УДК 004.94+519.87

На правах рукописи

ЕРШОВ ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ

МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва
2014

Работа выполнена на кафедре «Вычислительная математика и программирование» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Научный руководитель:	**Скородумов Станислав Владимирович** кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Научный консультант:	**Нефёдов Виктор Николаевич** кандидат физико-математических наук, доцент
Официальные оппоненты:	**Кетова Каролина Вячеславовна**, доктор физико-математических наук, заведующая кафедрой «Математическое моделирование процессов и технологий» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова; **Егоров Александр Фёдорович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в химической технологии» Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева
Ведущая организация:	ФГБУН «Институт проблем информатики Российской академии наук» (ИПИ РАН)

Защита диссертации состоится «24» октября 2014 года в 10 ч. 00 мин. на заседании Диссертационного совета Д 212.125.04 при ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАИ, а также скачать текст рукописи по ссылке: http://goo.gl/TDM8SG.

Автореферат разослан «   »   2014   г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 212.125.04
кандидат физико-математических наук   Н.С. Северина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа посвящена развитию математического аппарата – моделей, алгоритмов и программного обеспечения (ПО), – образующего основу для построения системы поддержки принятия решений при стратегическом управлении организацией.

Актуальность работы. Предложенные ранее подходы к моделированию стратегии организации с целью разработки алгоритмов принятия управленческих решений делятся на две группы. Первая группа подходов рассматривает стратегию как множество решений, оказывающих определяющее воздействие на деятельность организации и влекущих долгосрочные последствия. Задача определения множества возможных стратегических решений была решена чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнером. Он предложил декомпозировать стратегию организации на ряд подстратегий и определил множество альтернативных решений в рамках каждой из них. Совокупность, в которую входит по одному решению из каждой подстратегии, была названа *комплексной стратегией* организации.

Выбор комплексной стратегии предполагает выбор единственной альтернативы из каждой подстратегии. Алгоритмы выбора наиболее эффективных стратегических решений были разработаны на базе метода анализа иерархий (Т. Саати, Д.С. Шмерлинг, В. Викрамашингхе, М. Аниссех), метода анализа среды функционирования (Р.Ф. Саен), методов дискретной оптимизации (В.С. Малышев, М.Н. Кондратьева). Данные алгоритмы предполагают оценивание решений по ряду критериев независимо друг от друга, то есть без учета их сочетаемости. Однако анализ практики управления показывает, что часто стратегия оказывается нереализованной именно ввиду недостаточного внимания ее согласованности. Таким образом, возникает необходимость разработки алгоритма выбора комплексной стратегии, учитывающего сочетаемость отдельных стратегических решений.

Вторая группа подходов к моделированию стратегии рассматривает ее как систему взаимосвязанных целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации. Стратегию, понимаемую в данном смысле, назовем *стратегией развития* организации. Математические методы здесь были разработаны (приспособлены) для решения следующих задач:

1) определение множества целей (Х. Хуанг, М. Лаи – метод анализа иерархий; В.М. Глушков, Ю.Я. Самохвалов, А.Н. Буточнов – метод прогнозного графа);

2) выбор показателей, служащих для измерения уровней достижения целей (Д. Карлуччи – метод анализа сетей; К. Брауэр – корреляционный анализ);

3) оценивание коэффициентов причинно-следственных связей между целями (Дж. Джассби – метод DEMATEL; П. Сувигнджо, У.С. Бититци, А.С. Кэрри – метод анализа иерархий; Р. Родригез, Дж. Алфаро – метод главных компонент);

4) прогнозирование уровней достижения целей (Ф. Барнабе, А.С. Акопова, Х. Аккерман, К. Орсчот, К. Уорен – системно-динамическое моделирование);

5) оптимизация распределения ресурсов (А. Амиртеимури, М.М. Табар – метод анализа среды функционирования; А.И. Кибзун, Ю.С. Кан, А.В. Наумов – стохастическое программирование; К.В. Кетова – теория оптимального управления; П.С. Баркалов, В.Н. Бурков, Д.А. Новиков – теория активных систем; М.Х. Прилуцкий – многоиндексные задачи);

6) оценивание эффективности исполнения стратегии (М. Пуннииямурси, Р. Мурали – теория предпочтений; М. Эль-Баз – нечеткий метод анализа иерархий).

Базой для большинства работ, посвященных стратегии развития организации, является концепция сбалансированной системы показателей (ССП, англ. *Balanced Scorecard*, BSC), предложенная Р. Нортоном и Д. Капланом. На ее основе М. Хелл, С. Видачич и З. Гарача предложили модель стратегии развития (МСР), которая служит для решения сразу трех задач: оптимизации распределения ресурсов, прогнозирования уровней достижения целей, оценивания эффективности стратегии развития. Опыт использования МСР показал наличие проблем, связанных с определением значений параметров модели. Решение этих проблем представляется актуальным, так как позволяет получить инструмент стратегического управления, лучше приспособленный для практического применения, чем исходная модель.

Для того чтобы модели и алгоритмы стратегического управления можно было использовать на практике, они реализуются в составе систем поддержки принятия решений (СППР). Информационным системам данного класса посвящены работы А.А. Зацаринного, А.В. Ильина, И.А. Кирикова, А.В. Колесникова (ИПИ РАН); Г.Н. Калянова, А.Д. Цвиркуна (ИПУ РАН); А.Б. Петровского (ИСА РАН); С.М. Авдошина, Д.В. Исаева (НИУ ВШЭ) и др. Актуальность разработки и использования СППР при стратегическом управлении организацией обуславливается повышенной ответственностью, а также трудностью принятия стратегических решений на основе мысленной экстраполяции прошлого опыта ЛПР на текущую ситуацию.

Целью работы является разработка моделей, алгоритмов и ПО для повышения эффективности принятия решений при стратегическом управлении организацией. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) формализовать модель комплексной стратегии организации; поставить задачу выбора оптимальной комплексной стратегии организации;

2) формализовать модель стратегии развития организации;

3) разработать алгоритм, позволяющий решить задачу выбора оптимальной комплексной стратегии организации;

4) предложить подходы к оцениванию значений параметров модели стратегии развития организации; разработать методы оптимизации распределения ресурсов, учитывающие характер получаемых оценок;

5) разработать комплекс программ, реализующих предложенные модели и алгоритмы и продемонстрировать использование ПО на практических примерах.

Объектом исследования является стратегия организации как множество согласованных решений, оказывающих определяющее воздействие на ее деятельность и влекущих долгосрочные последствия (комплексная стратегия организации), а также, – как система взаимосвязанных целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации (стратегия развития организации).

Предметом исследования являются модели, алгоритмы и программное обеспечение СППР при стратегическом управлении организацией.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы математического моделирования, теории оптимизации, теории принятия решений, экспертного оценивания. Предложенные в работе алгоритмы реализованы с применением подходов объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна. Разработан метод выбора комплексной стратегии организации, отличающийся от методов, предложенных ранее, учетом сочетаемости отдельных стратегических решений. Для решения задачи дискретной векторной оптимизации, возникающей в процессе выбора комплексной стратегии, разработана вычислительная процедура, использующая оригинальный способ ветвлений и отсечений. Модель стратегии развития (МСР) представлена в двух вариантах, что позволило расширить границы ее применимости как инструмента управления. В *стохастической* МСР значения параметров модели предложено считать случайными величинами и использовать трехточечные и двухточечные экспертные оценки для определения характеристик законов распределения данных величин. В *интервальной* МСР параметры считаются неопределенными величинами, принадлежащими множествам, границы которых задаются двухточечными экспертными оценками. Для интервальной модели разработан эффективный численный алгоритм оптимизации распределения ресурсов, основанный на методе частиц в стае.

Практическая значимость. С помощью разработанных и реализованных в виде специализированного прикладного ПО моделей и алгоритмов решены задачи выбора оптимальной комплексной стратегии конструкторского бюро (КБ) и телекоммуникационной компании, а также задачи оптимизации распределения ресурсов КБ, компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики, и факультета университета. Получены свидетельства о государственной регистрации программ №10-297 (21.12.2010) и №12-416 (25.12.2012).

Достоверность результатов обеспечивается корректным использованием исходных данных, строгостью постановок и доказательств утверждений, апробацией разработанных моделей и алгоритмов при решении практических задач.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Научном семинаре лаборатории «Методов автоматизации управления организационными системами» ИПУ РАН (2014); Научном семинаре кафедры «Математическая кибернетика» МАИ (2014); Научном семинаре «Проблемы моделирования развития производственных систем» ЦЭМИ РАН (2014), Научно-техническом форуме «Молодежь и будущее авиации и космонавтики» (2013, работа отмечена дипломом Федерального космического агентства), Всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий» (2010–2014), Научной конференции «Системный анализ в экономике» (2010, 2012), Всероссийской конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (2010, получен диплом за лучший доклад).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в журналах, входящих в Перечень ВАК [1–5], в других изданиях [6–9], а также в сборниках трудов конференций [9–23]. Всего по теме диссертации опубликовано 23 работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы (139 наименований), списка сокращений, перечня условных обозначений и шести приложений. Работа изложена на 170 страницах, содержит 38 рисунков и 32 таблицы.

Работа соответствует следующим **областям исследования** специальности 05.13.18: разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений; разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента. Также работа соответствует областям специальности 05.13.01: формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем; методы получения, анализа и обработки экспертной информации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цели, задачи и методические основы исследования, определена научная и практическая значимость работы, описана ее структура.

В первой главе приведен обзор моделей, алгоритмов и программного обеспечения для стратегического управления организацией; формализованы модели комплексной стратегии и стратегии развития организации.

В первом разделе предложена математическая *модель комплексной стратегии организации*, поставлена задача выбора оптимальной комплексной стратегии.

Пусть комплексная стратегия охватывает h подстратегий. В рамках i-й ($i = \overline{1,h}$) подстратегии выделяется m_i альтернативных стратегических решений $D_i \triangleq \{d_{i1}, d_{i2}, \ldots, d_{im_i}\}$. Введенная таким образом стратегическая иерархия представлена на рис. 1.

