

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

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)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:

к.т.н., с.н.с., доцент

Скородумов Станислав Владимирович

Научный консультант:

к.ф.-м.н., доцент

Нефёдов Виктор Николаевич

Москва – 2014 год

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Список сокращений | 4 |
| Перечень условных обозначений | 5 |
| Введение | 9 |
| ГЛАВА 1. Обзор моделей, алгоритмов и программного обеспечения для стратегического управления организацией | 20 |
| 1.1. Модели и алгоритмы, представляющие стратегию организации как множество решений..... | 20 |
| 1.2. Модели и алгоритмы, представляющие стратегию организации как систему целей и действий по их достижению..... | 29 |
| 1.3. Системы поддержки принятия решений при стратегическом управлении организацией..... | 44 |
| 1.4. Выводы по первой главе..... | 51 |
| ГЛАВА 2. Разработка моделей и алгоритмов для стратегического управления организацией | 54 |
| 2.1. Выбор оптимальной комплексной стратегии организации..... | 54 |
| 2.2. Оценивание параметров модели стратегии развития организации... | 62 |
| 2.3. Оптимизация распределения ресурсов организации с использованием стохастической модели стратегии развития..... | 68 |
| 2.4. Оптимизация распределения ресурсов организации с использованием интервальной модели стратегии развития..... | 72 |
| 2.5. Вычисление индексов расстояния, показывающих степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов..... | 80 |
| 2.6. Вычисление показателя, характеризующего снижение неопределенности после оценивания различных групп параметров интервальной модели стратегии развития..... | 84 |
| 2.7. Выводы по второй главе..... | 92 |
| ГЛАВА 3. Разработка и применение комплекса программ для стратегического управления организацией | 95 |
| 3.1. Архитектура комплекса программ для стратегического управления организацией..... | 95 |
| 3.2. Алгоритм использования комплекса программ при стратегическом управлении организацией..... | 103 |

| | |
|---|------------|
| 3.3. Применение комплекса программ в компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику..... | 108 |
| 3.4. Применение подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии для выбора стратегии телекоммуникационной компании..... | 124 |
| 3.5. Применение подсистемы оптимизации распределения ресурсов при планировании ИТ-стратегии факультета университета..... | 126 |
| 3.6. Применение подсистемы оптимизации распределения ресурсов при планировании стратегии развития компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики..... | 135 |
| 3.7. Выводы по третьей главе..... | 139 |
| Заключение..... | 142 |
| Список использованных источников..... | 147 |
| Приложения..... | 160 |
| А. Анти-приоритеты стратегических решений компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику..... | 160 |
| Б. Ключевые показатели эффективности компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику..... | 162 |
| В. Анти-приоритеты стратегических решений телекоммуникационной компании..... | 164 |
| Г. Ключевые показатели эффективности факультета университета..... | 166 |
| Д. Ключевые показатели эффективности компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики..... | 168 |
| Е. Матрица бизнес-модели компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики..... | 170 |

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

| | |
|------|--|
| АСФ | – анализ среды функционирования |
| ЗЛП | – задача линейного программирования |
| ИМ | – имитационное моделирование |
| ИС | – информационная система |
| ИТ | – информационные технологии |
| КБ | – конструкторское бюро |
| КПЭ | – ключевой показатель эффективности |
| ЛПР | – лицо, принимающее решения |
| МСР | – модель стратегии развития |
| ПО | – программное обеспечение |
| СППР | – система поддержки принятия решений |
| ССП | – сбалансированная система показателей |
| ТКИС | – транзакционная корпоративная информационная система |
| ЭС | – экспертная система |
| АНР | – англ. <i>Analytic Hierarchy Process</i> – метод анализа иерархий |
| БИ | – англ. <i>Business Intelligence</i> – бизнес-интеллект |
| BSC | – англ. <i>Balanced Scorecard</i> – сбалансированная система показателей |
| CPM | – англ. <i>Corporate Performance Management</i> – управление эффективностью деятельности |
| DEA | – англ. <i>Data Envelopment Analysis</i> – анализ среды функционирования |
| ΙΑНР | – англ. <i>Interval Analytic Hierarchy Process</i> – интервальный метод анализа иерархий |
| PSO | – англ. <i>Particle Swarm Optimization</i> – метод частиц в стае |
| UML | – англ. <i>Unified Modeling Language</i> – унифицированный язык моделирования |

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

| | |
|--------------|--|
| \triangleq | – равенство по определению; |
| $:=$ | – операция присвоения; |
| \times | – прямое произведение множеств; |
| 2^D | – совокупность подмножеств множества D ; |
| \oplus | – операция конкатенации кортежей; |
| $ \cdot $ | – мощность множества; |
| $M[\cdot]$ | – оператор математического ожидания; |
| ω | – элементарное событие; |
| h | – количество подстратегий, охватываемых комплексной стратегией организации; |
| n | – общее количество стратегических целей организации; |
| m | – количество основных стратегических целей организации; |
| l | – количество основных стратегических целей организации, не являющихся внешними; |
| s | – количество типов ресурсов, выделенных для реализации стратегии развития организации; |
| e | – количество экспертов, оценивающих параметры модели стратегии развития организации; |
| v | – количество испытаний в методе Монте-Карло; |
| c_i | – коэффициент компетентности i -го эксперта; |
| m_i | – количество альтернативных стратегических решений, выделяемых в рамках i -й подстратегии; |
| M | – количество частиц в методе частиц в стае; |
| D_i | – множество альтернативных стратегических решений, выделяемых в рамках i -й подстратегии; |
| D | – множество возможных стратегических решений; |
| d_{ij} | – j -е стратегическое решение, выделяемое в рамках i -й подстратегии; |
| S_C | – комплексная стратегия организации (S_C^j – j -й элемент стратегии); |
| S_C^* | – оптимальная комплексная стратегия организации; |
| S_D | – стратегия развития организации; |
| \mathbb{S} | – множество возможных комплексных стратегий организации; |

- \mathbb{S}_k^* – набор комплексных стратегий, множество оценок которых совпадает с множеством оценок стратегий, являющихся Парето-недоминируемыми при минимизации вектор-функции $\vec{F}^k(S_C)$ на множестве \mathbb{S} ;
- \mathbb{E} – множество нежелательных сочетаний решений (E_i – i -й элемент множества \mathbb{E});
- \mathbb{E}_k – множество нежелательных сочетаний решений, информация о которых была получена от ЛППР к k -й итерации алгоритма выбора оптимальной комплексной стратегии организации;
- \mathbb{U} – множество допустимых распределений ресурсов организации;
- $\mathbb{P}_{\text{стох}}$ – множество допустимых реализаций вектора параметров стохастической модели стратегии развития организации;
- $\mathbb{P}_{\text{инт}}$ – множество допустимых значений вектора параметров интервальной модели стратегии развития организации;
- \mathbb{G} – множество карт стратегии развития организации;
- $f_i(\cdot)$ – i -й частный критерий оценки стратегического решения;
- w_{ij} – приоритет стратегического решения d_{ij} ;
- \tilde{w}_{ij} – анти-приоритет стратегического решения d_{ij} ;
- $\tilde{w}_{\max}(S_C)$ – максимальный среди анти-приоритетов решений, формирующих комплексную стратегию S_C ;
- α_{ij} – вес j -го частного критерия относительно i -й подстратегии;
- $\vec{F}(S_C)$ – векторный критерий качества стратегии S_C , первый компонент которого равен количеству нежелательных сочетаний формирующих S_C решений, а второй – максимальному среди анти-приоритетов формирующих S_C решений;
- $\vec{F}^k(S_C)$ – векторная оценка стратегии S_C , первый компонент которой равен количеству нежелательных сочетаний решений, входящих в S_C и являющихся элементами множества \mathbb{E}_k , а второй – максимальному среди анти-приоритетов формирующих S_C решений;
- \vec{F}^* – векторная оценка оптимальной комплексной стратегии S_C^* согласно критерию $\vec{F}(\cdot)$;
- \mathcal{G} – карта стратегии развития организации;
- N – множество вершин карты стратегии развития организации;
- K – множество дуг карты стратегии развития организации;
- k_{ij} – коэффициент причинно-следственной связи (вес дуги, ведущей из i -й вершины в j -ю вершину карты стратегии);

- \tilde{k}_{ij} – вес дуги, ведущей из \tilde{i} -й вершины в j -ю вершину карты стратегии (\tilde{i} – локальный номер i -й вершины, подчиненной j -й вершине);
- \tilde{k}_j – точка, составленная из весов дуг, идущих в j -ю вершину карты стратегии;
- \tilde{k}_j^{*q} – q -я вершина множества Q_j (\tilde{k}_{ij}^{*q} – i -я координата вершины);
- d_j – количество вершин множества Q_j ;
- N_j – множество индексов вершин, подчиненных j -й вершине карты стратегии развития организации;
- n_j – мощность множества N_j ;
- Q_j – множество допустимых координат точки \tilde{k}_j в интервальной модели стратегии развития организации;
- \vec{R} – вектор доступных объемов ресурсов (R_i – доступный объем i -го вида ресурса);
- \vec{w} – вектор весовых коэффициентов основных целей (w_i – весовой коэффициент i -й цели);
- \vec{p} – вектор параметров модели стратегии развития организации;
- r_{ij} – затраты i -го ресурса, необходимые для полной реализации действия, соответствующего j -й цели;
- U – матрица распределения ресурсов организации (элемент $u_{i,j \in \{m+1, \dots, n\}}$ равен доле i -го ресурса, вкладываемой в исполнение действия, соответствующего j -й цели; элемент $u_{i,n+1}$ равен доле i -го ресурса, которая остается неизрасходованной);
- U^* – распределение ресурсов, максимизирующее критерий I^M ;
- U_α^* – распределение ресурсов, максимизирующее критерий I^α ;
- U' – наилучшее распределение ресурсов организации;
- x_j^{ext} – прогнозируемый уровень достижения внешней цели, имеющей номер j ;
- x_j^* – прогнозируемый уровень достижения j -й стратегической цели организации;
- x^{0*} – оптимистичный уровень достижения j -й стратегической цели организации;
- x^{G*} – гарантированный уровень достижения j -й стратегической цели организации;
- I^* – прогнозируемый результат исполнения стратегии развития организации;

