тыс. руб. и экономией бюджета (1 тыс. руб.). Следует заметить, что полученное решение можно улучшить по критерию минимизации затрат, перераспределив выбранных партнеров по задачам – на  $P_5$  назначить  $I_1$ , уменьшив тем самым затраты на 1 тыс. руб.

*Таблица 3.5*

**План распределения основных работ по проекту между возможными исполнителями**

| Возможные исполнители | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |       |       |       |       |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|
|                       | $P_1$   | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ |
| $I_1$                 | 5   | 7     | 9     | 2     | 2     |
| $I_2$                 | 2   | 3     | 3     | 8     | 3     |
| $I_3$                 | 2   | 6     | 5     | 5     | 1     |
| $I_4$                 | 4   | 1     | 4     | 6     | 3     |

В соответствии с ней разработана оптимизационная модель цепочисленного математического программирования, а также пошаговый эвристический алгоритм поиска оптимального решения, который позволяет на практике за приемлемое время найти близкое к оптимальному решение без применения специализированного программного обеспечения.

## **Метод максимального количества допустимых элементов (МКДЭ)**

В отличие от МКМЭ метод МКДЭ реализует идею пошагового выбора строк с *максимальным количеством допустимых элементов* (МКДЭ).

Допустимыми считаются элементы, выбор которых в соответствии с условиями (3.34) – (3.35) не нарушит условие (3.33), т.е. не будет превышения имеющегося бюджета.

При условии, что

$$\sum_{j=1}^m \min_i c_{i,j} = S,$$

допустимыми элементами являются только минимальные элементы. В этом случае отличия в выборе метода МКМЭ или МКДЭ нет. Если же

$$\sum_{j=1}^m \min_i c_{i,j} < S,$$

тогда допустимыми могут являться не только минимальные элементы, но и другие, определив которые возможно ускорить решение задачи и получить более близкий к оптимальному результат.

Допустимые элементы можно определять через коэффициент допуска  $d$ , который определяется как отношение между имеющимся бюджетом и минимально возможной суммой затрат по работам:

$$d = \frac{S}{\sum_{j=1}^m M_j}, \quad (3.40)$$

где  $M_j = \min_i c_{i,j}$ .

В этом случае любой элемент в столбце меньший либо равный  $M_j d$  является допустимым.

Ниже представлен пошаговый эвристический алгоритм нахождения оптимального решения при условии, что исходная задача имеет решение, т.е. соблюдается условие (3.31).

## *Пошаговый алгоритм МКДЭ.*

### *Шаг 1. Основные действия:*

1.1. Находим сумму всех  $c_{i,j}$  по каждой строке –  $D_i$ .

1.2. Если имеются  $D_i \leq S$ , тогда решение найдено и на выполнение всех работ назначается  $i$ -й исполнитель. В противном случае переходим к действию 1.3.

1.3. Находим значения  $M_j$  по каждому столбцу.

1.4. Определяем коэффициент допуска  $d$  по формуле (3.40). Этот коэффициент одинаков для всех столбцов на определенном шаге алгоритма. Помечаем в каждом столбце все элементы меньшие либо равные  $M_j d$ .

1.5. Считаем количество помеченных элементов в каждой строке ( $K_i$ ) и сумму этих элементов ( $Z_i$ ).

1.6. Выбираем строку с максимальным  $K_i$ . Фиксируем назначение выбранного  $i$ -го исполнителя на работы с помеченными в  $i$ -й же строке элементами, строку помечаем.

1.7. Вычеркиваем столбцы, соответствующие зафиксированным назначениям. Уменьшаем бюджет на  $Z_i$ . Переходим к следующему шагу.

### *Шаг 2 и далее.*

На данном шаге аналогично предыдущему производятся те же действия, только с матрицей, полученной путем вычеркивания столбцов на предыдущем шаге, и остатком бюджета. Основное отличие состоит в том, что предпочтение отдается выбору в ранее помеченных строках, т.е. сначала ищутся допустимые назначения среди уже задействованных исполнителей, а в случае неудачного поиска – среди остальных.

На последнем шаге получаем решение с количеством задействованных исполнителей  $L$ . Максимальное количество шагов составляет  $(m-1)$ .

### **Численный пример задачи и ее решение методом МКДЭ**

Согласно приведенной выше постановке задачи имеется пять исполнителей и шесть работ, матрица затрат  $C$  приведена в табл. 3.6, затраты на оплату работ по проекту определены в тысячах рублей. Ограничение на бюджет  $S$  составляет 16 тыс. руб. Требуется найти минимальное количество исполнителей, задействовав которых можно выполнить все работы и уложиться в бюджет.

*Таблица 3.6*

#### **Затраты на выполнение основных работ проекта возможными исполнителями**

| Возможные исполнители | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |       |       |       |       |       |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | $P_1$   | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ |
| $I_1$                 | 1   | 1     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| $I_2$                 | 8   | 8     | 1     | 8     | 2     | 8     |
| $I_3$                 | 3   | 8     | 8     | 1     | 3     | 3     |
| $I_4$                 | 8   | 3     | 3     | 3     | 8     | 8     |
| $I_5$                 | 8   | 8     | 8     | 2     | 8     | 2     |

Ниже представлено решение в табличной форме по предложенному выше алгоритму.

*Шаг №1*

$$S_1 = S = 16.$$

$$d_1 = \frac{16}{1+1+1+1+2+2} = 2.$$

Результаты, полученные на первом шаге алгоритма, приведены в таблице 3.7.

Табл. 3.7 аналогична по структуре табл. 3.2 примера для алгоритма МКМЭ. Основное отличие в том, что выделены и подчеркнуты допустимые элементы, а не только минимальные. В табл. 3.7 так же представлены следующие данные и результаты расчетов:

- стоимость выполнения работ;
- суммы элементов по каждой строке (столбец D);
- найденные минимальные значения элементов по каждому столбцу исходной матрицы (строка M);

- количество отмеченных подчеркиванием элементов по каждой строке (столбец K) и сумма значений этих элементов (столбец Z).

Таблица 3.7

**Вспомогательная таблица для проведения расчетов**

| Возможные исполнители | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |          |          |          |          |          | D, тыс. руб. | K, ед. | Z, тыс. руб. |
|-----------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|--------|--------------|
|                       | $P_1$   | $P_2$    | $P_3$    | $P_4$    | $P_5$    | $P_6$    |              |        |              |
| И <sub>1</sub>        | <u>1</u>  | <u>1</u> | 8        | 8        | 8        | 8        | 32           | 2      | 2            |
| И <sub>2</sub>        | 8   | 8        | <u>1</u> | 8        | <u>2</u> | 8        | 33           | 2      | 3            |
| И <sub>3</sub>        | 3   | 8        | 8        | <u>1</u> | <u>3</u> | <u>3</u> | 26           | 3      | 7            |
| И <sub>4</sub>        | 8   | 3        | 3        | 3        | 8        | 8        | 33           | 0      | 0            |
| И <sub>5</sub>        | 8   | 8        | 8        | <u>2</u> | 8        | <u>2</u> | 36           | 2      | 4            |
| M, тыс. руб.          | 1   | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        |              |        |              |

Как видно, все  $D_i > S_1$ , следовательно, проект не может быть выполнен целиком одним партнером и требуется на этом шаге алгоритма выбрать строку с максимальным количеством допустимых элементов, т.е. строку И<sub>3</sub>. Соответственно, на выполнения работ P<sub>4</sub> – P<sub>6</sub> назначается исполнитель И<sub>3</sub>.