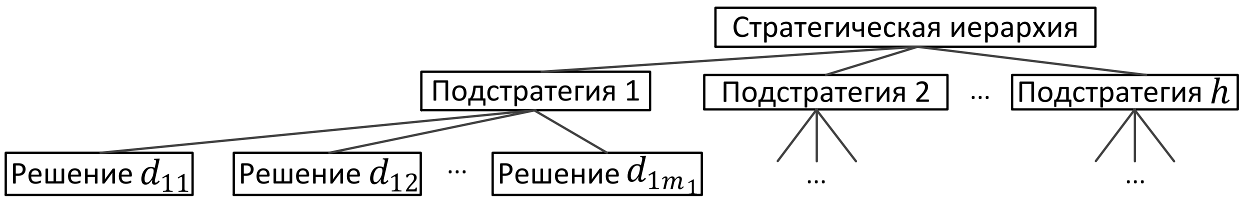

Рис. 1. Стратегическая иерархия

Кортеж $S_\text{C} \triangleq (d_{1j_1}, d_{2j_2}, \ldots, d_{hj_h}) \in \mathbb{S} \triangleq D_1 \times D_2 \times \ldots \times D_h$ назовем *комплексной стратегией* организации.

Предлагается следующая постановка задачи выбора оптимальной комплексной стратегии. Пусть каждое решение d_{ij} может быть оценено экспертами по ряду частных критериев $f_q(\cdot)$ ($q = \overline{1,t}$, где t – количество критериев) независимо от других решений. С использованием *метода анализа иерархий* (МАИ) решениям присваиваются приоритеты $w_{ij} \triangleq \sum_{q=1}^{t} \alpha_{iq} f_q(d_{ij})$, где α_{iq} – вес q-го частного критерия относительно i-й подстратегии; $f_q(d_{ij})$ – оценка решения d_{ij} по q-му частному критерию. Веса и оценки получаются с использованием процедуры парных сравнений МАИ. Без ограничения общности далее считается, что для любого индекса $i = \overline{1,h}$ выполняется условие: если $j_1 > j_2$, то $w_{ij_1} \le w_{ij_2}$.

Обозначим множество всех возможных решений $D \triangleq \bigcup_{i=1}^{h} D_i$. Пусть $\mathbb{E} = \{E_1, E_2, \ldots, E_{|\mathbb{E}|}\} \subseteq 2^D$ – множество сочетаний решений, присутствие которых в выбираемой стратегии по мнению ЛПР нежелательно (2^D – множество подмножеств D, $|\cdot|$ – мощность множества). Требовать от ЛПР прямого указания всех элементов множества $\mathbb{E}$ нецелесообразно. Для этого ему придется рассмотреть все возможные комбинации стратегических решений, количество которых, как правило, очень велико. Тем не менее, можно получить частичную информацию об элементах множества $\mathbb{E}$, предъявив ЛПР конкретную стратегию S_C и предложив указать нежелательные сочетания решений, которые принадлежат данной стратегии.

Определим вектор-функцию $\vec{F}(S_\text{С}) \triangleq (|\mathbb{E} \cap 2^{S_\text{С}}|, \widetilde{w}_{\max}(S_\text{С}))$, где функция $\widetilde{w}_{\max}(S_\text{С}) \triangleq \max_{d_{ij} \in S_\text{С}} \widetilde{w}_{ij}$, а $\widetilde{w}_{ij} \triangleq \frac{\max_{p=\overline{1,m_i}} w_{ip}}{w_{ij}}$ – анти-приоритет решения d_{ij}, который показывает, во сколько раз решение d_{ij} хуже наилучшего решения в i-й подстратегии. Первый компонент вектор-функции $\vec{F}(S_\text{С})$ равен количеству нежелательных сочетаний решений, принадлежащих $S_\text{С}$, а второй компонент – максимальному среди анти-приоритетов формирующих $S_\text{С}$ решений. Стратегия $S_\text{С}$ тем лучше, чем меньшие значения принимают компоненты критерия $\vec{F}(S_\text{С})$.

Обозначим $\vec{F}^*$ векторную оценку, которую ЛПР выделит как наиболее предпочтительную при предъявлении ему множества оценок стратегий, Парето-недоминируемых при минимизации $\vec{F}(S_\text{С})$ на множестве $\mathbb{S}$. Стратегию $S_\text{С}^*$, на которой реализуется оценка $\vec{F}^*$, назовем *оптимальной*.

<u>Задача выбора комплексной стратегии</u> состоит в том, чтобы выбрать из множества $\mathbb{S}$ оптимальную стратегию $S_\text{С}^*$ при условии, что взаимодействие с ЛПР ограничено двумя возможными действиями:

1) предложить ЛПР оценить согласованность стратегии $S_\text{С}$, указав элементы множества $2^{S_\text{С}} \cap \mathbb{E}$.

2) предложить ЛПР выбрать наиболее предпочтительный вектор среди заданного множества векторов $\mathbb{F}$ как множества оценок стратегий по критерию $\vec{F}(S_\text{С})$.

Во втором разделе первой главы формализована *модель стратегии развития* (МСР) организации, предложенная М. Хеллом, С. Видачичем и З. Гарача (2009), – ее посылки представлены в виде набора определений и допущений, что позволило выявить основные достоинства и недостатки модели. В начале раздела рассмотрена концепция сбалансированной системы показателей (ССП) и приведен обзор развивающих ее работ. В рамках ССП стратегия понимается как система целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации. Одним из основных понятий ССП является *цель* – измеримый желаемый результат деятельности организации. Измеримость цели предполагает, что ей в соответствие поставлен количественный показатель. Определим вектор *уровней достижения целей* $\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ (n – количество целей организации) как вектор, компоненты которого вычисляются по формуле:

$$x_j \triangleq \frac{I_j(T) - I_j(0)}{I_j^*(T) - I_j(0)},$$

где $I_j(0)$ – текущее значение соответствующего j-й цели показателя; $I_j(T)$ – фактическое значение показателя, в момент времени T, равный периоду планирования; $I_j^*(T)$ – желаемое значение показателя. В текущий момент времени значения $\{I_j(T)\}$ не известны, поэтому возникает *задача прогнозирования уровней достижения целей*. Решить эту задачу позволяет модель стратегии развития (МСР).

Согласно МСР цели организации делятся на *основные цели* (ОЦ) и *промежуточные цели* (ПЦ). Достижение ОЦ ведет к достижению желаемого состояния организации, достижение же ПЦ ведет к достижению ОЦ и определяется исполнением стратегических действий. Связи между целями задаются *картой стратегии*.

Карта стратегии (рис. 2) представляет собой слабо связный ориентированный ациклический нагруженный граф $\mathcal{G} \triangleq (N, K, \{k_{ij}\})$, где N – множество вершин графа, соответствующих стратегическим целям организации; K – множество дуг графа, определяющих взаимное влияние достижения целей (имеется ввиду, что, если из i-й вершины ведет дуга в j-ю вершину, то достижение i-й цели *необходимо* для достижения j-й цели; i-я цель является *подчиненной* по отношению к j-й цели); $\{k_{ij}\}$ – множество весов дуг (*коэффициентов причинно-следственных связей*).

Если некоторая ОЦ не относится к сфере деятельности организации, для которой определяются действия, то такая цель называется *внешней*. Без ограничения общности принимается, что первые m целей – основные, и первые l основных целей *не* являются внешними.

Карта стратегии должна удовлетворять следующим условиям:

1) если вершина $i \in \{m+1, \dots, n\}$, то существует дуга $(i, j) \in K$;

2) если вершина $j \in \{l+1, \dots, m\}$, то не существует дуги $(i, j) \in K$;

3) если вершина $j \in \{1, \dots, l\}$, то существует дуга $(i, j) \in K$.

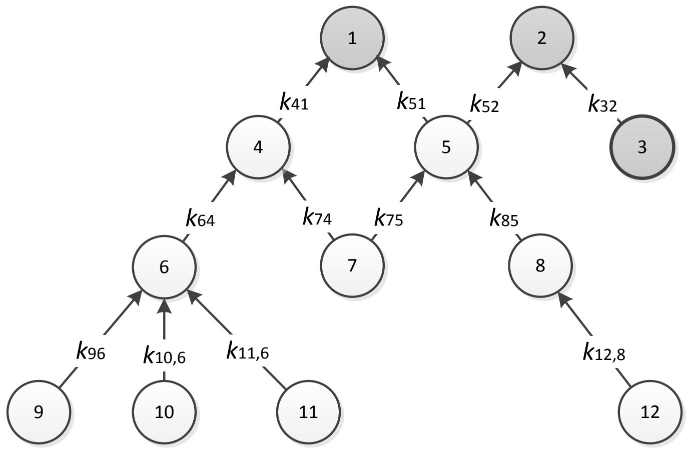

Рис. 2. Пример карты стратегии (n=12, m=3, l=2)

Смысл коэффициентов $\{k_{ij}\}$ заключается в том, что уровень достижения j-й цели *ограничивается* взвешенной с данными коэффициентами совокупностью уровней достижения подчиненных ей целей:

$$x_j \leq \sum_{\tilde{\imath}=1}^{n_j} \tilde{k}_{\tilde{\imath}j} x_i\,,\ j = \overline{1, n},$$

где $n_j \triangleq |N_j|$; N_j – множество индексов целей, подчиненных j-й цели; $\tilde{k}_{\tilde{\imath}j} \triangleq k_{ij}$; $\tilde{\imath}$ – локальный номер i-й цели относительно j-й цели.

Для достижения поставленных целей выделяется s видов ресурсов, и вектор $\vec{R} = (R_1, R_2, \dots, R_s)$ показывает их доступные объемы. МСР предполагает, что:

1) каждой ПЦ соответствует свое единственное действие, исполнение которого направлено на достижение данной цели;

2) определено множество оценок затрат r_{ij} $(i = \overline{1, s}, j = \overline{1, n+1})$, где $r_{i,j \in \{m+1,\dots,n\}}$ показывает, какое количество i-го вида ресурса необходимо вложить в исполнение действия, соответствующего j-й цели, чтобы уровень достижения этой цели мог стать равным 100%; $r_{i,j \leq m} = 0$; $r_{i,n+1} = 1$.