- I^O – оптимистичный результат исполнения стратегии развития организации;
- I^G – гарантированный результат исполнения стратегии развития организации;
- I^M – математическое ожидание результата исполнения стратегии развития организации;
- I^α – выпуклая линейная комбинация оптимистичного и гарантированного результатов исполнения стратегии развития организации (критерий Гурвица): $I^\alpha = \alpha I^G + (1 - \alpha)I^O$, $\alpha \in [0, 1]$;
- I^Δ – неопределенность результата исполнения стратегии развития;
- $I^\Delta(g)$ – неопределенность результата исполнения стратегии развития организации при условии, что группа g параметров интервальной модели стратегии развития еще не оценена;
- $\Delta I(g)$ – сокращение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания группы g параметров интервальной модели стратегии развития организации;
- \underline{r}_{ij}^q – оценка минимального значения параметра r_{ij} стохастической модели стратегии развития, полученная от q -го эксперта (аналогично обозначаются нижние оценки параметров x_j^{ext} и k_{ij});
- \hat{r}_{ij}^q – оценка наиболее вероятного значения параметра r_{ij} стохастической модели стратегии развития, полученная от q -го эксперта (аналогично обозначаются оценка параметра x_j^{ext});
- \bar{r}_{ij}^q – оценка максимального значения параметра r_{ij} стохастической модели стратегии развития, полученная от q -го эксперта (аналогично обозначаются верхние оценки параметров x_j^{ext} и k_{ij});
- \underline{r}_{ij} – минимальное значение параметра r_{ij} интервальной модели стратегии развития (аналогично обозначаются нижние границы значений параметров x_j^{ext} и k_{ij});
- \bar{r}_{ij} – максимальное значение параметра r_{ij} интервальной модели стратегии развития (аналогично обозначаются верхние границы значений параметров x_j^{ext} и k_{ij});
- $D_{U'}^E(\cdot)$ – индекс расстояния, построенный на основе евклидовой метрики;
- $D_{U'}^C(\cdot)$ – индекс расстояния, построенный на основе метрики Чебышёва;
- Y_i^t – позиция i -й частицы на t -й итерации метода частиц в стае;
- V_i^t – скорость i -й частицы на t -й итерации метода частиц в стае

ВВЕДЕНИЕ

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

Актуальность исследования. Во многих современных организациях с целью повышения эффективности принятия управленческих решений используются аналитические информационные системы (ИС). Подавляющее большинство современных аналитических ИС хорошо подходят для решения описательных задач (англ. *descriptive analytics*), связанных с конструированием отчетов и панелей индикаторов. Вместе с тем, все больше организаций внедряют системы диагностики (англ. *diagnostic analytics*), позволяющие находить скрытые закономерности в данных, например, сегментировать клиентов, устанавливать взаимосвязи между приобретением клиентами тех или иных видов продуктов/услуг, количественно описывать влияние достижения одних целей организации на другие и т.д. Системы предиктивной аналитики (англ. *predictive analytics*) дают возможность узнавать, какие факторы в наибольшей степени влияют на деятельность организации, и прогнозировать, как будет изменяться ее состояние с течением времени. Развитые системы поддержки принятия решений (СППР) позволяют осуществлять оптимизацию и предписывать эффективные управленческие решения (англ. *prescriptive analytics*) [1]. Системам данного класса посвящены работы В.К. Акинфиева, А.Д. Цвиркуна [2], А.А. Зацаринного [3, 4], И.А. Кирикова, А.В. Колесникова [5, 6], Д.В. Исаева [7–9], Г.Н. Калянова [10], А.Б. Петровского [11], Ю.Ф. Тельнова [12], Э.А. Трахтенгерца [13].

В настоящее время наибольшим спросом пользуются информационные системы, нацеленные на решение задач описания и диагностики [1]. Однако в будущем спрос на системы, предоставляющие развитые аналитические функции будет расти. Особенно это касается СППР, поддерживающих процессы высокоуровневого (стратегического) управления организацией, необходимость разра-

ботки и использования которых обоснована в работах [14–16].

Для обеспечения возможности реализации СППР стратегия организации должна быть представлена в виде системы математических моделей, на основе которых поставлены задачи принятия управленческих решений и разработаны эффективные методы их решения.

Предложенные ранее подходы к моделированию стратегии организации делятся на две группы. Первая группа подходов рассматривает стратегию как множество решений, оказывающих определяющее воздействие на деятельность организации и влекущих (при условии их реализации) долгосрочные и/или труднообратимые последствия. Задача определения множества возможных стратегических решений была решена чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнером [17, 18]. 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, было предложено называть *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. Сати [19, 20], Д.С. Шмерлинг [21], В.М. Картвелишвили, Э.А. Лебедюк [22], В. Викрамашингхе, С. Такано [23], М. Аниссех [24]), метода анализа среды функционирования (Р.Ф. Саен [25]), методов дискретной оптимизации (В.С. Малышев, Ю.В. Криволицкий [26], М.Н. Кондратьева [27]). Данные алгоритмы предполагают оценивание решений по ряду критериев независимо друг от друга, то есть без учета их сочетаемости. Однако анализ практики стратегического управления показывает, что часто стратегия оказывается нереализованной именно ввиду недостаточного внимания ее согласованности [28]. 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 стратегических целей (Х. Хуанг, М. Лаи, Л. Лин [29] – метод анализа иерархий; В.М. Глушков [30], Ю.Я. Самохвалов, А.Н. Бутчиков, Е.М. Науменко, О.И. Бурба [31] – метод прогнозного графа);

2) выбор показателей, служащих для измерения уровней достижения целей (Д. Карлуччи [32] – метод анализа сетей; К. Брауэр [33] – корреляционный анализ);

3) оценивание коэффициентов причинно-следственных связей между целями (Дж. Джассби [34] – метод DEMATEL; П. Сувигнджо, У.С. Бититци, А.С. Кэрри [35] – метод анализа иерархий; С.Д. Кардона, М. Дилиа, А. Гарсиа [36] – метод МІС–МАС; Р. Родригез, Дж. Алфаро, А. Орtiz [37] – метод главных компонент);

4) прогнозирование уровней достижения целей (А.С. Акопов [38], Ф. Барнабе [39], Х. Аккерман, К. Орсчот [40], К. Уорен [41], Ю.А. Шебеко, А.И. Масалович [42] – системно-динамическое имитационное моделирование);

5) оптимизация распределения ресурсов (А. Амиртеимури, М.М. Табар [43] – метод анализа среды функционирования; А.И. Кибзун, Ю.С. Кан, А.В. Наумов [44–48] – стохастическое программирование; В.Н. Бурков, Д.А. Новиков [49] – теория активных систем; К.В. Кетова [50] – теория оптимального управления; М.Х. Прилуцкий [51] – многоресурсное сетевое планирование, многоиндексные задачи; А.В. Ильин [52] – экспертные методы);

б) оценивание эффективности исполнения стратегии (М. Пунниямурси, Р. Мурали [53] – теория предпочтений; М. Эль-Баз [54] – нечеткий метод анализа иерархий).

Базой для большинства работ, посвященных стратегии развития организации, является концепция сбалансированной системы показателей (ССП, англ.

Balanced Scorecard, BSC), предложенная Р. Нортон и Д. Капланом [55]. На ее основе М. Хелл, С. Видачич и З. Гарача предложили модель стратегии развития (МСР) организации, которая служит для решения сразу трех задач: оптимизации распределения ресурсов, прогнозирования уровней достижения целей, оценивания эффективности стратегии развития [56]. Опыт использования МСР показал наличие проблем, связанных с определением значений параметров модели. Решение данных проблем представляется актуальным, так как позволяет получить инструмент стратегического управления, лучше приспособленный для применения на практике, чем исходная модель.

Особенно в эффективных моделях, алгоритмах и ПО для поддержки принятия управленческих решений нуждаются российские предприятия аэрокосмической промышленности. Сегодня с целью поддержания рентабельности производства они вынуждены выходить на глобальный рынок, конкуренция на котором высока [57]. Ситуация в отрасли обостряется активной экспансией иностранных авиапроизводителей, а также растущими запросами потребителей к качеству продукции, ее функциональности, скорости производства. Для обеспечения конкурентоспособности российским авиапроизводителям необходимо планировать и осуществлять проекты развития. Так как многие предприятия аэрокосмической промышленности в настоящее время испытывают острый дефицит ресурсов (см. [58, с. 24]), то ресурсы должны использоваться как можно более эффективно, для чего и служат методы стратегического управления организацией [59].

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 математические модели, алгоритмы и

программное обеспечение системы поддержки принятия решений при стратегическом управлении организацией.

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.

В процессе исследования были получены следующие **научные результаты, выносимые на защиту**:

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 и 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, максимизи-

рующего математическое ожидание результата исполнения стратегии, и найден эффективный 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 комплексных стратегий;

5. Задача вычисления оптимального по критерию Гурвица распределения ресурсов сведена к смешанной ЗЛП¹; на базе метода частиц в стае построен алгоритм, позволяющий найти оптимальное распределение ресурсов в случаях, когда решение смешанной ЗЛП не удастся вычислить стандартными методами за приемлемое время; сконструировано два индекса расстояния, служащих для оценивания степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов; разработан подход к вычислению 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 решен ряд практических задач.