Для большей наглядности полученных на данном шаге промежуточных результатов выбранная строка в табл. 3.7 выделена серым цветом. Выделены также ячейки с допустимыми элементами в указанной строке, а столбцы, где они расположены, отмечены серым цветом. Переходя к следующему шагу поиска решения, отмеченные столбцы исключаются из рассмотрения (вычеркиваются), а бюджет уменьшается на величину Z<sub>3</sub>, соответствующую сумме значений в выделенных ячейках:

$$S_2 = S_1 - Z_3 = 16 - 7 = 9.$$

*Шаг №2*

Повторяем аналогичные шаги №1 действия с учетом оставшегося бюджета (S<sub>2</sub>) в 9 тыс. руб. Результаты представлены в таблице 3.8.

$$d_2 = \frac{9}{1+1+1} = 3.$$

Таблица 3.8

**Вспомогательная таблица для проведения расчетов  
второго шага**

| Возможные исполнители | Выбор | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |          |          | D, тыс. руб. | K, ед. | Z, тыс. руб. |
|-----------------------|-------|---|----------|----------|--------------|--------|--------------|
|                       |       | $P_1$   | $P_2$    | $P_3$    |              |        |              |
| И <sub>1</sub>        |       | <b>1</b>  | <b>1</b> | 8        | 10           | 2      | 2            |
| И <sub>2</sub>        |       | 8   | 8        | <b>1</b> | 17           | 1      | 1            |
| И <sub>3</sub>        | *     | <b>3</b>  | 8        | 8        | 19           | 1      | 3            |
| И <sub>4</sub>        |       | 8   | <b>3</b> | <b>3</b> | 14           | 2      | 6            |
| И <sub>5</sub>        |       | 8   | 8        | 8        | 24           | 0      | 0            |
| M, тыс. руб.          |       | 1   | 1        | 1        |              |        |              |

Знаком «\*» отмечены выбранные ранее исполнители, которые уже задействованы в выполнении работ проекта.

На данном шаге новые строки не добавлялись, а произведено назначение ранее выбранного исполнителя И<sub>3</sub> на работу Р<sub>1</sub>. Следовательно, бюджет уменьшается на стоимость выполнения работы Р<sub>1</sub> исполнителем И<sub>3</sub>:

$$S_3 = 9 - 3 = 6.$$

### Шаг №3

Повторяем аналогичные шагу №1 действия с учетом оставшегося бюджета (S<sub>3</sub>) в 6 тыс. руб. Результаты представлены в табл. 3.9.

$$d_3 = \frac{6}{1+1} = 3.$$

В выбранных на предыдущих шагах алгоритма строках допустимых элементов нет, следовательно, требуется добавлять еще одного исполнителя. Выбран исполнитель И<sub>4</sub> на выполнения всех оставшихся работ по той причине, что D<sub>4</sub> не превышает остаток бюджета S<sub>3</sub>.

Таблица 3.9

**Вспомогательная таблица для проведения расчетов  
второго шага**

| Возможные исполнители | Вы бор | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |       | D, тыс. руб. | K, ед. | Z, тыс. руб. |
|-----------------------|--------|---|-------|--------------|--------|--------------|
|                       |        | $P_2$   | $P_3$ |              |        |              |
| И <sub>1</sub>        |        | 1   | 8     | 9            | 1      | 1            |
| И <sub>2</sub>        |        | 8   | 1     | 9            | 1      | 1            |
| И <sub>3</sub>        | *      | 8   | 8     | 16           | 0      | 0            |
| И <sub>4</sub>        |        | 3   | 3     | 6            | 2      | 6            |
| И <sub>5</sub>        |        | 8   | 8     | 16           | 0      | 0            |
| M, тыс. руб.          |        | 1   | 1     |              |        |              |

Таким образом, в результате проведенных действий мы получили план распределения задач по партнерам (табл. 3.10) с двумя исполнителями и суммарными затратами на выполнение проекта в размере 16 тыс. рублей.

Таблица 3.10

**План распределения основных работ по проекту между возможными исполнителями**

| Возможные исполнители | Стоимость выполнения основных работ по проекту ( $P_i$ ), тыс. руб. |       |       |       |       |       |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | $P_1$   | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ |
| И <sub>1</sub>        | 1   | 1     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| И <sub>2</sub>        | 8   | 8     | 1     | 8     | 2     | 8     |
| И <sub>3</sub>        | 3   | 8     | 8     | 1     | 3     | 3     |
| И <sub>4</sub>        | 8   | 3     | 3     | 3     | 8     | 8     |
| И <sub>5</sub>        | 8   | 8     | 8     | 2     | 8     | 2     |

**Поиск точного решения**

Представленные выше пошаговые эвристические алгоритмы позволяют на практике за приемлемое время найти близкое к оптимальному решение. Далее возможна проверка полученного решения на оптимальность путем полного перебора групп размерностью L-1.

Если допустимого решения среди групп  $L$ -1 нет, следовательно, решение, соответствующее целевой функции со значением  $L$ , оптимально, в противном же случае не оптимально и возможно нахождением оптимального решения путем перебора оставшихся вариантов групп ( $L$ -2 и менее).

### **3.4. Оптимальное назначение исполнителей с ограничениями на предшествование работ**

Приведенные в предыдущих пунктах модели не учитывали зависимость во времени между выполняемыми работами, которая характерна для управления проектами. Большинство математических моделей управления проектом строятся, исходя из известных (вероятных или предполагаемых) временных характеристик работ и отношений предшествования между работами.

Рассмотрим одну из задач выбора исполнителей работ проекта с учетом ограничений на предшествование работ.

*Постановка задачи.* Пусть имеется некий проект, состоящий из  $m$  взаимосвязанных работ. Взаимосвязь работ представлена в виде сетевой модели. На выполнение работ претендуют  $n$  различных исполнителей, каждый из которых обязуется в полном объеме выполнить отдельные работы за определенное им время  $t$  и со стоимостью  $c$ . Требуется назначить исполнителей на работы таким образом, чтобы минимизировать суммарную стоимость выполнения проекта и уложиться в выделенный на проект срок  $T$ .

В данной задаче, кроме подбора комбинаций расстановки исполнителей на работы, требуется учесть ограничение на время выполнения всего проекта с учетом ограничений предшествования. Далее приведены основные подходы к математическому моделированию и решению данной задачи.

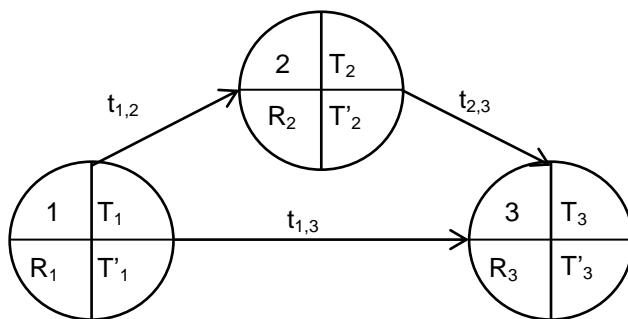
#### *Сетевая модель и критический путь*

Как известно, сетевая модель в терминах сетевого планирования и управления (СПУ) представляет собой ориентированный граф, где дугами отображаются работы сети, а вершины показывают события,

когда завершаются одни работы и (или) начинаются другие<sup>48</sup>. Некоторые работы в проекте могут выполняться одновременно, из чего следует, что в данной выше постановке задачи предполагается нахождение такого распределения исполнителей по работам, при котором длительность критического пути в сетевой модели будет минимальна и будут соблюдены ресурсные ограничения.

Критический путь (КП), представляющий собой самую продолжительную по времени непрерывную последовательность работ **и событий** от начального до конечного события проекта, может изменяться и по длительности, и по составу работ в зависимости от назначаемых исполнителей. Следовательно, для нахождения, расчета и минимизации КП необходимо описать математически взаимосвязи работ и событий проекта, т.е. учесть конфигурацию (топологию) сетевой модели.

Далее будем использовать метод критического пути (Critical Path Method, CPM)<sup>49</sup>, используемый также в системах PERT-Time и PERT-Cost, и обозначим основные временные параметры сетевой модели на примере сетевого графика условного проекта (рис.3.3).



**Рис.3.3.** Пример сетевого графика

<sup>48</sup> Зуховицкий С.И., Радчик И.А. Математические методы сетевого планирования. М.: Изд-во «Наука», 1965.

<sup>49</sup> Kelley J.E., Walker M.R. Critical Path Planning and Scheduling: An Introduction. Mauchly Associates, Ambler, PA, 1959.

Kelley J.E. Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis // Operations Res., 1961. V.9. P.296-320.

На рис. 3.3 введены следующие обозначения:

-  $T_s$  – ранний срок наступления события  $s$ . Это время, которое необходимо для выполнения всех работ, предшествующих данному событию.  $T_{rs}$  равняется наибольшей из продолжительности путей, предшествующих данному событию.

-  $T'_s$  – поздний срок наступления события  $s$ . Это такое время наступления события  $s$ , превышение которого вызовет аналогичную задержку наступления завершающего события сети.

-  $R_s$  – резерв времени наступления события  $s$ . Это такой промежуток времени, на который может быть отсрочено наступление события  $s$  без нарушения сроков завершения проекта в целом.  $R_s = T'_s - T_s$ .