Распределение ресурсов между стратегическими действиями задается матрицей $U = (u_{ij})_{s \times (n+1)}$, элемент $u_{i,j \in \{m+1,\dots,n\}}$ которой показывает долю i-го ресурса, вкладываемую в исполнение действия, соответствующей j-й цели; элемент $u_{i,n+1}$ показывает неизрасходованную долю i-го ресурса; элемент $u_{ij} = 0$, если $r_{ij} = 0$.

Множество допустимых распределений ресурсов $\mathbb{U}$ представляет собой множество матриц размерности $s \times (n+1)$, удовлетворяющих условиям:

$$\begin{cases} 0 \le u_{ij}, & i = \overline{1,s}, j = \overline{1,n+1}, \\ \sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1, & i = \overline{1,s}, \\ u_{ij} = 0, & \text{если } r_{ij} = 0. \end{cases} \tag{1}$$

При заданном распределении ресурсов МСР позволяет получить прогнозы уровней достижения всех целей организации, кроме внешних, – для них прогнозируемые уровни достижения x_j^{ext} $(j = \overline{l+1,m})$ задаются экзогенно.

Стратегией развития организации назовем тройку $S_{\text{D}} \triangleq (\mathcal{G}, \{r_{ij}\}, \{x_j^{\text{ext}}\})$. Затраты $\{r_{ij}\}$, коэффициенты причинно-следственных связей $\{k_{ij}\}$ и уровни достижения внешних целей $\{x_j^{\text{ext}}\}$ будем называть *параметрами* МСР.

Прогнозируемый уровень достижения j-й цели при заданной стратегии S_{D}, векторе доступных объемов ресурсов $\vec{R}$ и их распределении U равен оптимальному значению x_j^* в задаче $\sum_{j=1}^{n} x_j \to \max_{\vec{x}}$ при ограничениях:

$$\begin{cases} 0 \le x_j \le 1, & j = \overline{1,n}, \\ x_j = x_j^{\text{ext}}, & j = \overline{l+1,m}, \\ x_j r_{ij} \le u_{ij} R_i, & i = \overline{1,s},\ j = \overline{m+1,n}, \\ x_j \le \sum_{\tilde{\iota}=1}^{n_j} \tilde{k}_{\tilde{\iota}j} x_i\,, & j = \overline{1,n}. \end{cases} \tag{2}$$

Прогнозируемый результат исполнения стратегии S_{D} при заданных $\vec{R}$ и U вычисляется как показатель

$$I^* \triangleq \sum_{j=1}^{m} x_j^* w_j, \tag{3}$$

где $\vec{w} = (w_1, \dots, w_m)$ – вектор весовых коэффициентов основных целей $(\sum_{j=1}^{m} w_j = 1, w_j > 0)$, x_j^* – прогнозируемый уровень достижения j-й цели.

Распределение ресурсов U^* считается *оптимальным*, если при данном распределении достигается максимальный прогнозируемый результат исполнения стратегии. Найти U^* можно, решив задачу $\sum_{j=1}^{m} x_j w_j \to \max_{\vec{x},U}$ при ограничениях (1), (2). Чем больше прогнозируемый результат исполнения стратегии при распределении ресурсов U^*, тем выше *эффективность* разработанной стратегии развития.

Достоинством МСР является возможность решить с ее помощью сразу три задачи стратегического управления, а также универсальность. Тем не менее, недостатком, ограничивающим практическое применение этой модели, является то, что ее параметры должны быть заданы *точно*. Ввиду неопределенности среды в долгосрочной перспективе и новизны ситуации принятия решения точные оценки параметров нельзя считать достоверными, а результаты моделирования – надежными. Кроме того, в исходной МСР приняты следующие искусственные допущения:

1) $k_{ij} = 1/n_j$ $(j = \overline{1,n}, i \in N_j)$, что означает одинаковое влияние достижения подчиненных целей на достижение родительской цели.

2) $x_j^{\text{ext}} = 1$ $(j = \overline{l+1,m})$, то есть считается, что прогнозируемые уровни достижения внешних целей равны 100%.

Снижение прогнозируемых уровней достижения внешних целей снижает прогнозируемый результат исполнения стратегии. В работе приведен пример стратегии S_{D}, а также векторов $\vec{R}$ и $\vec{w}$, при которых изменяется и оптимальное распределение ресурсов. Достаточное условие независимости оптимального распределения ресурсов от уровней достижения внешних целей дает следующее утверждение:

Утверждение 1. *Оптимальное распределение ресурсов не зависит от значения x_i^{ext}, если ни один путь из i-й вершины карты стратегии не проходит через j-ю вершину такую, что существует индекс $p \in \{1, \dots, s\}$, для которого $r_{pj} > 0$.*

Таким образом, во втором разделе первой главы были выявлены направления совершенствования исходной модели стратегии развития. В третьем разделе приведен обзор программного обеспечения для стратегического управления организацией. В конце главы поставлены задачи исследования, связанные с конструированием алгоритма выбора оптимальной комплексной стратегии, устранением указанных недостатков МСР, а также разработкой комплекса программ, реализующих полученные модели и алгоритмы.

Вторая глава посвящена разработке моделей и алгоритмов для стратегического управления организацией.

Вначале предложен *алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии организации*. Алгоритм предполагает пошаговое получение от ЛПР информации об элементах множества $\mathbb{E}$. Пусть к k-му шагу от ЛПР была получена информация, что множество $\mathbb{E}$ содержит элементы $E_1, \dots, E_{l_k}$ $(l_k \le |\mathbb{E}|)$. Генерируется множество стратегий $\mathbb{S}_k^*$ такое, что $\vec{F}^k(\mathbb{S}_k^*) = \vec{F}^k(\mathbb{S}_k^{\mathrm{P}})$, где $\vec{F}^k(\mathbb{X}) \triangleq \{\vec{F}^k(S_{\mathrm{C}}) | \, S_{\mathrm{C}} \in \mathbb{X}\}$ – множество векторных оценок $\vec{F}^k(S_{\mathrm{C}}) \triangleq (|\mathbb{E}_k \cap 2^{S_{\mathrm{C}}}|, \widetilde{w}_{\max}(S_{\mathrm{C}}))$ стратегий $S_{\mathrm{C}} \in \mathbb{X}$; $\mathbb{E}_k \triangleq \{E_1, \dots E_{l_k}\}$; $\mathbb{S}_k^{\mathrm{P}}$ – множество Парето-недоминируемых на $\mathbb{S}$ стратегий при минимизации вектор-функции $\vec{F}^k(S_{\mathrm{C}})$. ЛПР предъявляются соответствующие полученным стратегиям векторные оценки, в ответ ЛПР указывает наиболее предпочтительную из них, после чего система выдает ему стратегию $S_{\mathrm{C}_k}^*$, соответствующую данной оценке. Далее ЛПР выделяет новые нежелательные сочетания решений $E_{l_k+1}, \dots, E_{l_{k+1}}$, являющиеся подмножествами $S_{\mathrm{C}_k}^*$. Если таковые отсутствуют, то принимается $S_{\mathrm{C}}^* \coloneqq S_{\mathrm{C}_k}^*$ и исполнение алгоритма завершается, если же присутствуют, то принимается $k \coloneqq k + 1$, и описанные шаги повторяются.

Доказано, что стратегия S_{C}^*, получаемая с использованием данного алгоритма, оптимальна. Достоинством алгоритма является то, что он позволяет выбрать оптимальную стратегию на основе неполной информации о множестве нежелательных сочетаний решений $\mathbb{E}$, которое может содержать большое число элементов.

Построение множества $\mathbb{S}_k^*$ связано с необходимостью перебора стратегий с целью анализа их Парето-оптимальности. В работе доказано утверждение о монотонности критерия, позволяющее организовать перебор с отсечениями (метод ветвей и границ).

Утверждение 2. *Если множество $\mathbb{E}_k \subseteq \mathbb{E}$, кортеж $K_1 = (d_{1j_1}, \dots, d_{qj_q})$, кортеж $K_2 = K_1 \oplus d_{q+1, j_{q+1}}$, индекс $j_i \in \{1, \dots, m_i\}$, и $q < h$, то выполняется поэлементное неравенство $\vec{F}^k(K_1) \le \vec{F}^k(K_2)$. Знак $\oplus$ здесь означает конкатенацию.*

Предложен следующий алгоритм построения множества $\mathbb{S}_k^*$.

Алгоритм. Построение множества стратегий $\mathbb{S}_k^*$ такого, что $\vec{F}^k(\mathbb{S}_k^*) = \vec{F}^k(\mathbb{S}_k^{\mathrm{P}})$, где

$\mathbb{S}_k^{\mathrm{P}}$ – множество стратегий, Парето-недоминируемых на $\mathbb{S}$ при минимизации $\vec{F}^k(S_{\mathrm{C}})$

Вход: $\{D_i\}$ – множества альтернативных решений; $\{\widetilde{w}_{ij}\}$ – анти-приоритеты решений; $\mathbb{E}_k$ – множество нежелательных сочетаний решений; $\mathbb{S}_{k-1}^*$ – множество стратегий, полученное на предыдущей итерации алгоритма выбора стратегии ($\mathbb{S}_0^* \coloneqq \emptyset$)

Выход: $\mathbb{S}_k^*$ – требуемое множество комплексных стратегий

ШАГ 1. Принять множество $\mathbb{S}_k^* \coloneqq \emptyset$. ДЛЯ КАЖДОЙ стратегии $S_{\mathrm{C}} \in \mathbb{S}_{k-1}^*$ осуществить попытку включения S_{C} в множество $\mathbb{S}_k^*$, выполнив Процедуру 1.

ШАГ 2. Присвоить $E \coloneqq \bigcup_{q=1}^{|\mathbb{E}_k|} E_q$;

ДЛЯ КАЖДОГО $i = \overline{1,h}$: {

присвоить $p_i \coloneqq \max_{d_{ij} \in E} j + 1$;

ЕСЛИ $p_i > |D_i|$, ТО присвоить $p_i \coloneqq p_i - 1$};

инициализировать дерево метода ветвей и границ, добавив в него корневую вершину с потомками $d_{11}, \ldots, d_{1p_1}$.