Теоретико-методической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых по моделированию стратегии организации, а также работы, посвященные методам принятия решений и их применению при управлении организационными системами. Особое внимание уделено методам теории оптимизации, системного анализа, теории экспертного оценивания.

Для решения поставленных задач использовались приемы концептуального,

¹ Смешанной называется задача, содержащая как дискретные, так и непрерывные переменные.

функционального и математического моделирования. Предложенные в работе алгоритмы реализованы с применением подходов объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработан метод выбора комплексной стратегии организации, отличающийся от методов, предложенных ранее, учетом сочетаемости стратегических решений.

2. Для решения задачи дискретной векторной оптимизации, возникающей в процессе выбора оптимальной стратегии, предложена эффективная вычислительная процедура, использующая оригинальный способ ветвлений и отсечений.

3. Модель стратегии развития (МСР) представлена в двух вариантах, что позволило расширить границы ее применимости как инструмента стратегического управления:

– в *стохастической* МСР значения параметров модели предложено считать случайными величинами и использовать трехточечные и двухточечные экспертные оценки, задающие характеристики законов распределения данных величин;

– в *интервальной* МСР параметры считаются неопределенными величинами, принадлежащими множествам, границы которых задаются двухточечными экспертными оценками.

4. Для интервальной модели разработан эффективный численный алгоритм оптимизации распределения ресурсов, основанный на классическом 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).

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» (805) МАИ, 2014;

– Научном семинаре «Проблемы моделирования развития производственных систем», ЦЭМИ РАН, 2014;

– Международном научно-техническом форуме «Молодежь и будущее авиации и космонавтики», 2013 (работа отмечена дипломом Федерального космического агентства);

– Всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий», ЦЭМИ РАН, 2010–2014;

– Научно-практической конференции «Системный анализ в экономике», Финансовый Университет при Правительстве РФ, 2010, 2012;

– Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», МАИ, 2010 (получен диплом за лучший доклад);

– Межрегиональной конференции «Предпринимательство в промышленности: пути развития. Мероприятия государственной поддержки совместных (кластерных) проектов МСП», 2010.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в журналах, входящих в Перечень ВАК; в 4 публикациях в других изданиях; в 14 работах, входящих в сборники трудов научных конференций. Всего по теме диссертации опубликовано 23 работы.

Области исследования. Работа соответствует следующим областям иссле-

дования 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; разработка методов и алгоритмов решения 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.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников (139 наименований), списка сокращений, перечня условных обозначений и шести приложений. Работа изложена на 170 страницах, содержит 38 рисунков и 32 таблицы. Нумерация формул, утверждений, рисунков и т.д. – сплошная.

В *первой главе* приведен обзор моделей, алгоритмов и программного обеспечения для стратегического управления организацией; формализованы модели комплексной стратегии и стратегии развития организации. Вначале предложена математическая модель комплексной стратегии организации; описаны существующие подходы к выбору комплексной стратегии, указаны их недостатки и предложены пути совершенствования (таким образом, решена первая задача исследования). Далее рассмотрена проблема формирования и оценки эффективности стратегии развития: подробно освещена концепция сбалансированной системы показателей и приведен обзор развивающих ее работ. Особое внимание уделено модели стратегии развития (MCP), предложенной М. Хеллом, С. Видачичем и З. Гарача: посылки MCP формализованы и представлены в виде набора определений и допущений, что позволило выявить достоинства и недо-

статки модели, ограничивающие ее практическое применение (таким образом, решена вторая задача исследования). Наконец, приведен краткий обзор ИТ-систем, поддерживающих принятие управленческих решений при стратегическом управлении организацией. В заключении главы приведены выводы и поставлены задачи исследования, связанные с конструированием алгоритма выбора оптимальной комплексной стратегии, устранением недостатков МСР, а также разработкой комплекса программ, реализующего рассматриваемые модели и алгоритмы.

Во *второй главе* представлено решение третьей и четвертой задач исследования. Вначале изложен новый алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии организации. Далее описаны методы получения оценок параметров модели стратегии развития. Предложена стохастическая МСР, поставлена задача оптимизации распределения ресурсов и указан численный метод ее решения. Затем предложена интервальная МСР. В рамках данной модели также поставлена задача оптимизации и разработаны эффективные методы ее решения. Сконструировано два индекса расстояния, позволяющие оценить различие между двумя заданными распределениями ресурсов. Наконец, предложен метод вычисления показателя, характеризующего снижение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп интервальной МСР. В завершении главы приведены выводы.

В *третьей главе* описан комплекс программ, который представляет собой систему поддержки принятия решений (СППР), реализующую предложенные модели и алгоритмы; приведены примеры практического использования разработанного комплекса. Таким образом, решена пятая задача исследования. Вначале приведена архитектура СППР, предложен алгоритм использования системы в процессе стратегического управления организацией. Затем применение комплекса программ продемонстрировано на примере конструкторского бюро (КБ), проектирующего и производящего легкую авиационную технику. Далее рассмотрено применение отдельных подсистем СППР в процессе стратегиче-

ского управления различными организациями. С помощью подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии выбрана стратегия телекоммуникационной компании. Применение подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей продемонстрировано на примере ИТ-стратегии факультета, а также на примере компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики. В завершении главы приведены выводы.

В *заключении* суммированы результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, подведен общий итог, указаны направления дальнейших исследований.

ГЛАВА 1. ОБЗОР МОДЕЛЕЙ, АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ.

1.1. Модели и алгоритмы, представляющие стратегию организации как множество решений.

Согласно одному из распространенных подходов к моделированию стратегии организации стратегия понимается как множество решений, оказывающих определяющее воздействие на деятельность организации и влекущих (при условии их реализации) долгосрочные и/или труднообратимые последствия. Задача определения множества возможных стратегических решений была решена чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнером [17, 18]. Он выделил множество *подстратегий* (номенклатуры, ассортимента, масштабов производства, качества продукции, рыночной экспансии, конкуренции, ценообразования, структуры рынка сбыта и др.) и для каждой подстратегии сформировал набор *альтернативных стратегических решений*. Например, для подстратегии ассортимента это такие решения, как «Широкоассортиментное производство», «Узкоассортиментное производство», «Среднеассортиментное производство». Совокупность решений, в которую входит по одному решению из каждой подстратегии, было предложено называть *комплексной стратегией* организации.

Универсальный структурированный список подстратегий и стратегических решений приведен в монографии [18, с. 503]. В данной работе предложено рассматривать 69 подстратегий. Тем не менее, в каждом конкретном случае может быть выделено некоторое подмножество *основных* подстратегий. Например, в работе [60] для компаний, предоставляющих услуги мобильной связи, выделено 19 основных подстратегий (см. Приложение В). Кроме того, рассматриваемый состав подстратегий и решений, предложенный в монографии [18] может меняться. Так, например, для компании, производящей легкую авиационную технику, в рамках номенклатурной подстратегии можно рассматривать не общие решения – «Монопродуктовое производство», «Доминантно-продуктовое

производство», «Полипродуктовое производство», а более конкретные варианты – «Автожиры», «Планеры», «Дирижабли», «Автожиры и планеры», «Планеры и дирижабли», «Автожиры, планеры и дирижабли».

Несмотря на то, что концепция комплексной стратегии, отвечает на вопрос «Что должна представлять собой стратегия организации?», практическое ее применение связано с необходимостью разработки алгоритма, описывающего, как должна формироваться комплексная стратегия, каким образом следует выбирать решения из множества альтернатив.

В отечественной и зарубежной литературе был предложен ряд методик для выбора наилучших стратегических решений. В работе [25] для выбора стратегических решений предложено использовать модифицированный метод анализа среды функционирования (АСФ, англ. *Data Envelopment Analysis, DEA*). В статьях [23, 24] с этой целью использовался метод анализа иерархий. В работах [26, с. 60; 27, с. 151] задача выбора наилучшего набора стратегических решений представлена как оптимизационная «задача о рюкзаке».

В упомянутых работах предполагается оценивание эффективности каждого из рассматриваемых вариантов по ряду критериев независимо от других вариантов. Однако эффективность отдельных решений, входящих в комплексную стратегию является необходимым, но не достаточным условием эффективности стратегии в целом. Еще одним важным требованием является *сочетаемость* (согласованность) формирующих ее решений. Так, если некоторые решения при их отдельном рассмотрении соответствуют возможностям организации, то их совместная реализация может не удовлетворять данному критерию. Примером здесь может служить тройка решений «Ценовое лидерство», «Лидерство в качестве профильной продукции» и «Расширение охватываемого сектора рынка». Также примером плохо сочетающихся решений служит пара «Лидерство в качестве продукции» и «Использование низкокачественных ресурсов».

Рассмотрим математическую модель комплексной стратегии организации. Пусть комплексная стратегия охватывает h подстратегий. В рамках i -й подстра-

тегии ($i = \overline{1, h}$) выделяется m_i альтернативных стратегических решений $D_i \triangleq \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im_i}\}$. Введенная таким образом стратегическая иерархия представлена на рис. 1.

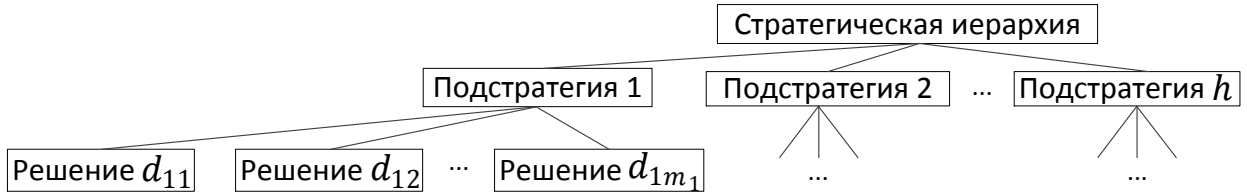


Рис. 1. Стратегическая иерархия

Определение 1. Кортеж $S_C \triangleq (d_{1j_1}, d_{2j_2}, \dots, d_{hj_h}) \in \mathbb{S} \triangleq D_1 \times D_1 \times \dots \times D_h$, состоящий из избранных решений по всем h подстратегиям, назовем *комплексной стратегией* организации.