-  $P_{k,g}$  – работа  $(k, g)$ , где  $k$  – номер начального события работы, а  $g$  – номер конечного.

-  $t_{k,g}$  – время выполнения работы  $P_{k,g}$ .

К важным времененным параметрам работ относятся резервы времени:

-  $Rc_{k,g}$  – свободный резерв работы, показывающий максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность работы  $(k, g)$  или отсрочить ее начало, не меняя сроки начала последующих работ. Использование свободного резерва одной из работ не меняет величины свободных резервов остальных работ сети:  $Rc_{k,g} = T_g - T_k - t_{k,g}$ .

-  $Rn_{k,g}$  – полный резерв работы показывает максимальное время, на которое может быть увеличена продолжительность работы  $(k, g)$  или отсрочено ее начало, чтобы продолжительность проходящего через нее максимального пути не превысила продолжительности критического пути:  $Rn_{k,g} = T'_g - T_k - t_{k,g}$ .

При расчете временных параметров работ и событий предполагается, что работы начинаются сразу после окончания всех предыдущих работ, т.е. расчет происходит только на основе известных длительностей  $t_{k,g}$  и последовательности работ. В этом случае, выразив  $t_{k,g}$  через ранний срок наступления событий и свободный резерв, можно описать зависимости работ и событий через систему уравнений следующего вида:

$$T_g - T_k - Rc_{k,g} = t_{k,g}, \quad j=1, \dots, m, \quad (3.41)$$

где  $j$  – порядковый номер работы  $P_{k,g}$ ;  $m$  - количество работ в проекте.

Используя (3.41), строим следующую линейную модель математического программирования:

$$L = T_h \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} T_g - T_k - R c_{k,g} = t_{k,g}, \quad j = \overline{1, m}; \\ T_1 = 0; \\ \forall T_s \geq 0; \forall R_{k,g} \geq 0; \end{cases} \quad (3.42)$$

где в качестве целевой функции выступает ранний срок наступления конечного (последнего) события всей сети, а  $h$  – номер этого события.

К примеру, для сети на рис. 3.3 модель (3.42) записывается следующим образом:

$$L = T_3 \rightarrow \min;$$

$$\begin{cases} T_2 - T_1 - R c_{1,2} = t_{1,2}; \\ T_3 - T_2 - R c_{2,3} = t_{2,3}; \\ T_3 - T_1 - R c_{1,3} = t_{1,3}; \\ T_1 = 0; \\ \forall T_s \geq 0; \forall R c_{k,g} \geq 0. \end{cases} \quad (3.43)$$

Целевой функцией в (3.42) является ранний срок наступления конечного события проекта, который равен длительности КП при  $T_1$  равным нулю, а неизвестными являются ранние сроки наступления событий и свободные резервы работ.

В модели (3.42)  $\forall R c(k, g) \geq 0$  и каждая из этих неизвестных входит только в одно уравнение вида (3.41), следовательно, при постановке задачи линейного программирования их можно исключить из модели, заменить систему уравнений (3.41) на систему неравенств:

$$T_g - T_k - t_{k,g} \geq 0, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3.44)$$

В (3.42) изначально  $T_1$  (время наступления начального события проекта) приравнивается нулю, однако это условие можно опустить при отсутствии дополнительных ограничений, так как по условию все значения временных параметров неотрицательные и минимизируется  $T_h$  (время наступления конечного события), зависимого от  $T_1$  через

систему уравнений. Другими словами, при оптимальном решении задачи в постановке (3.42)  $T_1$  и все  $R_c$  работ КП станут равны нулю.

Далее рассмотрим вариант модели, когда на выполнение каждой из работ претендуют разные исполнители, которые обязуются выполнить отдельные работы за различное время и стоимость. Причем на каждую работу должен быть назначен только один исполнитель, но один исполнитель может выполнять сразу несколько работ.

*Математическая модель назначения исполнителей с оптимизацией проекта по стоимости и ограничением на срок окончания проекта формулируется следующим образом:*

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{i,j} x_{i,j} \rightarrow \min; \quad (3.45)$$

$$T_g \geq T_k + \left( \sum_{i=1}^n t_{i,j} x_{i,j} \right), \quad j = \overline{1, m}; \quad (3.46)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1, \quad j = \overline{1, m}; \quad (3.47)$$

$$T_h \leq T; \quad (3.48)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}; \quad (3.49)$$

$$T_s \geq 0, \quad (3.50)$$

где неизвестными являются все  $T_s$ , т.е. все ранние сроки наступления событий проекта, и все  $x_{i,j}$  – выбор (назначение) исполнителя на работу (1 – назначается, 0 – нет);

- целевая функция (3.45) – суммарная стоимость выполняемых работ;

- $T_k$  и  $T_g$  – ранние сроки наступления начального и конечного события работы  $P_{k,g}$  соответственно;

- $T_h$  – ранний срок наступления конечного (последнего) события всей сети, а  $h$  – номер этого события;

- каждой работе  $P_{k,g}$  поставлен в соответствие индекс  $j$ , где  $j = \overline{1, m}$ , а  $m$  – количество работ;
- $t_{i,j}$  – время выполнения  $j$ -й работы  $i$ -м исполнителем, где  $i = \overline{1, n}$ , а  $n$  – количество исполнителей.
- $c_{i,j}$  – стоимость выполнения  $j$ -й работы  $i$ -м исполнителем;
- $T$  – время, к которому все работы проекта должны завершиться.

Группа ограничений (3.46) в соответствии с методом критического пути (Critical Path Method<sup>50</sup>) задает порядок выполнения работ, точнее, временную зависимость событий и работ. В отличие от моделей, где время выполнения каждой работы  $t_{k,g}$  известно заранее, в модели (3.45) – (3.50) длительность выполнения работы зависит от назначаемого исполнителя при выполнении условий (3.47):

$$t_{k,g} = \sum_{i=1}^n t_{i,j} x_{i,j}. \quad (3.51)$$

Условие (3.48) ограничивает срок окончания проекта.

В подобных задачах оптимизироваться могут не только затраты, но и другие параметры проекта, включая оптимизацию времени выполнения проекта, минимизацию количества задействованных исполнителей и др.

Например, при минимизации времени выполнения проекта с ограниченным бюджетом целевая функция выглядит следующим образом<sup>51</sup>:

$$L_1 = T_h \rightarrow \min. \quad (3.52)$$

---

<sup>50</sup> Kelley J.E., Walker M.R. Critical Path Planning and Scheduling: An Introduction. Mauchly Associates, Ambler, PA, 1959; Kelley J.E. Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis // Operations Res., 1961. V.9. pp. 296-320.

<sup>51</sup> Катаев А.В., Катаева Т.М., Макарова Е.Л. Управление проектами: математические модели оптимального назначения исполнителей проектных работ // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2016. Т. 16. № 3. С. 294-299.

Еще одним критерием оптимальности может служить количество задействованных в проекте исполнителей. При этом в зависимости от установок менеджера проводится как минимизация, так и максимизация числа участвующих в проекте исполнителей. Формально в модели (3.45) – (3.50) количество назначенных на работы участников можно получить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \max_{j=1..m} (x_{i,j}). \quad (3.53)$$

Использование же выражения (3.53) в качестве целевой функции не позволяет найти оптимальное решение методами линейного программирования, однако можно линеаризовать модель, введя дополнительные переменные и ограничения (см. п.3.3).

При многокритериальной оптимизации можно применить ряд методов, включая:

- ранжирование множества критериев и последовательная оптимизация по каждому из них;
- оптимизация одного критерия, а остальные критерии выступают в роли дополнительных ограничений;
- сведение многих критериев к одному путем введения весовых коэффициентов важности для каждого критерия и нормализации векторного критерия;
- минимизация максимальных отклонений от наилучших значений по всем критериям.