ШАГ 3. ЕСЛИ была осуществлена попытка ветвления всех листьев дерева, ТО завершить исполнение алгоритма, ИНАЧЕ найти самый левый лист d_{ij}, попытка ветвления которого еще не осуществлялась, и осуществить ее, выполнив Шаг 4.

ШАГ 4. Построить кортеж S_{C} из решений, соответствующих вершинам дерева, через которые проходит путь от корня до d_{ij} включительно;

ЕСЛИ $i = h$, ТО {

осуществить попытку включения S_{C} в множество $\mathbb{S}_k^*$, выполнив Процедуру 1},

ИНАЧЕ {

ЕСЛИ не существует стратегии $S'_{\mathrm{C}} \in \mathbb{S}_k^*$ такой, что $\vec{F}^k(S'_{\mathrm{C}}) \leq \vec{F}^k(S_{\mathrm{C}})$, ТО к вершине d_{ij} добавить потомков $d_{i+1,1}, \ldots, d_{i+1,p_{i+1}}$};

перейти к шагу 3.

Процедура 1. Попытка включения стратегии S_{C} в множество $\mathbb{S}_k^*$

ЕСЛИ не существует стратегии $S'_{\mathrm{C}} \in \mathbb{S}_k^*$ такой, что $\vec{F}^k(S'_{\mathrm{C}}) \leq \vec{F}^k(S_{\mathrm{C}})$, ТО {

ДЛЯ КАЖДОЙ стратегии $S'_{\mathrm{C}} \in \mathbb{S}_k^*$ {

ЕСЛИ $\vec{F}^k(S'_{\mathrm{C}}) \geq \vec{F}^k(S_{\mathrm{C}})$, ТО исключить стратегию S'_{C} из множества $\mathbb{S}_k^*$};

включить стратегию S_{C} в множество $\mathbb{S}_k^*$}.

Далее во второй главе описана *стохастическая модель стратегии развития организации*, в которой устраняются недостатки исходной модели. Предложено оценивать параметры МСР экспертно. Каждый эксперт напрямую оценивает минимальное, наиболее вероятное и максимальное значения параметров $\{r_{ij}\}$ и $\{x_j^{\mathrm{ext}}\}$, в результате чего получается множества трехточечных оценок $\{\underline{r}_{ij}^q, \hat{r}_{ij}^q, \bar{r}_{ij}^q\}$ и $\{\underline{x}_j^{\mathrm{ext}q}, \hat{x}_j^{\mathrm{ext}q}, \bar{x}_j^{\mathrm{ext}q}\}$, $q = \overline{1,e}$, где e – общее количество экспертов. Двухточечные оценки коэффициентов причинно-следственных связей $\{\underline{k}_{ij}^q, \bar{k}_{ij}^q\}$ получаются при помощи интервального метода анализа иерархий со сбалансированной шкалой. Принято, что значения параметров МСР – это случайные величины, имеющие плотности распределения:

$$f_{\tilde{k}_j}(\cdot) = \sum_{q=1}^{e} c_q f_{\tilde{k}_j}^q(\cdot), \quad f_{r_{ij}}(\cdot) = \sum_{q=1}^{e} c_q f_{r_{ij}}^q(\cdot), \quad f_{x_j^{\mathrm{ext}}}(\cdot) = \sum_{q=1}^{e} c_q f_{x_j^{\mathrm{ext}}}^q(\cdot),$$

где c_q – коэффициент компетентности q-го эксперта ($c_q > 0$, $\sum_{q=1}^{e} c_q = 1$), $f_{\tilde{k}_j}^{q}(\cdot)$ – плотность вероятности равномерного распределения точки $\tilde{k}_j(\omega) = (\tilde{k}_{1j}(\omega), \dots, \tilde{k}_{n_j j}(\omega))$ на поверхности многоугольника $Q_j^q \triangleq \{(t_1, \dots, t_{n_j}) \in \in \mathbb{R}^{n_j} | \sum_{i=1}^{n_j} t_i = 1;\ \underline{\tilde{k}}_{ij}^q \le t_i \le \overline{\overline{k}}_{ij}^q, i = \overline{1, n_j}\}$; $f_{r_{ij}}^{q}(\cdot)$ – плотность PERT-бета распределения величины $r_{ij}(\omega)$ на отрезке $[\underline{r}_{ij}^q, \bar{r}_{ij}^q]$, мода которого равняется $\hat{r}_{ij}^q$; $f_{x_j^{\text{ext}}}(\cdot)$ – плотность PERT-бета распределения величины $x_j^{\text{ext}}(\omega)$ на отрезке $[\underline{x}_j^{\text{ext}q}, \bar{x}_j^{\text{ext}q}]$, мода которого равняется $\hat{x}_j^{\text{ext}q}$. В данных условиях карта стратегии $\mathcal{G} \triangleq \triangleq (N, K, \{\underline{k}_{ij}^q, \bar{k}_{ij}^q\})$, а собственно стратегия развития организации представляет собой тройку $S_{\text{D}} \triangleq (\mathcal{G}, \{\underline{r}_{ij}^q, \hat{r}_{ij}^q, \bar{r}_{ij}^q\}, \{\underline{x}_j^{\text{ext}q}, \hat{x}_j^{\text{ext}q}, \bar{x}_j^{\text{ext}q}\})$.

В работе доказано, следующее утверждение:

Утверждение 3. *При любых заданных* $\vec{w}, \vec{R}, U$ *и* S_{D} *прогнозируемый результат исполнения стратегии* $I^*(U, \omega)$, *определяемый по формуле* (3) *с учетом случайного характера значений параметров модели, является случайной величиной, имеющей математическое ожидание.*

Из справедливости данного утверждения следует допустимость следующей постановки <u>задачи оптимизации распределения ресурсов</u>: найти распределение ресурсов U^*=$\text{argmax}_{U \in \mathbb{U}} \text{M}[I^*(U, \omega)]$, где $\text{M}[\cdot]$ – оператор математического ожидания; $\mathbb{U}$ – множество допустимых распределений ресурсов, задаваемое ограничениями (2); $I^*(U, \omega)$ – прогнозируемый результат исполнения стратегии.

Поставленная задача представляет собой двухэтапную задачу стохастического программирования. Решение данной задачи согласно методу Монте-Карло приближается решением задачи линейного программирования $\frac{1}{v}\sum_{q=1}^{v}\sum_{j=1}^{m} x_j^q w_j \to \to \max_{\{x_j^q\}, U}$ при ограничениях (1), (4), где ограничения (4) имеют вид:

$$\begin{cases} 0 \le x_j^q \le 1, & j = \overline{1, n},\ q = \overline{1, v} \\ x_j^q = x_j^{\text{ext}q}, & j = \overline{l + 1, m},\ q = \overline{1, v}, \\ x_j^q r_{ij}^q \le u_{ij} R_i, & i = \overline{1, s},\ j = \overline{m + 1, n},\ q = \overline{1, v}, \\ x_j^q \le \sum_{\tilde{\imath}=1}^{n_j} \tilde{k}_{\tilde{\imath}j}^q x_i^q\ , & j = \overline{1, n},\ q = \overline{1, v}. \end{cases} \tag{4}$$

Здесь $x_j^{\text{ext}q}$, r_{ij}^q, $\tilde{k}_{\tilde{\imath}j}^q$ – q-я реализация соответствующего параметра модели, v – число реализаций, достаточное для достижения заданной точности.

Далее во второй главе рассмотрена *интервальная модель стратегии развития организации*. В отличие от стохастической МСР предположение о случайности параметров модели в ней заменено предположением об их неопределенности. Обозначим $\underline{r}_{ij} \triangleq \sum_{q=1}^{e} c_q \underline{r}_{ij}^q$, $\bar{r}_{ij} \triangleq \sum_{q=1}^{e} c_q \bar{r}_{ij}^q$. Аналогично введем обозначения для $\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}, \underline{k}_{ij}$ и $\overline{k}_{ij}$. Будем считать, что допустимы следующие значения параметров модели: $r_{ij} \in [\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}]$, $x_j^{\text{ext}} \in [\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}]$, $\tilde{k}_j \in Q_j \triangleq \{(t_1, \dots, t_{n_j}) \in \mathbb{R}^{n_j} | \sum_{i=1}^{n_j} t_i = = 1;\ \underline{\tilde{k}}_{ij} \le t_i \le \overline{\overline{k}}_{ij}, i = \overline{1, n_j}\}$.

Обозначим $\vec{p} \triangleq (\vec{r}, \vec{x}^{\text{ext}}, \vec{k})$ – вектор параметров модели, где $\vec{r}$ – вектор затрат, $\vec{x}^{\text{ext}}$ – вектор прогнозируемых уровней достижения внешних целей, $\vec{k}$ – вектор коэффициентов причинно-следственных связей. Тогда множеством допустимых значений вектора $\vec{p}$ является прямое произведение $\mathbb{P} \triangleq \prod_{i,j}\left[\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}\right] \times \prod_j\left[\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}\right] \times$ $\times \prod_j Q_j$. Определим *гарантированный* и *оптимистичный* результаты исполнения стратегии как $I^{\mathrm{G}}(U) \triangleq \min_{\vec{p}\in\mathbb{P}} I^*(U,\vec{p})$ и $I^{\mathrm{O}}(U) \triangleq \max_{\vec{p}\in\mathbb{P}} I^*(U,\vec{p})$ соответственно.

Задача оптимизации распределения ресурсов в рамках интервальной МСР поставлена следующим образом: найти распределение ресурсов $U_\alpha^* \in \mathbb{U}$, максимизирующее критерий Гурвица $I^\alpha(U) \triangleq \alpha I^{\mathrm{G}}(U) + (1-\alpha) I^{\mathrm{O}}(U),\ \alpha \in [0,1]$.