Постановка задачи выбора комплексной стратегии зависит от принимаемых критериев оценки качества стратегии. В работе [60] было предложено оценивать каждое решение по двум критериям – «Соответствие потенциалу организации»² ($f_1(\cdot)$) и «Соответствие особенностям и тенденциям рынка»³ ($f_2(\cdot)$). Принято, что каждый критерий имеет бинарную шкалу оценки: так, например, $f_1(d_{ij}) = 1$, если решение d_{ij} соответствует потенциалу организации, и $f_1(d_{ij}) = 0$ в противном случае.

Оптимальная комплексная стратегия S_C^* определена как та, которая удовлетворяет двум условиям:

- 1) $f_i(S_C^{*j}) = 1$ ($i = \overline{1, 2}, j = \overline{1, h}, S_C^{*j}$ – j -й элемент стратегии S_C^*);
- 2) S_C^* не содержит подмножеств несочетаемых решений.

Алгоритм формирования оптимальной комплексной стратегии, предложенный в работе [60], представлен на рис. 2.

² Потенциал представляет собой совокупность ресурсов и возможностей организации, определяющих перспективы ее деятельности. Таким образом, критерий «Соответствие потенциалу» определяет соответствие решения финансовому состоянию организации, возможностям инвестирования, уровню технического развития оборудования, кадровому ресурсу и т.п.

³ Критерий «Соответствие особенностям и тенденциям рынка» определяет, соответствует ли стратегическое решение современному уровню развития рынка (уровню компаний-конкурентов, а также подобных им иностранных компаний), обеспечивает ли оно создание долговременных конкурентных преимуществ.

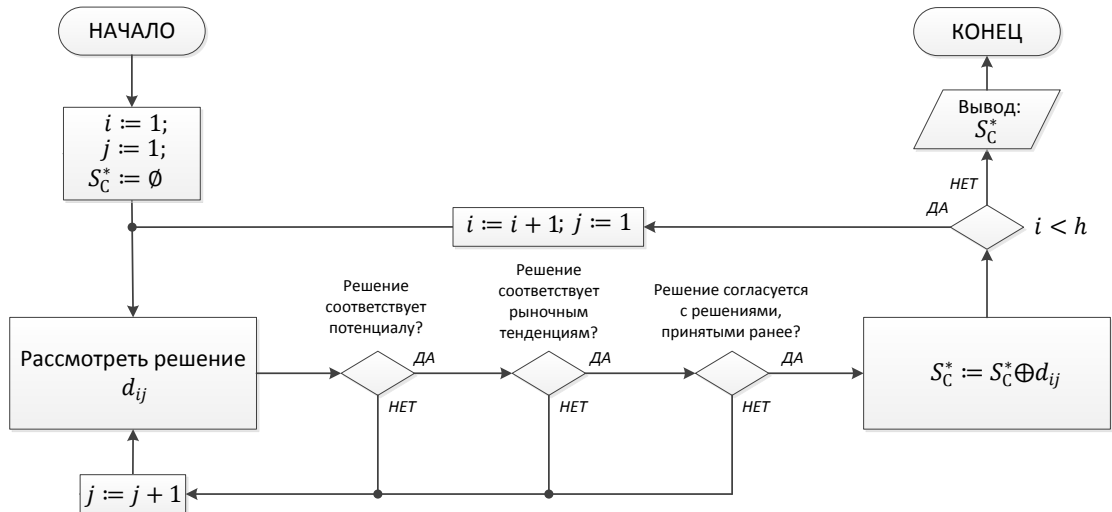


Рис. 2. Алгоритм формирования комплексной стратегии (по работе [60])

Так как каждое решение проверяется на согласованность *ранее* принятым решениям, то результирующая стратегия зависит от порядка рассмотрения подстратегий и решений. В работе [60, с. 112] указывается, что очередность «должна выстраиваться исходя из специфики конкретной отрасли», однако не приводится алгоритма, позволяющего ее определить. Также говорится, что «процедура в общем случае носит итеративный характер: принятие того или иного варианта на текущем шаге может изменить результаты предыдущих шагов, поскольку новый вариант может привести к изменению потенциала предприятия» [60, с. 114]. Это значит, что после принятия каждого решения нужно возвращаться к переоценке критерия $f_1(\cdot)$ для всех ранее принятых решений.

Бинарность шкал частных критериев не позволяет экспертам достаточно точно выразить свои предпочтения – для обеспечения существования стратегии удовлетворяющей введенным условиям оценку «1» приходится давать даже слабо соответствующим ей решениям.

Одним из возможных путей совершенствования подхода к выбору комплексной стратегии является использование *метода анализа иерархий* (МАИ, англ. *Analytic Hierarchy Process*, АНР) для оценивания качества стратегических решений [19]. Пусть каждое решение d_{ij} может быть оценено экспертами⁴ по

⁴ В качестве экспертов могут выступить директора департаментов, консультанты, специалисты отдела планирования, то есть лица хорошо знакомые с деятельностью организации и тенденциями развития внешней среды.

ряду частных критериев $f_q(\cdot)$ ($q = \overline{1, t}$, где t – количество критериев). Тогда в соответствии с АНР каждому стратегическому решению d_{ij} может быть присвоен приоритет

$$w_{ij} \triangleq \sum_{q=1}^t \alpha_{iq} f_q(d_{ij}),$$

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. Соответствие потенциалу не включается в набор частных критериев (оно будет учитываться при оценивании сочетаемости решений), однако кроме соответствия особенностям и тенденциям рынка могут быть введены такие критерии, как надежность реализации, соответствие желаемому состоянию организации, социальная приемлемость, экологическая приемлемость и др.

Веса частных критериев, а также оценки решений по данным критериям получают с использованием процедуры парных сравнений. Процедура оценивания некоторого множества объектов относительно заданной цели в АНР универсальна. Рассмотрим ее на примере получения оценок альтернативных стратегических решений $\{d_1, \dots, d_n\}$ относительно некоторого критерия. Идея процедуры заключается в том, что эксперту задаются вопросы: «Во сколько раз i -е стратегическое решение более предпочтительно, чем j -е стратегическое решение?» Ответ эксперта в соответствии с фундаментальной шкалой оценок, представленной в табл. 1, выражается числом $a_{ij} \in \{1/9, 1/8, \dots, 1/2, 1, 2, \dots, 8, 9\}$.

Таблица 1

Фундаментальная шкала оценок (заимствована из работы [20, с. 37])

| Степень влияния | Определение | Комментарий ^{а)} |
|-----------------|---------------------------------|---|
| 1 | Равная | i -е и j -е решения одинаково предпочтительны |
| 2 | Слабая степень преваляирования | Промежуточная градация между равной и средней степенью преваляирования |
| 3 | Средняя степень преваляирования | Опыт эксперта позволяет считать, что i -е решение немного более предпочтительно, чем j -е решение |

^{а)} Комментарий соответствует случаю, когда i -е решение не менее предпочтительно, чем j -е решение.

| Степень влияния | Определение | Комментарий |
|-----------------|--|---|
| 4 | Степень преваляирования выше среднего | Промежуточная градация между средней и умеренно сильной степенью преваляирования |
| 5 | Умеренно сильная степень преваляирования | Опыт эксперта позволяет считать, что i -е решение явно более предпочтительно, чем j -е решение |
| 6 | Сильная степень преваляирования | Промежуточная градация между умеренно сильной и очень сильной степенью преваляирования |
| 7 | Очень сильная степень преваляирования | Опыт эксперта позволяет считать, что i -е решение гораздо более предпочтительно, чем j -е решение |
| 8 | Очень, очень сильная степень преваляирования | Промежуточная градация между очень сильной и абсолютной степенью преваляирования |
| 9 | Абсолютная степень преваляирования | Очевидно, что i -е решение несравнимо более предпочтительно, чем j -е решение |

Если i -е стратегическое решение не менее предпочтительно, чем j -е решение, то для a_{ij} берется значение из таблицы, в противном случае в соответствии с таблицей оценивается преваляирование j -го решения над i -м, а для a_{ij} берется взаимно обратное значение (например, если эксперт считает, что j -е решение *немного* более предпочтительно, чем i -е, то оценка a_{ij} принимается равной $1/3$).

Из полученных оценок с учетом того, что $a_{ii} = 1$, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ($i, j = \overline{1, n}$), формируется матрица суждений:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & 1 & \vdots \\ a_{n1} & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

Вектор приоритетов решений \vec{w} вычисляется по формуле $\vec{w} = \vec{w}' / \sum_i w'_i$, где \vec{w}' – собственный вектор матрицы A , соответствующий ее максимальному действительному собственному значению λ_{\max} , то есть $A\vec{w}' = \lambda_{\max}\vec{w}'$ (согласно теореме Фробениуса-Перрона матрица A имеет хотя бы одно действительное собственное значение).

Если столбцы матрицы A непропорциональны, то имеет место несогласованность оценок эксперта. В качестве меры согласованности оценок согласно Т.