К примеру, модель с минимизацией по двум критериям, в качестве которых выступают стоимость  $c_{ij}$  (матрица  $C$ ) и время выполнения работы  $t_{ij}$  (матрица  $T$ ), можно решить, сведя два критерия к одному суперкритерию  $y_{ij}$ . Для этого требуется значения критериев привести к безразмерному виду (удельные значения) и произвести свертку с учетом важности каждого критерия (взвешенные значения). В итоге получим матрицу ( $Y$ ) суперкритериев  $y_{ij}$ , которые можно получить, например, с помощью аддитивной взвешенной модели по формуле

$$y_{ij} = v_c \times \frac{c_{ij} - \min(C)}{\max(C) - \min(C)} + v_t \times \frac{t_{ij} - \min(T)}{\max(T) - \min(T)}, \quad (3.54)$$

где  $y_{ij}$  – интегральные коэффициенты (суперкритерии);

$v_c$ ,  $v_t$  – коэффициенты важности соответствующих критериев, причем  $v_c + v_t = 1$ .

С учетом (3.54) целевая функция запишется следующим образом:

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} x_{i,j} \rightarrow \min. \quad (3.55)$$

В данном случае при отсутствии ограничений максимальный бюджет или длительность проекта алгоритм поиска оптимального решения сводится к нахождению минимальных  $y_{ij}$  по каждой работе без применения методов линейного программирования. Если же названные ограничения присутствуют, то следует пользоваться другими алгоритмами.

Расширенные постановки задачи могут включать ряд дополнительных условий:

- 1) *доступный период времени*, когда исполнитель готов выполнить работу;
- 2) *запреты назначения* того или иного исполнителя на конкретную работу, выдвигаемые со стороны менеджера проекта;
- 3) *предпочтение выбора* определенного исполнителя для выполнения конкретных работ;
- 4) *«связка» работ* при назначении, когда требуется отдать несколько определенных работ «в одни руки»;
- 5) *невозможность параллельного выполнения работ* исполнителем;
- 6) *ограничения по компетенции и надежности* исполнителей;
- 7) *учет конфликтов* между потенциальными партнерами;
- 8) *учет прежнего опыта сотрудничества* партнеров друг с другом.

Ниже подробней описана сущность перечисленных выше условий и приведены математические формулировки.

### *1. Доступный период времени.*

В ряде случаев исполнители могут начать и закончить работы только в определенные периоды времени, когда у них имеются требуемые для этого ресурсы. Для учета этого ограничения необходима информация от каждого исполнителя по возможным срокам начала  $b_{ij}$  и окончания  $e_{ij}$  работы, т.е. период времени, когда исполнитель готов выполнить работу. Тогда ограничения по каждой  $j$ -й работе имеют вид

$$T_k \geq \sum_{i=1}^n b_{i,j} x_{i,j}, \quad (3.56)$$

$$T_k + \sum_{i=1}^n t_{i,j} x_{i,j} \leq \sum_{i=1}^n e_{i,j} x_{i,j}. \quad (3.57)$$

Если у какого-либо исполнителя таких периодов несколько, тогда рекомендуется добавлять «новых» исполнителей под каждый интервал, что позволит учесть и возможно разные  $t_{i,j}$  и  $c_{i,j}$  для разных периодов времени. Если же конкретный исполнитель не выдвигает ограничений на период времени, тогда следует  $b_{ij}$  задать нулевое значение, а  $e_{ij}$  – заведомо большое значение. Ограничения (3.56) и (3.57) не описывают случай, когда требуется при назначении исполнителя учесть использование в будущем возможных свободных или полных резервов времени у работ<sup>52</sup>.

*2. Запреты назначения.* В случаях, когда исполнитель не претендует на выполнение отдельных работ или есть запрет назначения со стороны менеджера проекта, указывается, что  $x_{i,j} = 0$ . Запреты могут быть поставлены и путем присвоения  $t_{i,j}$  заведомо больших значений (больше  $T$ ). Для уменьшения же размерности запреты (переменные) могут быть просто исключены из модели.

<sup>52</sup> Ограничения для названных случаев приведены в работе: Катаев А.В. Катаева Т.М. Оптимизация длительности выполнения проекта за счет выбора исполнителей работ: математические модели и методические приемы // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2015. №2 (22). С.100-103.

*3. Предпочтение выбора.* В модель прямым образом могут быть добавлены предпочтения выполнения работ  $i$ -м исполнителем  $j$ -й работы, т.е. для отдельных работ можно указать, что  $x_{i,j} = 1$ . Таким способом работа закрепляется сразу за определенным исполнителем. Это требуется в случаях, когда на некоторые работы проекта уже выбран исполнитель или работа уже выполнена, однако требуется провести частичную (фрагментарную) оптимизацию проекта.

*4. «Связка» работ.* Предположим в проекте есть работы, которые требуется отдать «в одни руки». Например, есть две работы «разработка технического задания...» и «контроль результата и тестирование продукта...». Менеджер проекта считает, что обе работы должен выполнять исключительно один исполнитель, а не разные. При этом если одна работа начинается сразу после окончания другой, а связывающее их событие не имеет других дуг, то существует возможность объединения их в сетевой модели в виде одной работы. В противном случае назначения должны быть попарно равны для каждого исполнителя, что может быть отражено в модели системой уравнений следующего вида:

$$x_{i,w} = x_{i,u}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.58)$$

где  $w$  и  $u$  – номера работ, которые должны быть отданы «в одни руки».

*5. Невозможность параллельного выполнения работ исполнителем.* Существует определенная трудность учета в линейной модели случаев, когда одна работа не должна пересекаться по времени с другой, что было отмечено исследователями еще в период осуществления попыток описать классическую задачу теории расписаний – задачу Беллмана-Джонсона о станках<sup>53</sup> в виде модели линейного программирования.

Основная проблема здесь заключается в том, что требуется задать альтернативное ограничение: либо работа А начинается после окончания В, либо В – после А. Один из успешных приемов обработ-

---

<sup>53</sup> Johnson, S.M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. Nav. Res. Log. Quart. 1954, Vol. 1, №1, pp. 61-68.

ки альтернативных условий заключается в следующем<sup>54</sup>: для каждой пары работ А и В вводится целочисленная переменная  $Y_{AB}$ , принимающая значение 1, когда А предшествует В, или 0, когда В предшествует А. Тогда альтернативное условие записывается в виде двух неравенств:

$$\begin{cases} MY_{AB} + (T_B - T_A) \geq t_A, \\ M(1 - Y_{AB}) + (T_A - T_B) \geq t_B, \end{cases} \quad (3.59)$$

где  $t_A$  и  $t_B$  – известные длительности работ А и В;

$T_A$  и  $T_B$  – искомые начала выполнения работ А и В;

$M$  – большое число, константа, заданная таким образом, чтобы обеспечить превращение одного из условий в избыточное ограничение.

Данный прием легко реализуется в модели (3.45) – (3.50) в том случае, когда ограничение накладывается на всех исполнителей, т.е. две или более работ не пересекаются во времени при любом назначении исполнителей:

$$\begin{cases} MY_{AB} + (T_B - T_A) \geq \sum_{i=1}^n t_{i,A} x_{i,A}, \\ M(1 - Y_{AB}) + (T_A - T_B) \geq \sum_{i=1}^n t_{i,B} x_{i,B}. \end{cases} \quad (3.60)$$

Условие же невозможности параллельного выполнения двух работ одним конкретным исполнителем можно задать следующим образом:

$$\begin{cases} M\left(2 - (x_{D,A} + x_{D,B})\right) + MY_{AB} + (T_B - T_A) \geq t_{D,A} x_{D,A}, \\ M\left(2 - (x_{D,A} + x_{D,B})\right) + M(1 - Y_{AB}) + (T_A - T_B) \geq t_{D,B} x_{D,B}, \end{cases} \quad (3.61)$$

где  $D$  – номер исполнителя, выдвигающего условие на не пересечение во времени работ А и В при его назначении на обе работы.

Ограничения вида (3.61) корректны и в случае, когда исполнитель D не назначается на работы А и (или) В.

---

<sup>54</sup> Прием предложен в работе: Manne, A.S. On the job-shop scheduling problem. OperatRes., 1960, 8, №2, pp. 219-223.

*6. Ограничения по компетенции и надежности исполнителей.* В ряде случаев требуется произвести назначения таким образом, чтобы максимизировать минимальную компетенцию среди назначаемой группы исполнителей (см. «задача о назначениях в узких местах» в п.3.2). Другими словами, на практике требуется избежать ситуации, связанной с назначением на выполнение некоторых работ исполнителей с низкими значениями названных показателей.