Эта задача сведена к задаче оптимизации $\alpha \sum_{j=1}^m w_j x_j^{\mathrm{G}} + (1-\alpha)\sum_{j=1}^m w_j x_j^{\mathrm{O}} \to$ $\to \max_{\vec{x}^{\mathrm{G}},\vec{x}^{\mathrm{O}},U}$ при ограничениях (1), (5), где ограничения (5) имеют вид:

$$\begin{cases} 0 \le x_j^{\mathrm{G}}, x_j^{\mathrm{O}} \le 1, & j = \overline{1,n}, \\ x_j^{\mathrm{G}} = \underline{x}_j^{\text{ext}},\ x_j^{\mathrm{O}} = \bar{x}_j^{\text{ext}}, & j = \overline{l+1,m}, \\ x_j^{\mathrm{G}} \bar{r}_{ij} \le u_{ij} R_i,\ x_j^{\mathrm{O}} \underline{r}_{ij} \le u_{ij} R_i, & i = \overline{1,s},\ j = \overline{m+1,n}, \\ x_j^{\mathrm{G}} \le \sum_{\tilde{\imath}=1}^{n_j} {\tilde{k}_{\tilde{\imath}j}^{*}}^{q}\, x_i^{\mathrm{G}}, & j = \overline{1,n}, q = \overline{1,d_j}, \\ x_j^{\mathrm{O}} \le \sum_{q=1}^{d_j} \sum_{\tilde{\imath}=1}^{n_j} \left(\delta_j^q {\tilde{k}_{\tilde{\imath}j}^{*}}^{q} x_i^{\mathrm{O}}\right), & j = \overline{1,n}, \\ \delta_j^q \in \{0,1\}, & j = \overline{1,n}, q = \overline{1,d_j}, \\ \sum_{q=1}^{d_j} \delta_j^q = 1, & j = \overline{1,n}. \end{cases} \tag{5}$$

Здесь $\left\{{\tilde{k}_j^{*}}^{q}\right\}_{q=1}^{d_j} \triangleq Q_j^*$ – множество вершин многоугольника Q_j $(d_j \triangleq |Q_j^*|)$. Эта задача, в свою очередь, сводится к смешанной ЗЛП с применением замены произведений переменных $x\delta$, где $\delta \in \{0,1\}$: $x\delta \to z,\ 0 \le z \le x,\ x + \delta - 1 \le z \le \delta$.

В работе предложен подход к решению данной задачи, основанный на использовании метода частиц в стае (англ. *Particle Swarm Optimization*, PSO). Его следует использовать в случае, если точное решение смешанной ЗЛП не удается получить стандартными методами за приемлемое время. Ввиду ацикличности карты стратегии ее вершины можно перенумеровать так, чтобы выполнялось *условие поуровневой нумерации*: если индекс $j < i$, то не существует пути из i-й вершины в j-ю. При выполнении данного условия для любого заданного распределения ресурсов U при фиксированной стратегии S_{D} и векторе доступных объемов ресурсов $\vec{R}$ критерий

$$I^\alpha(U) = \alpha \sum_{j\in N^{\text{set}}} w_j {x_j^{\mathrm{G}}}^*(U) + (1-\alpha) \sum_{j\in N^{\text{set}}} w_j {x_j^{\mathrm{O}}}^*(U), \tag{6}$$

где N^{set} – множество индексов ОЦ, а ${x_j^{\mathrm{G}}}^*(U)$ и ${x_j^{\mathrm{O}}}^*(U)$ вычисляются по формулам:

$${x_j^{\mathrm{G}}}^*(U) = \min\left(1, \min_i\left(R_i u_{ij}/\bar{r}_{ij}\right), \min_q \sum_{\tilde{\imath}=1}^{n_j} {\tilde{k}_{\tilde{\imath}j}^{*}}^{q} {x_i^{\mathrm{G}}}^*(U), \underline{x}_j^{\text{ext}}\right),\ j = \overline{1,n}, \tag{7}$$

$${x_j^{\mathrm{O}}}^*(U) = \min\left(1, \min_i\left(R_i u_{ij}/\underline{r}_{ij}\right), \max_q \sum_{\tilde{\imath}=1}^{n_j} {\tilde{k}_{\tilde{\imath}j}^{*}}^{q} {x_i^{\mathrm{O}}}^*(U), \bar{x}_j^{\text{ext}}\right),\ j = \overline{1,n}. \tag{8}$$

Здесь и далее считается, что если какой-либо член функции $\min(\cdot)$ не определен (например, значение x_j^{ext} не определено для j-й цели, если она не является внешней, или в члене $R_i u_{ij}/r_{ij}$ возникает неопределенность $0/0$), то при минимизации он не учитывается. Вычисление по формулам (7) и (8) ведется в порядке возрастания индекса j.

Чтобы решить задачу оптимизации $I^\alpha(U) \to \max_{U\in\mathbb{U}}$ можно использовать какой-либо метод оптимизации нулевого порядка. В работе предложено применять метод частиц стае с кольцевой топологией связей частиц. Процедура поиска оптимума согласно методу частиц в стае в общем случае заключается в следующем. Группа из M частиц максимизирует целевую функцию $f(\cdot)$. В t-й ($t = \overline{0,T}$, где T – продолжительность «полета» частиц) момент времени i-я частица ($i = \overline{1,M}$) занимает позицию Y_i^t. Частица «помнит» лучшее значение целевой функции $pbest_i$, которе она смогла достичь до текущего момента времени t, а также позицию Y_i^*, в которой оно достигается:

$$pbest_i = \max_{j=1,\dots,t} f(Y_i^j), \qquad Y_i^* = \operatorname{argmax}_{j=1,\dots,t} f(Y_i^j).$$

Кроме того каждая частица «помнит» лучшее значение целевой функции среди тех, которого до текущего момента времени смогла достичь она и ее ближайшие соседи $gbest_i$, и положение Y_i^{G}, на котором оно было достигнуто:

$$gbest_i = \max_{j=\overline{i-1,i+1}} pbest_j\,, \qquad Y_i^{\mathrm{G}} = \operatorname{argmax}_{j=\overline{i-1,i+1}} f(Y_j^*).$$

Каждая частица перемещается согласно своему вектору скорости V_i^{t+1}:

$$V_i^{t+1} = w^t V_i^t + rand c_1(Y_i^* - Y_i^t) + rand c_2(Y_i^{\mathrm{G}} - Y_i^t), \qquad Y_i^{t+1} = Y_i^t + V_i^{t+1}.$$

где $rand$ – генерируемая на каждой итерации реализация случайной величины, равномерно распределенной на отрезке [0, 1], c_1 и c_2 – «когнитивный» и «социальный» параметры поведения частицы соответственно. Параметр w^t определяет «инерционность» движения и меняется линейно от w^0 до w^T.

Чтобы эффективно использовать метод PSO необходимо определить способ кодирования переменных задачи в виде частиц. В работе предложено представлять частицы и их скорости матрицами $Y = (y_{ij})_{s\times n}$, $V = (v_{ij})_{s\times n}$. Считается, что ресурсы распределяются между действиями без остатков (то есть $u_{i,n+1} = 0$), и доля i-го ресурса, направляемого на достижение j-й цели, равна

$$u_{ij} = y_{ij} / \sum_{q=1}^{n} y_{iq}\,. \tag{9}$$

Если j-я цель не требует для своего достижения расходования i-го вида ресурса, то при инициализации частиц принимается $y_{ij} = 0$, $v_{ij} = 0$. Если на какой либо итерации алгоритма $y_{ij} < 0$, то принимается, что $y_{ij} = 0$. Предложенный подход обеспечивает удовлетворение линейных ограничений $\sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1$ ($i = \overline{1,s}$).

Значение целевой функции $f(Y) = I^\alpha(U(Y))$ для заданной частицы Y вычисляется следующим образом. Вначале по формуле (9) вычисляется распределение ресурсов U. При распределении ресурсов U с использованием формул (6)–(8) вычисляется значение $I^\alpha(U)$.

Для получения наилучшего распределения ресурсов рекомендуется использовать обе модели стратегии развития – стохастическую и интервальную, а затем выбирать распределение, на котором достигается наиболее предпочтительное сочетание гарантированного, ожидаемого и оптимистичного результатов. После того, как выбрано наилучшее распределение $\widetilde{U}'$, определяются остатки ресурсов. Полученное распределение U' принимается к практической реализации.

Для наилучшего распределения ресурсов U' может потребоваться оценить степень различия между данным распределением и некоторым другим распределением ресурсов U (получение такой оценки необходимо, например, при анализе устойчивости U'). С этой целью в работе предложено использовать *индекс расстояния,* представляющий собой функцию $D_{U'}(U)\colon \mathbb{U} \to [0,1]$, определенную как:

$$D_{U'}(U) \triangleq \frac{1}{s}\sum_{i=1}^{s} \frac{\rho(U'_i, U_i)}{\max_{Z\in\mathbb{U}_i}\rho(U'_i, Z)},$$

где U'_i, U_i – строки матриц U' и U соответственно; $\mathbb{U}_i$ – множество допустимых распределений i-го ресурса; $\rho(\cdot,\cdot)$ – некоторая метрика, заданная на множестве $\mathbb{U}_i$.

Чем «дальше» распределение U от U', тем «ближе» значение $D_{U'}(U)$ к 1. При наиболее «удаленном» от U' распределении ресурсов U значение индекса равняется 1. В работе поставлена задача конструирования индексов расстояния на базе метрики Чебышёва $\rho_{\text{C}}(U'_i, U_i) \triangleq \max_j \left|u_{ij} - u'_{ij}\right|$ и на базе евклидовой метрики $\rho_{\text{E}}(U'_i, U_i) \triangleq \sqrt{\sum_j \left(u_{ij} - u'_{ij}\right)^2}$. В результате ее решения получено два индекса:

$$D^{\text{C}}_{U'}(U) = \frac{1}{s}\sum_{i=1}^{s} \frac{\max_j \left|u_{ij} - u'_{ij}\right|}{1 - \min_{j\in J(i)} u'_{ij}}; \quad D^{\text{E}}_{U'}(U) = \frac{1}{s}\sum_{i=1}^{s} \frac{\sqrt{\sum_j \left(u_{ij} - u'_{ij}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - u'_{iq_i}\right)^2 + \sum_{j\neq q_i} {u'_{ij}}^2}},$$

где $q_i = \operatorname{argmin}_{j\in J(i)} u'_{ij}$, $J(i) = \{j \mid \exists q\colon \bar{r}^q_{ij} \neq 0\}$.