Саати можно взять следующее соотношение (отношение согласованности, англ. *consistency ratio*):

$$C.R. \triangleq \frac{C.I.}{R.I.},$$

где $C.I.$ – индекс согласованности (англ. *consistency index*), вычисляемый по формуле:

$$C.I. \triangleq \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

где $R.I.$ – случайный индекс согласованности (англ. *random consistency index*). Случайный индекс согласованности вычисляется посредством усреднения множества индексов $C.I.$ для матриц A заданного размера, сгенерированных случайным образом. Значения $R.I.$ для матриц размером от 1×1 до 10×10 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения случайного индекса согласованности для матриц различной размерности (заимствованы из работы [20, с. 66])

| Порядок матрицы суждений n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Значение $R.I.$ | 0 | 0 | 0.52 | 0.89 | 1.11 | 1.25 | 1.35 | 1.40 | 1.45 | 1.49 |

Вычисленный для матрицы суждений нормированный собственный вектор считается приемлемой оценкой приоритетов рассматриваемых объектов, если $C.R. \leq 0.1$ (может допускаться 0.2, но не более).

Часто вместо фундаментальной шкалы $\{1, 2, \dots, 9\}$ более эффективным оказывается использование *сбалансированной шкалы* (англ. *balanced scale*) $\{1, 1.27, 1.62, 2.09, 2.78, 3.86, 5.80, 10.30, 33.3\}$ [61]. В качестве меры согласованности (англ. *consistency measure*, $C.M.$), при использовании сбалансированной шкалы выступает соотношение:

$$C.M. \triangleq \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i>j} \frac{\bar{g}_{ij} - \underline{g}_{ij}}{(1 + \bar{g}_{ij})(1 + \underline{g}_{ij})}, \quad (1)$$

где величина $\bar{g}_{ij} = \max_k (a_{ik} a_{kj})$, а $\underline{g}_{ij} = \frac{1}{\bar{g}_{ji}}$.

Следует отметить, что АНР позволяет осуществлять групповое оценивание.

В этом случае матрицы парных сравнений должны быть получены от нескольких лиц, а затем агрегированы с целью получения групповой оценки. Такой подход дает возможность учесть мнения нескольких экспертов, однако требуется, чтобы эти мнения были согласованы. Часто удается добиться согласованности посредством переговоров, обмена доводами, отбрасывания «крайних» оценок. Существуют модификации АНР, не требующие согласования мнений экспертов, например, *интервальный метод анализа иерархий* (ИМАИ, англ. *Interval Analytic Hierarchy Process, IANP*), результирующие оценки согласно которому представляют собой не числа, а отрезки [62]. Однако при применении IANP усложнится последующее использование полученных оценок с целью выбора наилучшей комплексной стратегии – возникает необходимость применения особых критериев для устранения интервальной неопределенности – максиминного, макимаксного и др.

Напомним, что эффективность отдельных составляющих комплексную стратегию решений с точки зрения частных критериев является необходимым, но не достаточным условием эффективности стратегии в целом. Хорошая стратегия должна обладать свойством *согласованности*, то есть не содержать подмножеств решений, совместная реализация которых по каким-либо причинам нежелательна, нецелесообразна или затруднена.

Обозначим множество всех возможных решений $D \triangleq \bigcup_{i=1}^h D_i$. Пусть $\mathbb{E} = \{E_1, E_2, \dots, E_{|\mathbb{E}|}\} \subseteq 2^D$ – 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 попросив указать нежелательные сочетания решений, которые принадлежат данной стратегии.

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

Обозначим \vec{F}^* векторную оценку, которая была бы выделена ЛПР как наиболее предпочтительная при предъявлении ему множества оценок стратегий, Парето-недоминируемых при минимизации $\vec{F}(S_C)$ на множестве \mathbb{S} .

Определение 2. *Оптимальной* назовем стратегию S_C^* , на которой реализуется оценка \vec{F}^* .

Задача выбора комплексной стратегии состоит в том, чтобы выбрать из множества \mathbb{S} оптимальную стратегию S_C^* при условии, что взаимодействие с ЛПР ограничено двумя возможными действиями:

1) предложить ЛПР оценить согласованность стратегии S_C , указав элементы множества $2^{S_C} \cap \mathbb{E}$ (то есть, перечислив нежелательные сочетания решений, принадлежащие S_C);

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

Стратегические решения, предложенные работе [18], не задают конкретных действий организации, однако их принятие позволяет ограничить набор этих действий и, тем самым, упрощает их формирование в дальнейшем. Утверждается, что «именно на базе комплексной стратегии предприятия как целостного объекта управления должны строиться бизнес-планы для отдельных временных периодов, программ, проектов» [18, с. 533].

Альтернативный подход к определению стратегии организации был пред-

ложен в рамках концепции *сбалансированной системы показателей* (ССП), разработанной Н. Нортоном и Д. Капланом и являющейся одной из наиболее цитируемых концепций стратегического управления [63]. Чтобы отличать стратегию, рассматриваемую в рамках СПП, от комплексной стратегии будем называть ее *стратегией развития* организации. Модели и алгоритмы, связанные с формированием и оценкой эффективности стратегии развития, рассмотрены в следующем разделе.

1.2. Модели и алгоритмы, представляющие стратегию организации как систему целей и действий по их достижению.

Согласно концепции сбалансированной системы показателей *стратегия развития* представляет собой систему взаимосвязанных целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации [55]. Данное определение восходит к работам А. Чандлера, который определял формирование стратегии организации, как «установление базовых долгосрочных целей и задач предприятия и выработку программы действий и распределения ресурсов, необходимых для реализации этих целей» [64].

Интеграция в мировое экономическое пространство для отечественных предприятий – это вопрос не только их выживания, но и дальнейшего развития на основе активизации инновационных факторов [138]. Концепция СПП сосредоточивает внимание на планировании развития, а не текущей деятельности предприятия. Она позволяет планировать развитие нематериальных активов, особенно важно для компаний авиационной отрасли, так как нематериальные активы играют в их деятельности существенную роль. СПП обеспечивает системный взгляд на развитие предприятия, интегрируя финансовые и нефинансовые показатели в процессе построения карты стратегии, которая показывает влияния реализации различных действий на достижение желаемого состояния организации. Наконец, СПП является стандартом de-facto, поддерживаемым информационными системами класса Business Intelligence и Corporate Performance Management.

Согласно исследованию консалтинговой компании Bain & Company примерно 50% крупнейших компаний в мире в настоящее время используют эту систему в процессе внутреннего управления [139].

Основные идеи ССП были предложены американскими исследователями Д. Нортоном и Р. Капланом в статье [65] и развиты в работах [66–68]. Эволюция ССП подробно описана в статье [69]. В переводе на русский язык были опубликованы работы [55, 70–73].

Одним из основных понятий ССП является *цель* – конкретный измеримый желаемый результат деятельности организации. Измеримость цели предполагает, что ей в соответствие поставлен количественный показатель⁵. Определим вектор *уровней достижения целей* $\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ (n – общее количество целей организации⁶) 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 (англ. *As-Is*); $I_j(T)$ – фактическое значение показателя, в момент времени T , равный периоду планирования (англ. *To-Be*); $I_j^*(T)$ – желаемое значение показателя. В текущий момент времени значения $\{I_j(T)\}$ не известны, поэтому возникает *задача прогнозирования уровней достижения целей*, подходы к решению которой рассмотрены ниже.

Связи между целями согласно ССП задаются картой стратегии (англ. *strategy map*).

Определение 3. *Карта стратегии* – это слабо связный ориентированный ациклический нагруженный граф $\mathcal{G} \triangleq (N, K, \{k_{ij}\})^7$, где N – множество вершин графа, соответствующих стратегическим целям организации; K – множество

⁵ Показатели, служащие для измерения достижения стратегических целей, принято называть *ключевыми показателями эффективности* (КПЭ, англ. *Key Performance Indicators*, KPI).

⁶ Рекомендованное количество стратегических целей – от 20 до 25 штук.

⁷ Условимся обозначать множества констант (переменных) в фигурных скобках, если пределы варьирования индексов не указываются. Если же пределы варьирования индексов указываются, то фигурные скобки будем опускать. Например, можно написать «множество значений коэффициентов $\{k_{ij}\}$ » или «множество значений коэффициентов k_{ij} ($j = \overline{1, n}, i \in N_j$)».

дуг графа, определяющих взаимное влияние достижения целей (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*), определяющих интенсивность влияния достижения i -й цели на достижение j -й цели.

Цели условно разделяются на *основные* (англ. *set objectives*) и *промежуточные* (англ. *derived objectives*). Достижение основных целей ведет непосредственно к достижению желаемого состояния организации, достижение же промежуточных целей ведет к достижению целей основных. Таким образом, основные цели служат для измерения результативности исполнения стратегии, в то время как промежуточные цели вводятся для измерения результативности исполнения *стратегических действий* (англ. *strategic activities*).

Действия могут быть направлены на совершенствование отдельной сферы деятельности организации (например, развитие ИТ). В этом случае основные цели, которые не связаны с рассматриваемой сферой деятельности, называются *внешними* (англ. *external objectives*). Без ограничения общности можно принять, что первые m целей являются основными, из них первые l целей *не* являются внешними.

Будем считать, что 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 $(i, j) \in K$.

Абстрактный пример стратегической карты представлен на рис. 3. Данная карта содержит 12 целей. Три из них основные, причем третья – внешняя.