Одним из способов решения данной проблемы является исключение на этапе формирования математической модели исполнителей с определенным уровнем компетенции, который ниже заданного минимального порогового значения. Другой способ заключается в постепенном увеличении ограничения на минимальную компетенцию. В этом случае после нахождения решения без ограничений на компетентность ищется минимальная компетенция из назначений «исполнитель-работа», после чего устанавливаются определенные запреты (или исключаются соответствующие неизвестные) для всех пар «исполнитель-работа», где компетенции ниже или равны найденной минимальной. После успешного нахождения новых решений о назначениях данную процедуру можно повторять многократно, до получения удовлетворяющего менеджера результата.

*7. Учет конфликтов между потенциальными партнерами.* В ряде случаев, чтобы избежать множества проблем при реализации проекта, требуется не допустить вхождения в одну группу (команду проекта) конфликтующих агентов (например, прямых конкурентов на определенных рынках). Способы задания подобных ограничений приведены п.3.1.

*8. Учет прежнего опыта сотрудничества партнеров друг с другом.* Подбор в команду проекта агентов, которые имели положительный опыт сотрудничества друг с другом, может способствовать эффективному выполнению проекта в целом. К примеру, целевой функцией может выступать количество «связанных пар» партнеров (см. п.3.1).

### 3.5. Модель построения оптимального расписания работ проекта

Одной из основных и наиболее сложных задач оптимизации проекта различными исследователями рассматривается задача RCPSP (Resource-Constrained Project Scheduling Problem) – построение оптимального расписания выполнения работ проекта с учетом отношений предшествования между работами и с учетом необходимых и (или) доступных ресурсов, при котором будет оптимизирована некоторая целевая функция (например, минимизация длительности выполнения проекта). Задача RCPSP является экстремально NP-трудной<sup>55</sup>.

По задаче RCPSP регулярно публикуются интегрированные обзоры наиболее значимых результатов<sup>56</sup>. Для тестирования и сравнения многочисленных алгоритмов решения задачи RCPSP создана библиотека тестовых примеров PSPLIB<sup>57</sup>. Наиболее быстрым на данный момент точным алгоритмом признан алгоритм ветвей и границ Бруке-ра<sup>58</sup>. Среди метаэвристических алгоритмов стоит выделить алгоритм муравьиной колонии для решения задачи RCPSP<sup>59</sup>.

Алгоритмы решения этой задачи используются в известных программных продуктах Spyder Project, Primavera, Microsoft Project, 1С: Управление Строительной Организацией и т.д.

*Постановка задачи RCPSP* выглядит следующим образом:

Дано множество работ  $N = \{1, \dots, n\}$  и  $K$  возобновляемых ресурсов  $k = 1, \dots, K$ . В каждый момент времени  $t$  доступно  $Q_k$  единиц ресурса  $k$ . Заданы длительности выполнения  $p_i \geq 0$  для каждой работы  $i = 1, \dots, n$ . Во время выполнения работы  $i$  требуется  $q_{ik} \leq Q_k$  единиц

---

<sup>55</sup> Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. 222 с.

<sup>56</sup> Kolish R., Padman R. An Integrated Survey of Project Scheduling. 1997.

<sup>57</sup> Kolisch R., Hartmann S. Heuristic Algorithms for Solving the Resource-Constrained Project Scheduling Problem: Classification and Computational Analysis //Manuskripte aus den Instituten f.ur Betriebswirtschaftslehre, 1998, No. 469, Kiel, Germany.

<sup>58</sup> Brucker P., Knust S. Complex scheduling. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 2006.

<sup>59</sup> Merkle D., Middendorf M., Schmeck H. Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. Vol. 6. No. 4. P. 333–346.

ресурса  $k$ . После завершения работы, освобожденные ресурсы в полном объеме могут быть мгновенно назначены на другие работы.

Между некоторыми парами работ заданы ограничения предшествования:  $i \rightarrow j$  означает, что работа  $j$  может начаться не раньше окончания выполнения работы  $i$ .

Проект начинается в момент времени  $t = 0$ . Прерывание выполнения работ запрещены, т.е. нельзя остановить выполнение любой работы и продолжить через определенное время.

Требуется определить моменты времени начала выполнения работ  $S_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , так, чтобы минимизировать время выполнения всего проекта, т.е. минимизировать значение

$$C_{\max} = \max_{i=1, \dots, n} C_i, \quad (3.62)$$

где  $C_i = S_i + p_i$ . При этом должны быть соблюдены следующие ограничения:

1) в каждый момент времени  $t \in [0, C_{\max}]$  должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{i=1}^n q_{ik} \varphi_i(t) \leq Q_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (3.63)$$

где  $\varphi_i(t) = 1$ , если работа  $i$  выполняется в момент времени  $t$  и  $\varphi_i(t) = 0$  – в противном случае. Другими словами, на всем протяжении выполнения работы должны быть в полном объеме необходимые для нее ресурсы;

2) не нарушаются отношения предшествования между работами, т.е.  $S_i + p_i \leq S_j$ , если  $i \rightarrow j$  для  $i, j \in N$ .

В англоязычной литературе  $C_{\max}$  называется *makespan*.

Необходимо заметить, что существует класс задач *RCPSP* с невозобновимыми ресурсами, например финансовые средства, сырье и т.п.

Решение задачи RCPSP представляется в виде набора моментов времени, с которых начинаются выполнения работ  $S = (S_1, \dots, S_n)$ . Допустимым является решение, при котором удовлетворяются все ресурсные ограничения и ограничения предшествования.

Структуру проекта, его работы и взаимосвязь между ними можно представить в виде сетевого графика, в котором в вершинах располагаются работы. Тогда сетевой график представляет собой ориентированный граф  $G = (V, E)$ , где каждой вершине из  $V = \{1, \dots, n\}$  соответствует некоторая работа множества  $N = \{1, \dots, n\}$ , а множество дуг  $E = \{(i, j) | i, j \in V ; i \rightarrow j\}$  соответствует ограничениям предшествования.

Как правило, в модель включают две фиктивные работы 0 и  $n + 1$  с длительностями выполнения  $p_0 = p_n + 1 = 0$  и отношениями предшествования  $0 \rightarrow j \rightarrow n + 1, j = 1, \dots, n, q_{0k} = q_{n+1k} = 0, k = 1, \dots, K$ .

### ***Особенности и расширения задачи RCPSP***

На практике задача RCPSP обладает рядом отличий от математической модели. Далее приведены некоторые возможные отличия на примере практической задачи RPCPS, возникающей в строительстве<sup>60</sup>.

- *Основные типы работ:*

- *работа с фиксированной продолжительностью*, т.е. классический тип работы, важнейшей характеристикой которой является продолжительность ее выполнения;

- *контрольное событие*, т.е. работа с нулевой продолжительностью, представляющая, например, результат предыдущих работ;

- *гамак*, т.е. работа, не имеющая фиксированную продолжительность и выполняющаяся между моментами времени окончания работ-предшественников и началом работ-последователей;

- *Продолжительность.* Задается в днях или часах. На практике редко планирование ведется в меньших единицах времени. Очевидно, что продолжительность может зависеть от интенсивности работы (т.е. количества и качества привлеченных ресурсов);

- *Невозобновимые ресурсы.* Некоторые ограничения на допустимые расписания могут задавать невозобновимые ресурсы, которые необходимы для выполнения работ. Например, материалы, топливо и т.п.;

---

<sup>60</sup> Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. 222 с.

- *Возобновимые ресурсы.* Техника, персонал. Ресурсы могут объединяться в группы, которые выступают неделимым ресурсом. Зачастую у разных ресурсов, задействованных на работе, бывает разный график доступности. Это необходимо учитывать при составлении календарного плана проекта;
- *График работы.* Разные работы могут выполняться с разным графиком (по времени суток, дням недели и т.п.).

- *Ограничение на время выполнения.* Параметр принимает значения «Как можно раньше», «Как можно позже», «Фиксированная дата», «Начало не позже», «Начало не раньше».

Характеристики взаимосвязей между работами также могут отличаться. Обычной является взаимосвязь типа «Окончание-Начало», то есть работа-последователь может начаться не раньше, чем закончится работа-предшественник. Часто на практике требуется учесть связи «Начало-Начало» (когда работа-последователь не может начаться раньше, чем начнется работа-предшественник), «Окончание-Окончание», «Начало-Окончание». Более того, по технологии между окончанием работы-предшественника и началом работы-последователя может быть задана задержка по времени.