В завершении второй главы рассмотрена задача вычисления показателя, характеризующего снижение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров интервальной МСР.

Выделено четыре группы параметров – затраты (условное обозначение «r»), коэффициенты причинно-следственных связей (k), уровни достижения внешних целей (x^{ext}) и карта стратегии[1] (G). При заданных $\vec{w}$, $\vec{R}$, U и S_{D} *снижение неопределенности* после оценивания группы параметров g вычисляется по формуле $\Delta I(g) \triangleq I^{\Delta}(g) - I^{\Delta}$, где I^{Δ} – разница между I^{O} и I^{G} при условии, что оценены все группы параметров модели (результирующая неопределенность); $I^{\Delta}(g)$ – разница между I^{O} и I^{G} при условии, что группа параметров g еще не оценена (неопределенность при отсутствии информации о значениях параметров группы g).

Требуется указать, каким образом вычисляются значения $I^{\Delta}(g)$ и I^{Δ}.

Очевидно, что $I^{\text{O}} = \max_{\vec{x}^{\text{G}}, \vec{x}^{\text{O}}} \sum_{j=1}^{m} w_j x^{\text{O}}_j$, $I^{\text{G}} = \max_{\vec{x}^{\text{G}}, \vec{x}^{\text{O}}} \sum_{j=1}^{m} w_j x^{\text{G}}_j$ при ограничениях (1), (6). При вычислении значения I^{Δ} в приведенных задачах оптимизации следует использовать нижние и верхние границы варьирования параметров модели, полученные взвешиванием экспертных оценок. При вычислении $I^{\Delta}(\text{r})$ следует принять $\{\underline{r}_{ij} = 0, \bar{r}_{ij} = +\infty\}$, при вычислении $I^{\Delta}(\text{x}^{\text{ext}})$ – принять $\{\underline{x}^{\text{ext}}_j = 0,\ \bar{x}^{\text{ext}}_j = 1\}$, при вычислении $I^{\Delta}(\text{k})$ – принять $\{\underline{k}_{ij} = 0, \bar{k}_{ij} = 1\}$. Что касается $I^{\Delta}(\text{G})$, то в работе доказаны следующие утверждения о «худшей» и «лучшей» карте стратегии (здесь подразумевается нумерация целей, введенная в первой главе):

Утверждение 4. *Пусть в карте стратегии* $\underline{\mathcal{G}} = (N, K, \{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\})$ *множество дуг* $K = \{(2,1), (3,2), \ldots, (l, l-1);\ (l+1, n), (l+2, n), \ldots, (m, n);\ (m+1, l), (m+2, m+1), \ldots, (n, n-1)\}$, *а границы варьирования коэффициентов причинно-следственных связей* $\underline{\tilde{k}}_{in} = 0$, $\bar{\tilde{k}}_{in} = 1$ $(i = \overline{l+1, m})$, *тогда при любых заданных* $\vec{w}$, $\vec{R}$, $U, \{\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}\}$ *и* $\{\underline{x}^{\text{ext}}_j, \bar{x}^{\text{ext}}_j\}$ *оказывается, что* $\underline{\mathcal{G}} = \operatorname{argmin}_{\mathcal{G}\in\mathbb{G}} I^{\text{G}}(\mathcal{G})$, *где* $\mathbb{G}$ – *множество карт стратегии.*

---

[1] Здесь карта стратегии (ее структура и оценки коэффициентов причинно-следственных связей) считается «группой параметров» модели, а ее формирование – «оцениванием» данной группы параметров.

«Худшая» карта стратегии $\underline{\mathcal{G}}$ показана на рис. 3.

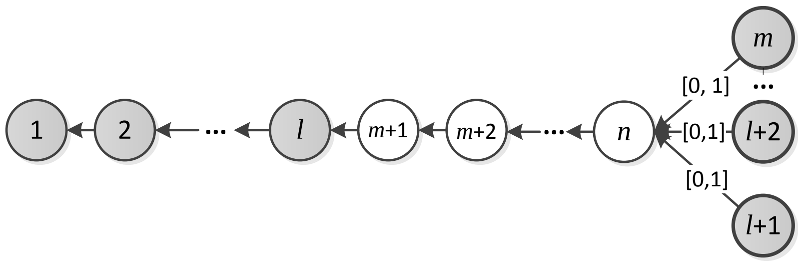

Рис. 3. Карта стратегии $\underline{\mathcal{G}}$

Утверждение 5. *Пусть для заданных* U, $\vec{R}$, $\{\underline{r}_{ij}\}$ *и* $\{\bar{x}_j^{\text{ext}}\}$ *индекс* $q = \operatorname{argmax}_{j\in\{l+1,\dots,n\}}(\min[\bar{x}_j^{\text{ext}}, \min_i(R_i u_{ij}/\underline{r}_{ij}),1])$, *и в карте стратегии* $\overline{\mathcal{G}} = (N, K, \{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\})$ *дуги* $\{(q,1),\dots(q,l)\} \subseteq K$, $(\cdot,q) \notin K$, *а границы варьирования коэффициентов причинно-следственных связей* $\underline{\tilde{k}}_{\tilde{q}1} = 0$, $\bar{\tilde{k}}_{\tilde{q}1} = 1$, $\underline{\tilde{k}}_{\tilde{q}j} = 1$ $(j = \overline{2,l})$, *тогда при любых заданных* $\vec{w}$, $\{\bar{r}_{ij}\}$ *и* $\{\underline{x}_j^{\text{ext}}\}$ *оказывается, что* $\overline{\mathcal{G}} = \operatorname{argmax}_{\mathcal{G}\in\mathbb{G}} I^{\text{O}}(\mathcal{G})$, *где* $\mathbb{G}$ *– множество карт стратегии.*

Фрагмент «лучшей» карты стратегии $\overline{\mathcal{G}}$ показан на рис. 4.

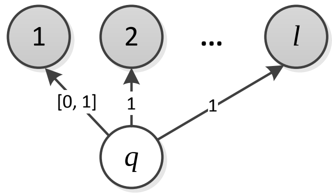

Рис. 4. Фрагмент карты стратегии $\overline{\mathcal{G}}$

Кроме подхода к вычислению показателя $\Delta I(g)$ в работе указан ряд его свойств.

Утверждение 6. 1) *Если стратегия развития* S_{D} *не содержит внешних целей, то при любой матрице* $U \in \mathbb{U}$ *распределения ресурсов, векторе* $\vec{R}$ *их доступных объемов и векторе* $\vec{w}$ *весовых коэффициентов основных целей* $\Delta I(\text{r}) \geq \Delta I(\text{G}) \geq \Delta I(\text{k})$; 2) *Для каждого из неравенств* $\Delta I(\text{r}) > \Delta I(\text{G})$ *и* $\Delta I(\text{G}) > \Delta I(\text{k})$ *существует стратегия* S_{D}, *не содержащая внешних целей, а также векторы* $\vec{R}$ *и* $\vec{w}$, *такие, что при любой матрице* $U \in \mathbb{U}$ *данное неравенство выполняется*; 3) *Для каждого из неравенств* $\Delta I(g_1) > \Delta I(g_2)$ $(g_1, g_2 \in \{\text{r}, \text{k}, \text{x}^{\text{ext}}, \text{G}\}, g_1 \neq g_2)$, *кроме* $\Delta I(\text{k}) > \Delta I(\text{G})$, *существует стратегия* S_{D}, *содержащая внешние цели, а также векторы* $\vec{R}$ *и* $\vec{w}$, *такие, что при любой матрице* $U \in \mathbb{U}$ *данное неравенство выполняется.*

Иными словами, если внешние цели отсутствуют, то оценивание затрат снизит неопределенность *не менее*, чем определение карты стратегии (и тем более оценивание коэффициентов причинно следственных связей), при этом возможны ситуации, когда оценивание затрат окажется *более* значимым. Если же внешние цели присутствуют, то без дополнительного анализа нельзя уверенно сказать, оценивание каких групп параметров приведет к большему снижению неопределенности.

В третьей главе описан комплекс программ, который представляет собой систему поддержки принятия решений (СППР) «Start-Up-Strategy», реализующую предложенные модели и алгоритмы; приведены примеры практического использования разработанного комплекса. СППР реализована на языке программирования C# (среда разработки MVS 2010). Архитектура комплекса представлена на рис. 5.

Рис. 5. Архитектура разработанного комплекса программ

Алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии был использован в процессе планирования деятельности конструкторского бюро (КБ), проектирующего и производящего легкую авиационную технику. С применением первой и второй подсистем СППР выбрана оптимальная комплексная стратегия, охватывающая 19 подстратегий (среднее количество решений в каждой подстратегии – 3). Было выделено 12 нежелательных сочетаний решений. Потребовалось реализовать три цикла оценивания согласованности стратегий перед тем, как была получена оптимальная стратегия S_{C}^* ($\widetilde{w}_{\max}(S_{\mathrm{C}}^*) = 1.39$, $|2^{S_{\mathrm{C}}^*} \cap \mathbb{E}| = 0$). При генерации множества $\mathbb{S}_3^*$ было построено дерево метода ветвей и границ, содержащее 917 узлов, в то время как полный перебор потребовал бы проверить Парето-оптимальность 36864 стратегий. Таким образом, алгоритм обеспечил более чем 40-кратный выигрыш по вычислительным затратам, что говорит о его высокой эффективности.

Далее с применением первой и третьей подсистем СППР были реализованы процедуры формирования стратегии развития КБ и оптимизации распределения ресурсов между его стратегическими действиями (параметры МСР оценивались пятью экспертами). Карта стратегии развития КБ представлена на рис. 7.