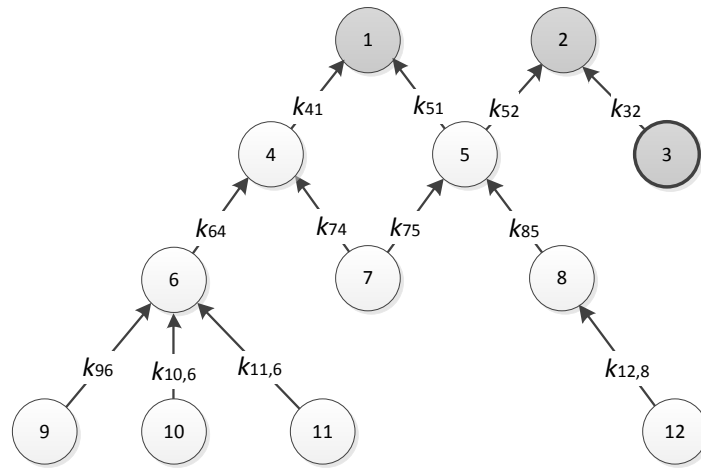


Рис. 3. Пример карты стратегии ($n=12$, $m=3$, $l=2$)

Согласно классической концепции ССП множество целей N^8 разбивается на попарно непересекающиеся подмножества, принадлежащих перспективам «Финансы» – \mathcal{F} , «Рынки и клиенты» – \mathcal{M} , «Внутренние бизнес-процессы» – \mathcal{P} , «Обучение и развитие» – \mathcal{L} , и подразумевается, что выполняются следующие условия:

- $(i \in \mathcal{F}) \wedge ((i, j) \in K) \Rightarrow j \in \mathcal{F}$;
- $(i \in \mathcal{M}) \wedge ((i, j) \in K) \Rightarrow j \in (\mathcal{F} \cup \mathcal{M})$;
- $(i \in \mathcal{P}) \wedge ((i, j) \in K) \Rightarrow j \in (\mathcal{F} \cup \mathcal{M} \cup \mathcal{P})$;
- $(i \in \mathcal{L}) \wedge ((i, j) \in K) \Rightarrow j \in (\mathcal{F} \cup \mathcal{M} \cup \mathcal{P} \cup \mathcal{L})$.

Выполнение данных условий не является обязательным. Напротив, как было показано в исследовании [34], достижение финансовых целей, по сути, необходимо для достижения целей связанных с совершенствованием внутренних бизнес-процессов и удовлетворением клиентов. Кроме того, может меняться состав перспектив. Так, например, в работе [74] было предложено рассматривать перспективы «Устойчивость», «Стейкхолдеры», «Внутренние бизнес процессы», «Обучение и развитие».

В работе [75] было показано, что формирование стратегии развития организации в большинстве случаев опирается на рациональный подход, связанный с применением специальных моделей и алгоритмов. Если рассматривать процесс

⁸ Строго говоря, N – это не множество целей, а множество вершин карты стратегии, соответствующих целям, однако для краткости позволим себе отождествлять их.

стратегического управления с точки зрения цикла принятия решений Деминга–Шухарта (см., например, [76]), то ССП представляет собой базу для разработки моделей и алгоритмов, позволяющих:

1. На этапе *планирования* (англ. *Planning*):

- определить долгосрочные цели организации и взаимосвязи между ними;
- сформировать множество показателей, служащих для измерения степени достижения целей;
- априорно (при отсутствии исторических данных) оценить количественные характеристики взаимосвязей стратегических целей (значения коэффициентов причинно-следственных связей $\{k_{ij}\}$);
- дать прогнозы уровней достижения целей;
- сформировать множество стратегических действий, направленных на достижение целей;
- оптимизировать распределение ресурсов между стратегическими действиями.

2. На этапе *исполнения* (англ. *Doing*):

- создать механизмы мотивации лиц, задействованных в реализации стратегии организации.

3. На этапе *проверки* (англ. *Checking*):

- оценить результативность исполнения стратегии организации.

4. На этапе *корректировки* (англ. *Action*):

- выполнить анализ причин отклонений фактических значений показателей от плановых (в частности, провести апостериорную оценку коэффициентов причинно-следственных связей).

Перечисленные задачи представлены на рис. 4. Рассмотрим их более подробно.

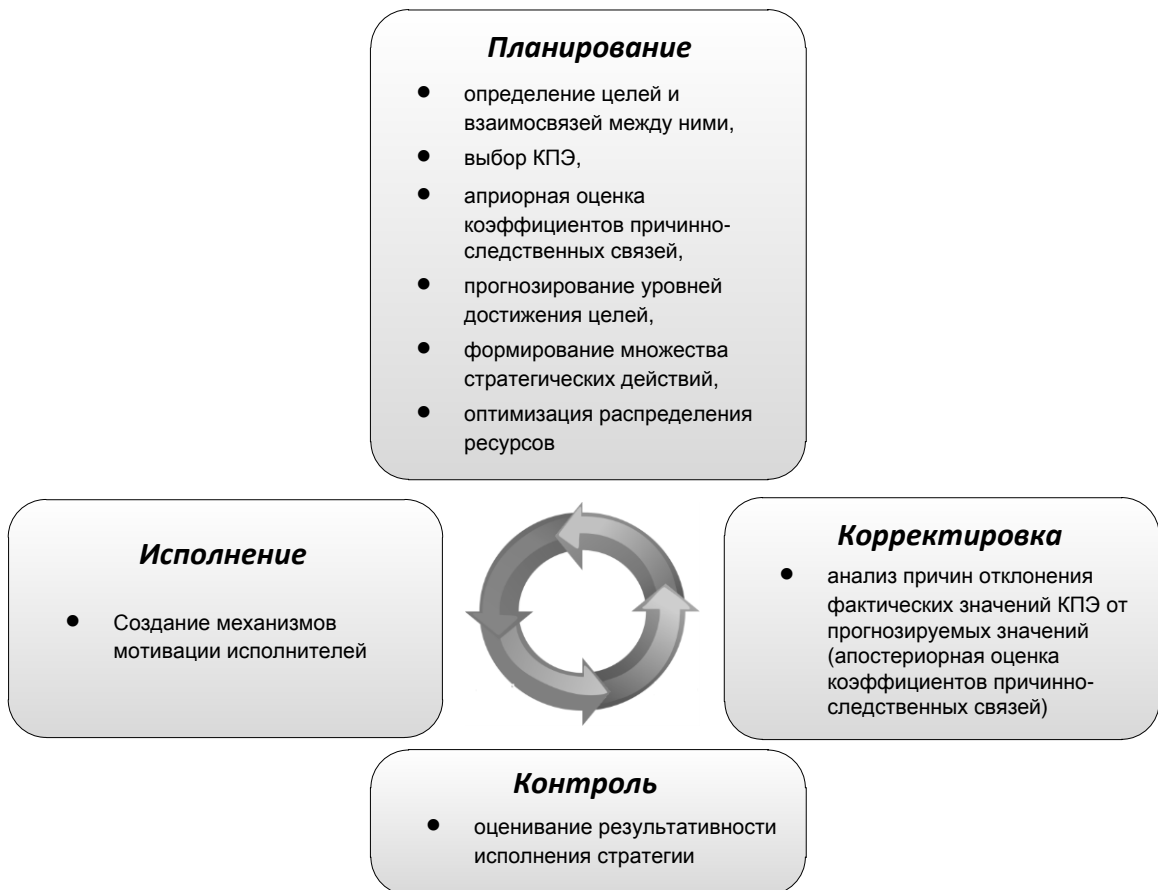


Рис. 4. Цикл Деминга-Шухарта для стратегического управления организацией на базе ССП

Проблеме формирования карты стратегии (то есть определения совокупности стратегических целей и взаимосвязей между ними) посвящено множество публикаций. Наиболее полно концепция построения и использования стратегических карт изложена в работе [55]. Общие рекомендации по формированию карты стратегии даны в работах [77–79]. Практические примеры построения стратегических карт описаны в статьях [80–83], множество карт приведено в каталоге [84]. В статье [29] стратегические цели вначале ранжируются по важности с использованием метода анализа иерархий, а затем из них формируется карта стратегии. Работы [85–87] посвящены описанию подходов к конструированию стратегической карты с применением методики SWOT-анализа. Формальные методы построения древовидных систем целей и вычисления их характеристик обсуждаются в работах, посвященных методу прогнозного графа [30; 31].

Выбору показателей, служащих для измерения достижения целей (ключевых показателей эффективности, КПЭ) посвящена статья [32]. Согласно данной работе вначале необходимо сформировать достаточно широкое множество показателей с целью последующего его сужения. Для выбора оптимального набора показателей предлагается использовать метод анализа сетей, являющийся развитием метода анализа иерархий и позволяющий описывать проблемную ситуацию не только в виде древовидной, но и в виде сетевой структуры. Так как метод анализа сетей – это экспертный метод, то он обладает тем преимуществом, что не требует наличия исторических данных по динамике изменения значений показателей и, следовательно, подходит для априорного оценивания важности КПЭ. Описанный в статье [32] метод выбора КПЭ не предполагает предварительного построения карты стратегии. Скорее наоборот, полученные с его помощью данные (список показателей и их относительные веса) могут служить почвой для ее формирования.

Проблеме априорного определения количественных характеристик взаимосвязей между целями организации посвящены работы [34–36, 38–42]. Авторы работ [38–42] предложили использовать методы системной динамики (англ. *system dynamics*) для моделирования взаимосвязей между стратегическими целями. Этот подход рационален, однако он сложен в реализации, так как не существует универсальной методики конструирования системно-динамических моделей. В статье [34] для получения значений коэффициентов причинно-следственных связей предложен метод, разработанный в рамках концепции DEMATEL (англ. *DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory*). В статье [35] с той же целью использовался метод анализа иерархий, а в статье [36] – метод MIC–MAC. Подход, предложенный в [34], имеет то преимущество, что позволяет иметь дело с нечеткими оценками, а метод, описанный в [35], хорошо согласуется с иерархической структурой карты стратегии.

Прогнозирование уровней достижения целей – задача не менее важная, чем определение их состава и взаимосвязей между ними. В работе [56] целевые

значения предлагается определять на основании того, сколько ресурсов будет потрачено на достижение той или иной стратегической цели (каждой цели соответствует единственный показатель и действие, направленное на улучшение значения данного показателя). Подразумевается, что для каждой цели известны оценки затрат ресурсов, необходимых для исполнения соответствующего ей действия, и ресурсы распределяются между действиями оптимальным с точки зрения заданного критерия образом.