Некоторые из перечисленных особенностей могут быть включены в математическую модель RCPSP в качестве дополнительных условий. В этом случае говорят о задаче RCPSP в *расширенной постановке*.

В тех случаях, когда количество возобновимого ресурса  $k$  зависит от времени, вместо константы  $Q_k$  вводится функция от времени  $Q_k(t)$ . Значения такой функции могут задаваться в табличном виде. Например, с 1-го по 10-е марта доступно 3 программиста. С 11-го по 15-е – 2 программиста и т.п.;

Продолжительность работы может зависеть от количества занятых на ней ресурсов. Очевидно, что если на выполнение работы назначить больше исполнителей, то работа может быть выполнена быстрее. Для каждой работы могут быть заданы фиксированные варианты выполнения. Например, «Вариант 1: продолжительность = 4 дня, необходимо 2 автомобиля и 3 промоутера», «Вариант 2: продолжительность = 7 дней, необходимо 0 автомобилей и 6 промоутеров» и

т.д. Задачу RPCSP в такой постановке называют *мультимодальной* и обозначают MRCPSP. В такой постановке сначала требуется определить вариант, по которому будет выполняться работа, и уже затем определять время ее начала с учетом наличия ресурсов.

### *Алгоритм диспетчеризации для задачи RCPSP*

Ниже приведен известный алгоритм List Scheduling (LS), предназначенный для нахождения допустимого расписания выполнения работ проекта:

- 1:  $EL$  – список всех работ без предшественников. Полагаем  $Q_k(\tau) = Q_k$ ,  $\forall \tau, k = 1, \dots, K$ .
- 2: *Цикл*, пока  $EL$  не пустое.
- 3: Выбор работы  $j \in EL$ .
- 4: Если для работы  $j$  предшественники не определены, тогда  $t = 0$ , в противном случае  $t = \max \{S_i + p_i\}$  (максимальный из всех входящих путей).
- 5: *Цикл*, пока существует такой ресурс  $k$ , что  $q_{jk} > Q_k(\tau)$  для некоторого  $\tau \in [t, t+p_j]$ .
- 6: Вычисляем такое минимальное значение  $t_k > t$ , что работа  $j$  может быть начата и выполнена в интервале  $[t_k, t_k + p_j]$ , если рассматривается только ресурс  $k$ .
- 7:  $t = t_k$ .
- 8: *Конец цикла 5.*
- 9: Назначаем выполнение работы  $j$  на интервал  $[S_j, S_j + p_j) = [t, t + p_j]$ .
- 10: Резервируем ресурсы на выполнение работы  $j$ :  $Q_k(\tau) = Q_k(\tau) - q_{jk}, k = 1, \dots, K, \tau \in [t, t + p_j]$ .
- 11: Исключаем работу  $j$  из списка  $EL$ .
- 12: Добавляем в  $EL$  последователей работы  $j$ , для которых все предшественники поставлены в расписание.
- 13: *Конец цикла 2.*

Полученное расписание зависит от выбора работы  $j$  на шаге 3 алгоритма LS. Идея данного алгоритма заключается в том, что работа  $j$  ставится в расписание с наиболее раннего момента времени, при ко-

тором не нарушаются ресурсные ограничения и ограничения предшествования. Трудоемкость алгоритма  $O(n^2K)$  операций.

Алгоритмом LS строятся только активные расписания, причем оптимальное расписание следует искать среди множества активных. Активным же называют такое допустимое решение  $S = (S_1, \dots, S_n)$ , для которого не существует другого допустимого расписания  $S' = (S'_1, \dots, S'_n)$  такого, что  $S'_j \leq S_j, \forall j \in N$ , и хотя бы одно из неравенств строгое.

При поочередной перестановке выбираемых работ на шаге 3 алгоритма LS возможно получить оптимальное расписание. Подобные алгоритмы зачастую называют «конкурсами» по той причине, что работа на шаге 3 может выбираться согласно некоторому «приоритету», конкурсу.

Ключевой составляющей алгоритма LS является правило предпочтения, с помощью которого выбирается требование  $j \in EL$  для постановки в расписание на шаге 3 алгоритма. Существует ряд элементарных эвристических правил предпочтения (правил диспетчеризации), которые основываются на следующей информации:

- длительность работ (например, «выбрать работу с наименьшей длительностью выполнения»);
- отношения предшествования (например, «выбрать работу с наибольшим количеством непосредственных последователей»);
- необходимые ресурсы (например, «выбрать работу с наибольшей потребностью в ресурсах»).

Подбор правил предпочтения в алгоритме LS может помочь найти близкое к оптимальному решение, но не гарантирует этого. На основании данного алгоритма диспетчеризации можно построить точный алгоритм «ветвей и границ». Однако лучший из известных точных алгоритмов Брукера<sup>61</sup> за приемлемое время может решать задачи размерности не больше  $n = 60$ . Более того, даже для частного случая с одним невозобновимым ресурсом  $K = 1$  неизвестны полиномиальные

---

<sup>61</sup> Brucker P., Knust S. Complex scheduling. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 2006.

алгоритмы решения с относительной погрешностью, гарантированно не превосходящей некоторой константы<sup>62</sup>.

## **Выводы**

Коллективом авторов был разработан комплекс моделей и методов формирования партнерской сети как единой проектной команды. Среди наиболее значимых научных результатов проведенного исследования в данной работе нашли подробное описание следующие из них:

1. Разработана оптимизационная модель формирования ядра (группы постоянных участников) динамической партнерской сети, позволяющая минимизировать количество партнеров, входящих в состав предприятия на регулярной основе, а также учесть ряд дополнительных ограничений, таких как:

- «конфликт интересов» или ситуации межличностных конфликтов, имевшие место в прошлой совместной деятельности. Таким образом, в состав участников виртуального предприятия могут быть включены исключительно экономические агенты, не имеющие разногласий, или не являющиеся соперниками в своей основной коммерческой и/или профессиональной деятельности;
- положительный опыт сотрудничества партнеров друг с другом в прошлом.

Практический пример использования данной модели, который наглядно демонстрирует возможность ее эффективного использования, в том числе при автоматизации процедур поддержки принятия управлеченческих решений по формированию долгосрочных виртуальных предприятий для реализации проектов различной направленности и уровня сложности. Следует также обратить внимание, что использование предложенного инструментария требует первоначальной тщательной проработки бизнес-модели виртуального предприятия особенно в части детализации требуемых ключевых компетенций, а также выявлении тех компетенций, которые уже имеются у потенциаль-

---

<sup>62</sup> Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. 222 с.

ных участников динамической партнерской сети. Возможность описания в математической модели взаимосвязей партнеров друг с другом позволяет при формировании ядра учесть предыдущий положительный и отрицательный опыт взаимодействия агентов, что способствует осуществлению на практике быстрого перехода от этапа формирования сети к ее эффективному функционированию и снижению вероятности возникновения конфликтных ситуаций.

2. Проведен аналитический обзор наиболее распространенных и проработанных в теории исследования операций и дискретной математики задач оптимального выбора и назначения исполнителей на выполнения основных работ по проекту, а также методы их решения.

3. Разработана оптимизационная модель целочисленного математического программирования, постановка которой особенно актуальна в условиях необходимости снижения операционных и транзакционных издержек и может быть обусловлена потребностью упростить контроль и повысить управляемость выполнением проекта. Нелинейность целевой функции в данной модели не позволяет найти оптимальное решение точными методами линейного программирования, включая симплекс-метод. В связи с чем авторами данного исследования был разработан пошаговый эвристический алгоритм поиска оптимального решения и численный пример его реализации, что позволяет на практике за приемлемое время найти близкое к оптимальному решение без применения специализированного программного обеспечения.

4. Приведена базовая постановка задачи оптимального выбора и назначения основных исполнителей на выполнение работ по проекту, позволяющая учесть взаимосвязь работ во времени, где в качестве критерия оптимизации выступает стоимость основных работ по проекту. Приведены также другие возможные критерии оптимизации.