Вначале для оптимизации распределения ресурсов была использована стохастическая МСР. Допустимое отклонение математического ожидания от истинного в методе Монте-Карло принято равным 0.01, уровень доверия – 0.95. При полученном распределении ресурсов U^*, реализуются следующие результаты: $I^{\mathrm{G}}(U^*) = 85\%$, $I^{\mathrm{M}}(U^*) = 92\%$, $I^{\mathrm{O}}(U^*) = 95\%$. Функция распределения результата исполнения стратегии приведена на рис. 6.

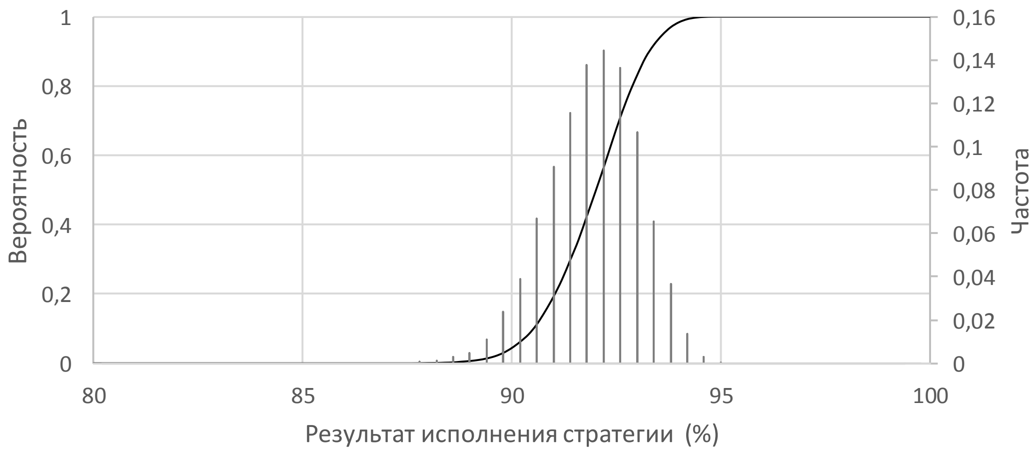

Рис. 6. Эмпирическая функция распределения результата исполнения стратегии

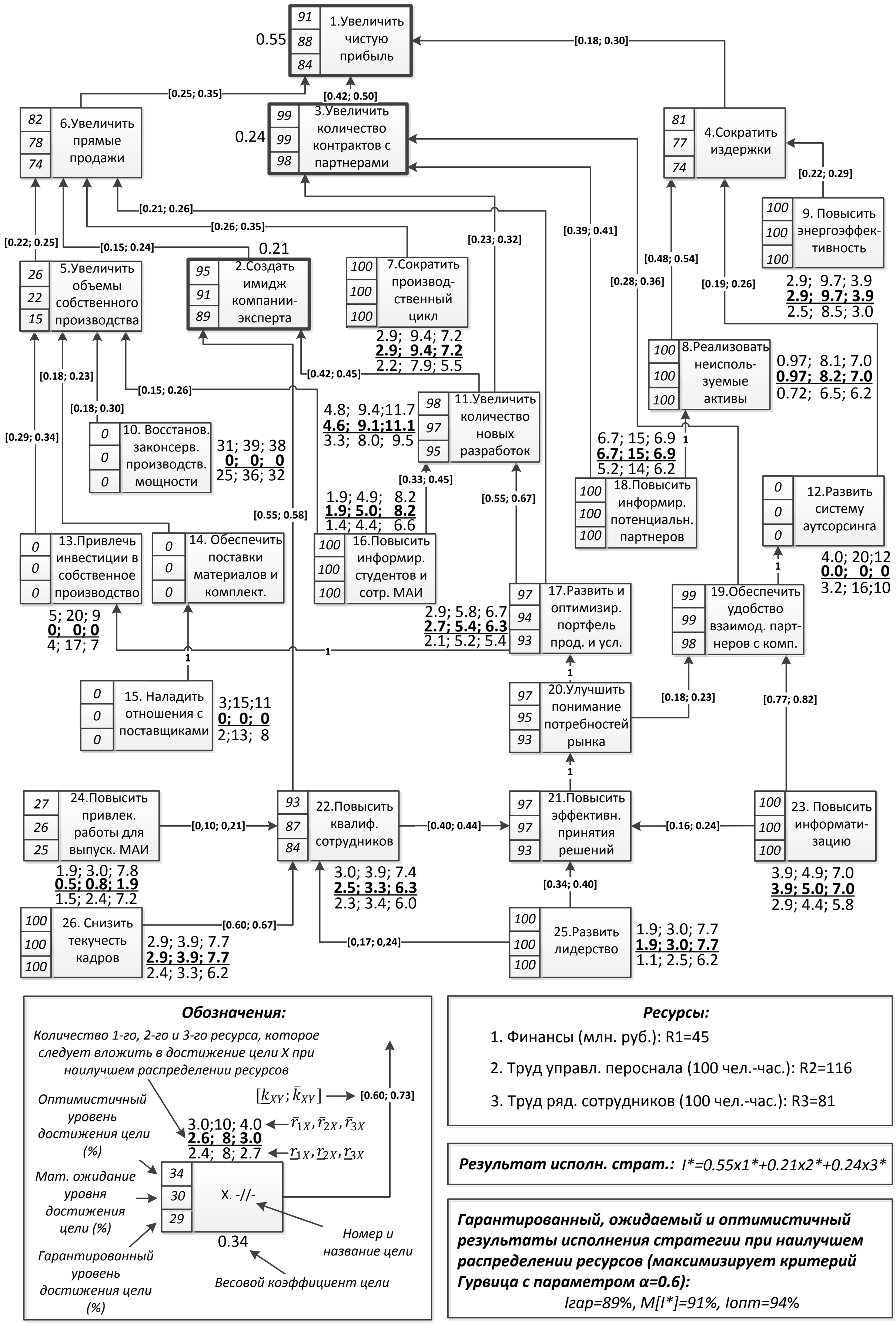

Рис. 7. Карта стратегии конструкторского бюро

Дополнительное исследование показало, что распределение ресурсов U^* устойчиво при изменении законов, используемых для генерации значений затрат. В качестве альтернативных были взяты равномерный и треугольный законы, а также закон PERT-бета с параметрами $\alpha = 2, \beta = 3$. При использовании в методе Монте-Карло указанных законов вычислены оптимальные распределения ресурсов U_{R}^*, U_{Δ}^* и U_{β}^* соответственно. Каждое из них оказалось достаточно близким к U^*: индекс $D_{U^*}^{\mathrm{E}}(U_X^*) \leq 0.03$, а индекс $D_{U^*}^{\mathrm{C}}(U_X^*) \leq 0.02$ ($X \in \{\mathrm{R}, \Delta, \beta\}$). Во всех случаях математическое ожидание прогнозируемого результата исполнения стратегии при распределении ресурсов U^* совпало (с точностью до 0.005) с оптимальным математическим ожиданием, получаемым при распределениях U_{R}^*, U_{Δ}^* и U_{β}^*.

Далее для оптимизации распределения ресурсов была применена интервальная МСР. Оптимальное распределение при $\alpha = 0.1i$ ($i = \overline{0,10}$) вычислено с применением метода частиц в стае. Параметры метода приняты следующими: $M = 100, T = 1200, c_1 = 0.9, c_2 = 0.7, w^0 = 1, w^T = 0$. Для каждого значения параметра α алгоритм оптимизации исполнялся по 20 раз (время исполнения – 9 секунд/раз на компьютере с процессором Intel Core2 Duo 2.4 Ghz), после чего выбиралось наилучшее из полученных распределений. В каждой серии запусков из 20 полученных результатов не более четырех отклонились от наилучшего более чем на 0.01, что говорит о стабильности предложенного метода оптимизации. Также при $\alpha = 0.5$ были предприняты попытки оптимизации распределения ресурсов методами αPSO и Binary αPSO. Найденные данными методами субоптимальные значения критерия оказались на 7% (αPSO) и на 30% (Binary αPSO) меньше, чем значение, вычисленное с помощью предложенного метода оптимизации.

Полученное при $\alpha = 0.6$ распределение ресурсов $U_{0.6}^*$ дало следующие результаты: $I^{\mathrm{G}}(U_{0.6}^*) = 89\%, I^{\mathrm{M}}(U_{0.6}^*) = 91\%$, $I^{\mathrm{O}}(U_{0.6}^*) = 94\%$. Данное распределение (см. рис. 7) было выбрано ЛПР как наиболее предпочтительное с точки зрения сочетания значений трех критериев.

При распределении ресурсов $U_{0.6}^*$ было вычислено сокращение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров: $\Delta I(\mathrm{r}) = 85\%$, $\Delta I(\mathrm{G}) = \Delta I(\mathrm{k}) = 36\%$. Оказалось, что сама по себе структуризация карты стратегии не уменьшила неопределенность результата. В наибольшей степени неопределенность сократило оценивание затрат, однако оценивание коэффициентов причинно-следственных связей также сыграло значительную роль.

Наконец было вычислено оптимальное распределение ресурсов при посылках исходной МСР U_{O}^*. При распределениях ресурсов U_{O}^* и $U_{0.6}^*$ были вычислены 1) математическое ожидание прогнозируемого результата исполнения стратегии в условиях стохастической МСР: $I^{\mathrm{M}}(U_{0.6}^*) = 91\%$; $I^{\mathrm{M}}(U_{\mathrm{O}}^*) = 89\%$; 2) гарантированный и оптимистичный результаты в условиях интервальной МСР: $I^{\mathrm{G}}(U_{0.6}^*) = 89\%$, $I^{\mathrm{O}}(U_{0.6}^*) = 94\%$; $I^{\mathrm{G}}(U_{\mathrm{O}}^*) = 77\%$, $I^{\mathrm{O}}(U_{\mathrm{O}}^*) = 95\%$. Как видно, распределение ресурсов $U_{0.6}^*$ «выигрывает» 2% по критерию $I^{\mathrm{M}}(\cdot)$ и 12% по критерию $I^{\mathrm{G}}(\cdot)$, «проигрывая» всего 1% по критерию $I^{\mathrm{O}}(\cdot)$ у распределения, полученного при допущениях, сделанных в работе М. Хелла, С. Видачича и З. Гарача (2009).