Одной из самых простых и вместе с тем универсальных методик для формирования набора стратегических действий является SWOT-анализ, описанный в работе [88]. Классический SWOT-анализ подразумевает качественное рассмотрение SWOT-элементов – сильных (англ. *Strength*) и слабых (англ. *Weakness*) сторон организации, а также ее возможностей (англ. *Opportunities*) и угроз (англ. *Threats*), – однако существуют и количественные модификации данной методики. Например, в монографии [26, с. 60] приводится описание Excel-модели, позволяющей на основе количественного описания SWOT-факторов выработать оптимальное множество действий (задача сведена к оптимизационной «задаче о ранце»). В работе [89] для определения стратегических действий был предложен метод TOWS-синтеза, заключающийся в комбинировании SWOT-элементов (данный метод схож по своей идее с морфологическим подходом к синтезу решений [90, с. 493]). Как было показано в статье [23], в совокупности с методом анализа иерархий, позволяющим ранжировать SWOT-элементы по важности, метод TOWS-синтеза является мощным инструментом для отбора наиболее эффективных стратегических действий. Для ранжирования действий по важности в работе [24] также использовался метод анализа иерархий. В работе [25] с данной целью предложено использовать усовершенствованный метод анализа среды функционирования (АСФ, англ. *Data Envelopment Analysis, DEA*). Ранжирование производится на основании данных о затратах, необходимых для реализации каждого действия, и выгодах, получаемых в результате исполнения действий. Затраты и выгоды могут быть заданы как коли-

чественно (в виде конкретных значений), так и качественно (посредством упорядочивания), при этом допускаются не точные, а интервальные количественные оценки. Таким образом, данный метод позволяет оперировать неточными данными, полученными от экспертов, что делает его использование особенно привлекательным в процессе стратегического управления.

Подход к оптимизации распределения ресурсов организации между стратегическими действиями, учитывающий взаимосвязи между целями и действиями, был предложен в работе [56].

Что касается методов, поддерживающих фазу «Исполнение», то для создания эффективного механизма мотивации карта должна быть каскадирована, при этом агрегированные КПЭ трансформируются в индивидуальные. Как показано в работе [91], связывая размер заработной платы (поощрений) сотрудников компании с уровнями достижения индивидуальных КПЭ можно выстроить систему мотивации. Построению мотивационных механизмов посвящен ряд работ, опубликованных специалистами Института проблем управления РАН. В частности, в работе [49] приведены различные виды систем стимулирования, рассмотрены вопросы, касающиеся их оптимальности.

Для оценки результативности исполнения стратегии в работе [53] предложен подход к формированию единственного интегрального показателя эффективности, основывающийся на свертке разностей между фактическими и плановыми уровнями показателей. Веса различных показателей и их групп здесь определяются при помощи процедуры парных сравнений, подобной процедуре, используемой в АНР. В работе [56] результативность исполнения стратегии предложено измерять как взвешенную совокупность уровней достижения основных целей. Общая оценка эффективности предприятия, выпускающего авиационные компрессоры и охлаждающие установки, с использованием концепции рассуждений на базе свидетельств (англ. *evidential reasoning*) получена в работе [92]. В статье [54] для оценки эффективности деятельности производственного предприятия по четырем направлениям – разработка, планирование,

производство, обслуживание клиентов – предложено использовать нечеткий АНР.

На этапе корректировки исполнения стратегии может быть проведена апостериорная оценка коэффициентов причинно-следственных связей (при условии, что накоплен достаточный для анализа объем статистических данных по динамике значений КПЭ). В работах [37, 93] с этой целью использовался метод главных компонент (англ. *principal components method*). В статьях [33, 94–96] для выявления взаимосвязей между КПЭ применялся корреляционный анализ. Оценки, полученные при помощи статистических методов более объективны, чем оценки, полученные с применением экспертных процедур на этапе планирования, поэтому априорные оценки можно заменить апостериорными на следующей итерации цикла стратегического управления.

Таким образом, можно заключить, что на основании концепции ССП был предложен широкий спектр моделей и методов, служащих для поддержки принятия решений в рамках цикла стратегического управления организацией. Отдельно можно выделить *модель стратегии развития* (МСР) организации, предложенную М. Хеллом, С. Видачичем и З. Гарача [56].

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

$$x_j \leq \sum_{\tilde{i}=1}^{n_j} \tilde{k}_{\tilde{i}j} x_{\tilde{i}}, \quad j = \overline{1, n},$$

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

Предполагается, что для достижения поставленных целей требуется s видов ресурсов, и вектор $\vec{R} = (R_1, R_2, \dots, R_s)$ показывают их доступные объемы. Принимаются следующие допущения:

1) каждой промежуточной цели 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 соответствующего действия, чтобы уровень достижения j -й цели мог стать равным 100%⁹; $r_{i, j \leq m} = 0$; $r_{i, n+1} = 1$.

Определение 4. *Распределением ресурсов* между стратегическими действиями называется матрица $U = (u_{ij})_{s \times (n+1)}$, элемент $u_{i, j \in \{m+1, \dots, n\}}$ которой показывает долю i -го ресурса, вкладываемую в исполнение действия, соответствующего j -й цели; элемент $u_{i, n+1}$ показывает долю i -го ресурса, которая остается неизрасходованной; 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:

$$\begin{cases} 0 \leq u_{ij}, & i = \overline{1, s}, j = \overline{1, n+1}, \\ \sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1, & i = \overline{1, s}, \\ u_{ij} = 0, & \text{если } r_{ij} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

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.

Определение 5. *Стратегией развития организации* назовем тройку $S_D \triangleq (\mathcal{G}, \{r_{ij}\}, \{x_j^{\text{ext}}\})$, где \mathcal{G} – карта стратегии, $\{r_{ij}\}$ – множество оценок затрат, $\{x_j^{\text{ext}}\}$ – множество оценок уровней достижения внешних целей.

Затраты $\{r_{ij}\}$, коэффициенты причинно-следственных связей $\{k_{ij}\}$ и уровни достижения внешних целей $\{x_j^{\text{ext}}\}$ будем называть *параметрами* МСР.

Определение 6. *Прогнозируемым уровнем достижения j -й цели* при заданной стратегии S_D , векторе доступных объемов ресурсов \vec{R} и их распределении U

⁹ Следует отметить, что достижение не всех промежуточных целей требует расходования выделенных на исполнение стратегии ресурсов. Некоторые действия могут исполняться за счет ресурсов, направленных на поддержку текущей деятельности организации – в этом случае оценки затрат, соответствующие таким действиям, считаются равными нулю. Также некоторым промежуточным целям могут быть назначены *фиктивные* действия, не требующие для своего исполнения ресурсов. Подобные промежуточные цели могут вводиться для того, чтобы прояснить логику причинно-следственных связей и улучшить читаемость карты стратегии.

называется оптимальное значение x_j^* в задаче линейного программирования $\sum_{j=1}^n x_j \rightarrow \max_{\vec{x}}$ при ограничениях:

$$\begin{cases} 0 \leq x_j \leq 1, & j = \overline{1, n}, \\ x_j = x_j^{\text{ext}}, & j = \overline{l+1, m}, \\ x_j r_{ij} \leq u_{ij} R_i, & i = \overline{1, s}, j = \overline{b+1, n}, \\ x_j \leq \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij} x_i, & j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (3)$$

Определение 7. Прогнозируемым результатом исполнения стратегии S_D при заданных \vec{R} и U называется значение показателя

$$I^* \triangleq \sum_{j=1}^m x_j^* w_j, \quad (4)$$

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.

Далее в словосочетаниях «прогнозируемый уровень достижения цели» и «прогнозируемый результат исполнения стратегии» для краткости будем опускать слово «прогнозируемый», говоря «уровень достижения цели» и «результат исполнения стратегии», соответственно.

Будем считать распределение ресурсов U^* оптимальным, если оно максимизирует результат исполнения стратегии. Найти оптимальное распределение ресурсов можно, решив задачу линейного программирования $\sum_{j=1}^m x_j w_j \rightarrow \max_{\vec{x}, U}$ при ограничениях (2), (3). Чем больше прогнозируемый результат исполнения стратегии при оптимальном распределении ресурсов, тем выше эффективность разработанной стратегии развития S_D .

Модель стратегии развития, предложенная в работе [56], – не единственная модель, позволяющая оптимизировать распределение ресурсов организации: например, в работе [43] для оптимизации распределения ресурсов было предложено использовать модифицированную методику АСФ; в [52] – экспертные методы; в статье [97] задача распределения ресурсов при планировании информационной инфраструктуры университета сведена к смешанной ЗЛП; в работах [45–47] задачи оптимального распределения ресурсов (инвестиций) представ-

лены в виде двухэтапных задач стохастического программирования с квантильным критерием; в работе же [48] рассмотрено два варианта задачи оптимального распределения инвестиций – с квантильным критерием и с критерием в виде математического ожидания; в статье [51] задача оптимального распределения ресурсов представлена как многоиндексная задача линейного программирования транспортного типа, которая сведена к задаче поиска максимального потока; в работе [98, с. 86] механизмы распределения ресурса рассматриваются в рамках теории активных систем.

Тем не менее, достоинством МСР является то, что она достаточно универсальна (пригодна для использования широким кругом организаций) и позволяет решить сразу три задачи:

- 1) оптимизировать распределение ресурсов;
- 2) оценить эффективность стратегии;
- 3) дать прогнозы уровней достижения целей.