Рассмотрены также другие постановки задач с различными целевыми функциями и рядом существенных ограничивающих условий, среди которых подробное содержательное и формальное описание получили следующие:

1) доступный период времени, когда исполнитель готов выполнить работу;

- 2) запреты назначения того или иного исполнителя на конкретную работу, выдвигаемые со стороны менеджера проекта;
  - 3) предпочтение выбора определенного исполнителя для выполнения конкретных работ;
  - 4) «связка» работ при назначении, когда требуется отдать несколько определенных работ «в одни руки»;
  - 5) невозможность параллельного выполнения работ исполнителем;
  - 6) ограничения по компетенции и надежности исполнителей;
  - 7) учет конфликтов между потенциальными партнерами;
  - 8) учет прежнего опыта сотрудничества партнеров друг с другом.
5. Приведена математическая постановка задачи, заключающейся в построении оптимального расписания выполнения работ проекта с учетом отношений предшествования между работами и с учетом необходимых и (или) доступных ресурсов. Дан обзор точных и приближенных методов решения данной задачи, включая алгоритм List Scheduling и др.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Динамическая партнерская сеть как наиболее перспективная и актуальная в нынешних стремительно меняющихся условиях хозяйствования форма рыночного взаимодействия в настоящее время с учетом современных тенденций развития общества эффективно используется при реализации проектной деятельности. Гибкость, присущая данной форме кооперации, проявляется в том числе в способности успешно управлять изменениями, что позволяет значительно повысить эффективность функционирования на выбранном сегменте рынка.

Особенности реализации проектной деятельности в рамках виртуального предприятия во многом определяются его принадлежностью к одной из двух выделенных в данном исследовании групп, сферой хозяйствования, а также особенностями и характером деятельности потенциальных партнеров, деловые связи с которыми являются наиболее значимыми для формирования и развития эффективной операции.

Многие специалисты в области проектного менеджмента также отмечают, что успешность реализации проекта во многом определяется тщательностью и корректностью планирования этой деятельности, а также обоснованностью принимаемых на данном этапе управлеченческих решений. И в этой связи особенно актуальным становится разработка и дальнейшее корректное использование экономико-математических моделей и методов поддержки принятия управлеченческих решений, которые приобретают особую значимость в планировании хозяйственной деятельности динамической сетевой структуры на этапе формирования проектной команды.

В представленной монографии подробно описаны концептуальные основы построения и функционирования сетевых организационных структур как наиболее перспективного способа организации бизнеса, подробно рассмотрены и проанализированы особенности организации и управления динамической сетью партнеров как новейшей формы экономического взаимодействия на рынке, особенности управления проектами в сетевых структурах.

Исследованы теоретико-методологические подходы к организации и реализации проектной деятельности на базе динамической партнерской сети, разработан комплекс моделей и методов поддержки принятия решений при формировании партнерской сети как единой проектной команды. Приведены примеры применения разработанных моделей и методов на практике.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Achrol R.S.* Changes in the theory of interorganizational relations in marketing: Toward a network paradigm // Journal of the Academy of Marketing Science. 1997. Vol. 25. No. 1. P. 56–71.
2. *Brucker P., Knust S.* Complex scheduling. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, 2006.
3. *Fulkerson D.R., Glicksberg I., Gross O.* A production line assignment problem. Tech. Rep. RM-1102, The Rand Corporation, Santa Monica, CA, 1953.
4. *Galliers J.R.* The positive role of conflict in cooperative Multi-Agent Systems// Decentralized Artificial Intelligence / Ed. By Y.Demazeau, J.P. Muller. – Amsterdam: North-Holland, 1990. P.33–46.
5. *Garfinkel R.* An improved algorithm for the bottleneck assignment problem. Oper. Res., 19:1747–1751, 1971.
6. *Grandori A., Soda G.* Inter-firm networks: antecedents, mechanisms and forms // Organization Studies. 1995. Vol. 16. No. 2. P. 183–214.
7. *Gross O.* The bottleneck assignment problem. Tech. Rep. P-1630, The Rand Corporation, Santa Monica, CA, 1959.
8. *Hinterhuber H.H., Levin B.M.* Strategic networks – the organisation of the future // Long Range Planning. 1994. Vol. 27. No. 3. P. 43–53.
9. *Johnson, S.M.* Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. Nav. Res. Log. Quart. 1954, Vol. 1, №1, pp. 61-68.
10. *Kelley J.E.* Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis // Operations Res., 1961.– V.9. – P.296-320.
11. *Kelley J.E., Walker M.R.* Critical Path Planning and Scheduling: An Introduction. Mauchly Associates, Ambler, PA, 1959.
12. *Kolisch R., Hartmann S.* Heuristic Algorithms for Solving the Resource-Constrained Project Scheduling Problem: Classification and Computational Analysis //Manuskripte aus den Instituten f.ur Betriebswirtschaftslehre, 1998, No. 469, Kiel, Germany.
13. *Kolish R., Padman R.* An Integrated Survey of Project Scheduling. 1997.

14. *Manne A.S.* On the job-shop scheduling problem. OperatRes., 1960, 8, №2, pp. 219-223.
15. *Merkle D., Middendorf M., Schmeck H.* Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. Vol. 6. No. 4. P. 333–346.
16. *Miles R. E., Snow C. C.* Causes of failure in network organizations // California Management Review. –1992. – Vol. 34 (4). – P. 53-72.
17. *Miles R.E., Snow C.C.* Fit, failure and the hall of fame: How companies succeed or fail. – New York, 1994.
18. *Möller K., Rajala A.* Business nets: Classification and management mechanisms. (Electronic working paper). Helsinki School of Economics – HSE Print, 2006. URL: <http://epub.lib.aalto.fi/pdf/wp/w407.pdf>.
19. *Möller K., Rajala A.* Rise of strategic nets – New modes of value creation // Industrial Marketing Management. 2007. Vol. 36. No. 7. P. 895–908.
20. *Rosenfeld S.A.* Does cooperation enhance competitiveness? Assessing the impacts of inter-firm collaboration // Research Policy. 1996. Vol. 25. No. 2. P. 247–263.
21. *Snow C.C., Miles R.E., Coleman H.S.* Managing 21st century network organizations; Miles R.E., Snow C.C. Causes of failure in network organizations // California Management Review. 1992. Summer.
22. *Sydow J., Windeler A.* Organizing and evaluating interfirm networks – a structurationist perspective on network management and effectiveness // Organization Science. 1998. Vol. 9. No. 3. P. 265–284.
23. *Sydow J., Windeler A.* Projektnetzwerke: Management von (mehr als) temporären Systemen // Engelhard J., Sinz E.J. (Hrsg.). Kooperation im Wettbewerb. Wiesbaden: Gabler, 1999. S. 211–235.
24. *Бабкин, В. Ф.* Деловые имитационные игры в организации и управлении [Текст] / В. Ф. Бабкин, С. А. Баркалов, А. В. Щепкин. – Воронеж: ВГАСУ, 2001. – 252 с.
25. *Балашов, В. Г.* Механизмы управления организационными проектами [Текст] / В. Г. Балашов, А. Ю. Заложнев, А. А. Иващенко, Д.А. Новиков. – Москва: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.

26. *Бурков, В. Н.* Прикладные задачи теории графов [Текст] / В. Н. Бурков, И. А. Горгидзе, С. Е. Ловецкий. – Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 234 с.
27. *Бурков, В. Н.* Большие системы: моделирование организационных механизмов [Текст] / В. Н. Бурков, Б. Данев, А. К. Еналеев [и др.]. – Москва: Наука, 1989. – 245 с.
28. *Бурков, В. Н.* Как управлять проектами [Текст] / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – Москва: Синтег, 1997. – 188 с.
29. *Васильев, Д. К.* Типовые решения в управлении проектами [Текст] / Д. К. Васильев, А. Ю. Заложнев, Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – Москва: ИПУ РАН, 2003. – 84 с.
30. *Воропаев, В. И.* Управление проектами в России [Текст] / В. И. Воропаев. – Москва: Аланс, 1995. – 225 с.
31. *Гермейер, Ю. Б.* Игры с непротивоположными интересами [Текст] / Ю. Б. Гермейер. – Москва: Наука, 1976. – 327 с.
32. *Горелик, В. А.* Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах [Текст] / В. А. Горелик, А. Ф. Кононенко. – Москва: Радио и связь, 1982. – 144 с.
33. *Губко, М. В.* Теория игр в управлении организационными системами [Текст] / М. В. Губко, Д. А. Новиков. – Москва: Синтег, 2002. – 148 с.
34. *Зингер, И. С.* Экономико-организационные основы создания систем обработки данных [Текст] / И. С. Зингер, А. А. Модин, М. Ф. Коротяев. – Москва: МГУ, 2001.
35. *Зуховицкий, С.И.* Математические методы сетевого планирования [Текст] / С. И. Зуховицкий, И. А. Радчик. – Москва: Наука, 1965.
36. *Иванилов, Ю.П.* Математические модели в экономике [Текст] / Ю. П. Иванилов, А. В. Лотов. – Москва: Наука, 1979. – 304 с.
37. *Капон, Н.* Управление маркетингом [Текст] / Н. Капон, В. Колчанов, Дж. Макхалберт. – Санкт-Петербург: Питер, 2010. – 832 с.
38. *Катаев, А. В.* Виртуальные бизнес-организации [Текст] / А. В. Катаев. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2009. – 120 с.