Подсистема оптимизации распределения ресурсов была также использована при планировании ИТ-стратегии экономического факультета университета г. Сплит (Хорватия). С использованием интервальной МСР были найдены распределения ресурсов, максимизирующие критерий Гурвица, при различных значениях параметра α. Оптимальное распределение ресурсов при $\alpha = 0.5$ удалось вычислить точно, решив смешанную ЗЛП. Также оптимальное распределение при $\alpha = 0.5$ было вычислено с применением метода частиц в стае. Из 20 запусков метода лишь 4 запуска привели к получению распределений ресурсов, на которых значение результата отличалось от оптимального значения, найденного в результате решения смешанной ЗЛП, более чем на 0.01, что говорит о стабильности и высокой точности предложенного метода оптимизации. Далее с использованием стохастической МСР вычислено оптимальное распределение ресурсов U^*, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии, показана его устойчивость при изменении законов распределения параметров. Данное распределение выбрано в качестве наиболее предпочтительного. При распределении ресурсов U^* было вычислено сокращение неопределенности, которое дает оценивание различных групп параметров: $\Delta I(\mathrm{x}^{\mathrm{ext}}) = 42\%$, $\Delta I(\mathrm{r}) = 35\%$, $\Delta I(\mathrm{G}) = 9\%$, $\Delta I(\mathrm{k}) = 5\%$. В отличие от предыдущего примера оказалось, что сама по себе структуризация карты стратегии снижает неопределенность результата, хотя и незначительно.

Наконец, подсистема оптимизации распределения ресурсов использовалась в компании, выпускающей оборудование для производства авионики, а применение алгоритма выбора комплексной стратегии было продемонстрировано на примере телекоммуникационной компании. При генерации множества $\mathbb{S}_6^*$ было построено дерево метода ветвей и границ, содержащее 639 узлов, в то время как полный перебор потребовал бы проверить Парето-оптимальность 27648 стратегий. Таким образом, алгоритм обеспечил более чем 43-кратный выигрыш по вычислительным затратам, что подтверждает его высокую эффективность.

В **заключении** работы сделаны общие выводы и указаны направления дальнейших исследований, связанные с совершенствованием критерия качества комплексной стратегии, использованием квантильного критерия в МСР и преобразованием модели из статической в динамическую (использование подхода Дж. Форрестера для моделирования исполнения стратегических действий).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Основные результаты диссертационного исследования связаны с развитием математического аппарата (моделей, алгоритмов, ПО) для поддержки принятия решений при стратегическом управлении организацией:

1) формализована модель комплексной стратегии организации; поставлена задача выбора комплексной стратегии: оптимальной предложено считать стратегию, на которой достигается наиболее предпочтительная с точки зрения ЛПР пара значений двух критериев – а) количества нежелательных сочетаний формирующих стратегию решений, б) максимального среди анти-приоритетов формирующих стратегию решений;

2) предложена стохастическая модель стратегии развития (МСР) организации, параметры которой являются случайными величинами; описаны экспертные методы получения характеристик распределений параметров стохастической МСР; поставлена задача вычисления распределения ресурсов, максимизирующего математическое ожидание результата исполнения стратегии, и указан метод ее решения;

3) разработана интервальная модель стратегии развития организации, параметры которой являются величинами, принадлежащими заданным множествам; поставлена задача вычисления распределения ресурсов, максимизирующего критерий Гурвица;

4) предложен алгоритм решения задачи выбора комплексной стратегии организации, позволяющий выбрать оптимальную стратегию при неполной информации о множестве нежелательных сочетаний решений; разработана эффективная вычислительная процедура построения Парето-недоминируемых стратегий;

5) задача вычисления оптимального по критерию Гурвица распределения ресурсов сведена к смешанной ЗЛП; на базе метода частиц в стае построен алгоритм, позволяющий найти оптимальное распределение ресурсов в случаях, когда решение смешанной ЗЛП не удается вычислить стандартными методами за приемлемое время; сконструировано два индекса расстояния, служащих для оценивания степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов; разработан метод вычисления показателя, характеризующего снижение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров интервальной модели стратегии развития;

6) разработан комплекс программ, реализующий полученные модели и алгоритмы; с помощью данного ПО решены задачи выбора оптимальной комплексной стратегии конструкторского бюро (КБ) и телекоммуникационной компании, а также задачи оптимизации распределения ресурсов КБ, компании, выпускающей оборудование для производства авионики, и факультета университета.

ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ ИЗ ПЕРЕЧНЯ ВАК

1. Ершов Д.М., Скородумов С.В. Система поддержки принятия решений для выбора стратегии организации. *Информационные и телекоммуникационные технологии*, №21, 2014. – С. 3–10.

2. Ершов Д.М., Лобанов С.В. Стратегический проектный офис компании аэрокосмической отрасли. *Электронный журнал «Труды МАИ»*, №74, 2014.

3. Ершов Д.М. Оптимизация распределения ресурсов при управлении эффективностью стратегии организации. *Вестник МАИ,* Т.20, №2, 2013. – С. 238–250.

4. Ершов Д.М. Количественная модель оценки эффективности стратегии предприятия. *Электронный журнал «Труды МАИ»*, №66, 2013.

5. Шатраков А.Ю., Ершов Д.М., Мельникова Е.В., Скородумов В.С. Оптимизация распределения ресурсов предприятий кластера при планировании стратегии развития. *Горизонты экономики*, №5, 2012. – С. 68–71.

ПУБЛИКАЦИИ В ДРУГИХ ИЗДАНИЯХ

6. Hell M., Ershov D.M. A new approach to developing and optimizing organization strategy based on stochastic quantitative model of strategic performance. *Croatian Operational Research Review,* Vol. 5, 2014. – p. 67–80. [Indexed in MathSciNet and Thomson Web of Knowledge]

7. Ершов Д.М., Качалов Р.М. Системы поддержки принятия решений в процедурах формирования комплексной стратегии предприятия. *Препринт №WP/2013/299.* – М.: ЦЭМИ РАН, 2013. – 60 С.

8. Yershov D.M., Babenko E.A., Skorodumov S.V. Usage of Interval Cause-Effect Relationship Coefficients in the Quantitative Model of Strategic Performance. *Croatian*

Operational Research Review, Vol. 3, 2012. – p. 176–192. [Indexed in Thomson Web of Knowledge]

9. Ершов Д.М., Скородумов С.В. Информационная система проектирования стратегии высокотехнологичной компании. *Модернизация и инновации в авиации и космонавтике*. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – С. 390–394.

ПУБЛИКАЦИИ В СБОРНИКАХ ТРУДОВ НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

10. Ершов Д.М. Разработка системы поддержки принятия решений для выбора комплексной стратегии организации. *В сб. материалов XV Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий»*, секция 2. – М.: ЦЭМИ РАН, 15–16 апреля, 2014. – С. 69–72.

11. Ершов Д.М., Скородумов С.В. Математический подход к стратегическому планированию деятельности инновационной компании. *В сб. трудов конференции «CAD/CAM/PDM –2013»*. – М.: ИПУ РАН, 2013. – С. 299–303.

12. Ершов Д.М., Скородумов С.В. Алгоритм стратегического управления организацией. *В сб. материалов XVIII конференции «ВМСППС–2013»*. – Алушта, 2013. – С. 191–193.

13. Ершов Д.М. Оптимальное распределение ресурсов в задаче стратегического планирования деятельности организации. *В сб. материалов XIV Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий»,* секция 2. – М.: ЦЭМИ РАН, 9–10 апреля, 2013.

14. Ершов Д.М., Кобылко А.А. Выбор стратегии с учетом согласованности решений по отдельным стратегическим направлениям. *В сб. материалов XIV Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий»*, секция 2. – М.: ЦЭМИ РАН, 9–10 апреля, 2013.

15. Ершов Д.М. Распределение ресурсов организации на основе сбалансированной системы показателей с интервальными коэффициентами взаимосвязей стратегических целей. *В сб. материалов Научно-практической конференции «Системный анализ в экономике – 2012»*, секция 2. – М., 2012. – С. 80–82.

16. Ершов Д.М. Новая модель оценки эффективности стратегии организации. *В сб. тезисов докладов XI Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2012»*. – М., 2012. – С. 341–342.

17. Ершов Д.М. Оптимизация распределения ресурсов с учетом стратегических целей компании. *В сб. тезисов Молодежной научно-практической конференции «Инновации в авиации и космонавтике – 2012»*. – М., 2012. – С. 151–152.

18. Ершов Д.М. Использование интервальных оценок взаимосвязей целей предприятия в задаче оптимального распределения ресурсов. *В сб. трудов Всероссийской молодежной научной школы «Управление, информация и оптимизация»*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – С. 288–290.

19. Ершов Д.М., Качалов Р.М. Развитие подхода к оптимизации распределения ресурсов, учитывающего долгосрочные цели предприятия. *В сб. трудов конференции «Системный анализ в проектировании и управлении»*. – СПб., 2012.

20. Ершов Д.М., Качалов Р.М. Функции системы управления знаниями, поддерживающей разработку стратегии предприятия. *В сб. материалов XXII Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий»,* секция 2. – М.: ЦЭМИ РАН, 12–13 апреля, 2011. – С. 63–65.

21. Ершов Д.М., Качалов Р.М., Скородумов С.В. Оптимизация распределения

инвестиций при разработке стратегии предприятия. *В сб. материалов XV Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении».* – СПб., 29 июня – 1 июля, 2011. – С. 120–122.

22. Ершов Д.М., Гуренков М.Г., Скородумов С.В., Шоль Е.И. Аутсорсинг системы стратегического управления на базе облачных сервисов. *В сб. материалов XI Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий».* – М.: ЦЭМИ РАН, 2010.

23. Ершов Д.М., Гуренков М.Г. Информационная система проектирования стратегии высокотехнологичной компании. *В сб. трудов VII конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования».* – М., 2010.

ПУБЛИКАЦИИ В ПЕЧАТИ

24. Ершов Д.М., Кобылко А.А. Выбор комплексной стратегии организации с учетом сочетаемости стратегических решений. *Экономика и математические методы*, Т.50, №4, 2014.