39. Катаев, А. В. Задача минимизации количества исполнителей работ в проекте: математическая модель и алгоритм решения [Текст] / А. В. Катаев, Т. М. Катаева // Экономика и социум. – 2016. – № 6-3 (25). – С. 77-84.
40. Катаев, А. В. Задача оптимизации количества участников проекта как задача целочисленного линейного программирования [Текст] / А. В. Катаев // Теория и практика современной науки. – 2016. – №8 (14). – С. 181-186.
41. Катаев, А. В. Информационные системы и модели оптимизации распределения заказов в партнерской сети виртуального предприятия [Текст] / А. В. Катаев // Прикладная информатика. – 2007. – №5 (11). – С. 11-22.
42. Катаев, А. В. Исследование и разработка моделей для организации и управления виртуальными предприятиями: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / А. В. Катаев. – Санкт-Петербург, 2008. – 147 с.
43. Катаев, А. В. Межорганизационные сетевые структуры: проблемы организации и управления [Текст] / А. В. Катаев, Т. М. Катаева // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2016. – № 7-1 (19). – С. 141-145.
44. Катаев, А. В. Модели организации деятельности виртуальных предприятий [Текст] / А. В. Катаев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2008. – № 5 (64). – С. 311-316.
45. Катаев, А. В. Оптимизация длительности выполнения проекта за счет выбора исполнителей работ: математические модели и методические приемы [Текст] / А. В. Катаев, Т. М. Катаева // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2015. – № 2 (22). – С.100-103.
46. Катаев, А. В. Оптимизация численного состава команды проекта: экономико-математический инструментарий [Текст] / А. В. Катаев, Т. М. Катаева, Я. В. Коженко // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2016. – № 8-3 (22). – С. 101-104.

47. Катаев, А. В. Оценка показателей деятельности агентов партнерских сетей [Текст] / А. В. Катаев, Т. М. Катаева // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2015. – № 1 (21). – С. 37-39.
48. Катаев, А. В. Управление проектами: математические модели оптимального назначения исполнителей проектных работ [Текст] / А. В. Катаев, Т. М. Катаева, Е. Л. Макарова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2016. – Т.16, № 3. – С. 294-299.
49. Коженко, Я. В. Условия и направления формирования государственной политики по развитию государственно-частного партнерства в Российской Федерации [Текст] / Я. В. Коженко // Аграрное и земельное право. – 2016. – № 8 (140). – С. 134-137.
50. Коженко, Я. В. Современные тренды инновационного развития экономики: коллективная монография [Текст] / Я. В. Коженко, А. В. Катаев, Т. М. Катаева, Н. В. Лихолетова, Е. Л. Макарова, Л. В. Шаронина; под ред. Я.В. Коженко. – Уфа: «ОМЕГА САЙНС», 2016. – 109 с.
51. Котлер, Ф. Основы маркетинга [Текст] / Ф. Котлер, Г. Армстронг, В. Вонг, Дж. Сондерс. – Москва: Вильямс, 2012. – 752 с.
52. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент [Текст]: экспресс-курс / Ф. Котлер, К. Л. Келлер. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 480 с.
53. Кузнецов, Ю. В. Развитие подходов к проектированию организационных структур управления [Текст] / Ю. В. Кузнецов, Е. В. Мелякова // Terra Economicus. – 2013. Том 2. – №3. – С. 40-46.
54. Кузнецов, Ю. В. Формирование и развитие виртуальной организации [Текст] / Ю. В. Кузнецов, Е. В. Мелякова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2015 – №4. – С. 248-256.
55. Лазарев, А. А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы [Текст] / А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров. – Москва: МГУ, 2011. – 222 с.
56. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах [Текст] / О. И. Ларичев. – Москва: Логос, 2003. – 392 с.

57. *Литвак, Б. Г.* Экспертные оценки и принятие решений [Текст] / Б. Г. Литвак. – Москва: Патент, 1996. – 271 с.
58. *Лотов, А. В.* Введение в экономико-математическое моделирование [Текст] / А. В. Лотов. – Москва: Наука, 1984. – 391 с.
59. *Маленков, Ю. А.* Современный менеджмент [Текст] / Ю. А. Маленков. – Москва: Изд-во ЗАО «Экономика», 2010. – 439 с.
60. Методология исследования сетевых форм организации бизнеса [Текст]: коллективная монография / М. А. Бек, Н. Н. Бек, Е. В. Бузулукова и др.; под науч. ред. М. Ю. Шерешевой. – Москва: НИУ «Высшая школа экономики», 2014. – 590 с.
61. *Микони, С. В.* Теория и практика рационального выбора [Текст] / С. В. Микони. – Москва: Маршрут, 2004. – 463с.
62. *Мулен, Э.* Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели [Текст] / Э. Мулен. – Москва: Мир, 1991. – 464 с.
63. *Новиков, Д. А.* Обобщенные решения задач стимулирования в активных системах [Текст] / Д. А. Новиков. – Москва: ИПУ РАН, 1998.
64. *Новиков, Д. А.* Сетевые структуры и организационные системы [Текст] / Д. А. Новиков. – Москва: ИПУ РАН, 2003. – 102 с.
65. *Новиков, Д. А.* Управление проектами: организационные механизмы [Текст] / Д. А. Новиков. – Москва: ПМСОФТ, 2007. – 140 с.
66. *Новиков, Д. А.* Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах [Текст] / Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – Москва: Апостроф, 2000.
67. Современные тренды инновационного развития экономики [Текст]: коллективная монография / Я.В. Коженко, А.В. Катаев, Т.М. Катаева, Н.В. Лихолетова, Е.Л. Макарова, Л.В. Шаронина; под ред. Я.В. Коженко. – Уфа: «ОМЕГА САЙНС», 2016. – 109 с.
68. Теория систем и системный анализ в управлении организациями [Текст]: справочник / В. А. Баринов, Л. С. Болотова, В. Н. Волкова и др.; под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – Москва: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 848 с.

69. Управление проектами. Справочник для профессионалов [Текст] / Под ред. А. В. Цветкова, В. Д. Шапиро. – Москва: Омега-Л, 2010.
70. Черняк, Л. Модель процесса подготовки рукописи в изда-  
тельстве / Л. Черняк, Н. Сердечкина, А. Кожухаров, Т. Патрикеева //  
Алгоритмы и модели управления в технических и организационных  
системах. – 1976.
71. Шерешева, М. Ю. Межорганизационные сети в системе  
форм функционирования современных отраслевых рынков: диссера-  
ция на соискание ученой степени доктора экономических наук /  
М. Ю. Шерешева. – Москва, 2006. – 422 с.
72. Шерешева, М. Ю. Формы сетевого взаимодействия ком-  
паний [Текст] / М. Ю. Шерешева. – Москва: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2010.
73. Щепкин, А. В. Механизмы внутрифирменного управления  
[Текст] / А. В. Щепкин. – Москва: ИПУ РАН, 2001. – 80 с.

Научное издание

**Катаев Алексей Владимирович  
Катаева Татьяна Михайловна**

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ  
НА БАЗЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЕТИ ПАРТНЕРОВ**

Монография

Ответственный за выпуск *Катаева Т.М.*

Редактор *Надточий З.И.*

Корректор *Надточий З.И.*

Компьютерная верстка *Катаев А.В., Катаева Т.М.*

Подписано к печати 14.06.2017

Заказ № Тираж экз. 50

Формат 60x84 1/16. Усл.-п.л. – 7,8. Уч.-изд. л. – 7,6

---

Издательство Южного федерального университета  
344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Ставки, 200/1.  
Тел (863)2478051.

Отпечатано в Отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной  
продукции  
ИПК КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.  
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1.  
Тел. (8634)371717.