Использование МСР оказывается уместным при планировании развития предприятий авиационной промышленности, что связано со следующими особенностями их функционирования:

1. Большинство предприятий авиационной промышленности являются проектно-ориентированными, а так как управление проектно-ориентированным предприятием представляет собой управление, ориентированное на результат, то первоочередной задачей является измерение результативности разработанной стратегии [99].

2. В деятельности авиационных предприятий, как правило, большую роль играют нематериальные активы (знания и опыт сотрудников, информационные системы) [100], планирование развития которых естественным образом предусмотрено в рамках концепции ССП.

В то же время, одним из существенных недостатков, ограничивающих практическое применение МСР, 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 модели приняты следующие искусственные допущения:

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

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 снизит результат исполнения стратегии. Наличие отличных от 100% оценок уровней достижения внешних целей *может* изменить и оптимальное распределение ресурсов. Рассмотрим карту стратегии, представленную на рис. 5 (основные цели выделены серым цветом; вторая цель – внешняя).

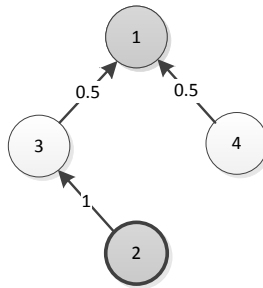


Рис. 5. Карта стратегии, демонстрирующая изменение оптимального распределения ресурсов при снижении оценки уровня достижения внешней цели

Пусть $s = 1$, $\vec{R} = (1)$, $\vec{w} = (0.5, 0.5)$, $r_{13} = 1$, $r_{14} = 1$. Если $x_2^{\text{ext}} = 1$, то одним из оптимальных распределений ресурсов является распределение $U^* = (0, 0, 1, 0, 0)$. Примем, что $x_2^{\text{ext}} = 0.8$. В этом случае приведенное распределение ресурсов не будет оптимальным – оптимальным окажется распределение $U^* = (0, 0, 0, 1, 0)$.

Достаточное условие независимости оптимального распределения ресурсов от прогнозируемых уровней достижения внешних целей дает следующее

утверждение¹⁰.

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 $r_{pj} > 0$.*

Доказательство. Переменные x_j ($j = \overline{1, m}$) в задаче $I(\vec{x}) = \sum_{j=1}^m x_j w_j \rightarrow \rightarrow \max_{\vec{x}, U}$ при ограничениях (2), (3) можно выразить явно через переменные $\{u_{ij}\}$, используя соотношение:

$$x_j = \min \left(\min_i \left(\frac{u_{ij} R_i}{r_{ij}} \right), \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij} x_i, x_j^{\text{ext}}, 1 \right), \quad j = \overline{1, n}.$$

Далее полученные выражения можно подставить в критерий $I(\vec{x})$, таким образом получится ЗЛП с критерием $\tilde{I}(U, \{x_j^{\text{ext}}\}) \rightarrow \max_U$ при ограничениях (2).

Пусть существует путь из внешней цели i , который ведет в основную цель j и проходит по дугам $(i, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_m, j)$, минуя цели, исполнение которых требует расходования ресурсов. В этом случае в критерии можно выделить слагаемое $x_i^{\text{ext}} \times k_{ii_1} \times k_{i_1 i_2} \times \dots \times k_{i_m j}$, не содержащее переменных $\{u_{ij}\}$. Очевидно, что, если все пути из внешней цели i , ведущие в основные цели, минуют цели, достижение которых требует расходования ресурсов, то критерий \tilde{I} можно представить в следующем виде:

$$\tilde{I}(\{x_j^{\text{ext}}\}, U) = \tilde{I}_1(x_i^{\text{ext}}) + \tilde{I}_2(U, \{x_j^{\text{ext}}\}_{j \neq i}),$$

то есть он сепарабелен относительно x_i^{ext} и U . Из теории оптимизации известно, что прибавление константы к целевой функции не меняет точку оптимума, поэтому константу $-\tilde{I}_1(x_i^{\text{ext}})$ можно прибавить к критерию $\tilde{I}(\{x_j^{\text{ext}}\}, U)$, получив эквивалентный в смысле сохранения точки оптимума критерий $\tilde{I}_2(U, \{x_j^{\text{ext}}\}_{j \neq i})$, не зависящий от x_i^{ext} . \square

Таким образом, возникает задача устранения указанных недостатков модели

¹⁰ Справедливость Утверждения 1 дает возможность в некоторых случаях вычислить оптимальное распределение ресурсов без необходимости оценивать уровни достижения внешних целей. Например, это было сделано в работе [87], где условия утверждения оказались выполненными, хотя и не проверялись специально.

стратегии развития, решив которую можно получить новый инструмент стратегического управления, лучше приспособленный для применения на практике, чем исходная модель.

Использование математических моделей и алгоритмов при стратегическом управлении организацией предполагает их реализацию в рамках специализированного программного обеспечения. Краткий обзор ИТ-систем, поддерживающих процессы стратегического управления, представлен в следующем разделе.

1.3. Системы поддержки принятия решений при стратегическом управлении организацией.

Во многих организациях с целью повышения эффективности их функционирования используются *информационные системы* (ИС) [101]. В современном понимании, ИС – это совокупность технического, программного и организационного обеспечения, а также персонала, предназначенная для того, чтобы своевременно обеспечивать надлежащих людей надлежащей информацией.

В отдельную подгруппу корпоративных информационных систем можно выделить системы поддержки принятия решений (СППР) при стратегическом управлении организацией. Психологи обосновывают эффективность применения СППР в процессе стратегического управления, ссылаясь на повышенную ответственность, наличие достаточного количества времени для проведения всестороннего анализа, а также трудность принятия комплексных стратегических решений на основе мысленной экстраполяции прошлого опыта менеджера на текущую ситуацию [102].

Спектр информационных систем, которые могут использоваться при стратегическом управлении организацией, достаточно широк. Основные классы СППР при стратегическом управлении представлены на рис. 6, где они сгруппированы в уровни: системы, расположенные выше, используют данные, полученные при помощи систем, расположенных ниже. Классификация систем проведена по функциональному признаку.



Рис. 6. Классы СППР при стратегическом управлении организацией

Первый (нижний) уровень составляют *транзакционные корпоративные информационные системы* (ТКИС). Формально они не относятся к СППР при стратегическом управлении, так как оперируют *детализированными данными и моделями* (отдельные сделки, договоры, счета, события) и служат для автоматизации оперативной деятельности организации. Классическим примером ТКИС являются ERP-системы (англ. *Enterprise Resource Planning*).

Ко **второму уровню** могут быть отнесены системы *предоставления внешней информации*. Сюда входят провайдеры финансово-экономической и новостной информации (например, *Bloomberg Professional*), системы правовой поддержки (*КонсультантПлюс*), базы данных поставщиков и покупателей (*КОМПАСС*), поисковые роботы (*Avalanche*).

Внешние и внутренние данные для эффективной работы с ними должны быть консолидированы, агрегированы и структурированы с использованием систем *бизнес-интеллекта* (англ. *Business Intelligence, BI*), образующих **третий уровень**. BI-системы обладают наибольшей универсальностью среди СППР при стратегическом управлении. В них выделяются такие подклассы, как хранилища данных (англ. *Data Warehouse*), витрины данных (англ. *Data Marts*), инструменты оперативной аналитической обработки (англ. *OnLine Analytical Processing, OLAP*), средства обнаружения знаний (англ. *Knowledge Discovery*), средства формирования запросов и построения отчетов [7]. Также к классу BI-систем часто относят системы мониторинга ключевых показателей эффектив-

ности (их названия, как правило, содержат английское слово «*dashboard*» – «приборная панель» или «*scorecard*» – «оценочная карта»).

Лидерами на рынке BI-систем являются компании Oracle, MicroStrategy, SAS, SAP, IBM, Microsoft и Information Builders [1]. Сегодня внедрение BI-систем в практику управления организациями значительно упрощается за счет массового распространения технологий облачных вычислений (англ. *Cloud Computing*) [103]. Отличительной особенностью облачных ИТ-решений является то, что доступ к программному обеспечению предоставляется удаленно по сетевым каналам (для того, чтобы работать с системой, нужен только web-браузер). Облачные BI-продукты предоставляют такие вендоры, как InetSoft, PivotLink, Birst, Panorama, Mirror 42. Возможность работы с системой посредством web-браузера открывает к ней доступ большому числу различных групп пользователей, что облегчает совместную работу с данными, организацию процедур экспертного анализа, диалога при принятии решений. BI-системы с развитыми коммуникационными функциями выделены в отдельный класс – Social BI. Разработка и реализация таких систем является одним из трендов рынка корпоративных информационных систем, в связи с чем повышается ценность построения алгоритмов взаимодействия пользователей при принятии управленческих решений, методов экспертного оценивания [104].

Четвертый уровень формируют *аналитические* системы, системы *имитационного* и *бизнес-моделирования*, которые позволяют строить и использовать модели, служащие для анализа и принятия решений (входные данные предоставляются системами третьего уровня).

Аналитические системы, как правило, сфокусированы на решении отдельных задач стратегического управления, таких как финансовый анализ состояния организации (*Альт-Финансы*), инвестиционное и бизнес-планирование (*Project Expert*), бюджетирование (*ИНЭК Аналитик*), расчет себестоимости продуктов и услуг (*ABC Focus*), оценка и прогнозирование стоимости организации (*Strategic*

Focus), оценка прибыльности различных сегментов рынка и каналов сбыта (*Siebel CRM*), риск-менеджмент (*KG Risk*).

Системы *имитационного моделирования* позволяют создавать компьютерные модели, описывающие различные процессы так, как они проходили бы в действительности. Такие модели можно «прокручивать» во времени множество раз, отработывая различные управленческие решения (анализ «что–если») или накапливая данные с целью их дальнейшей статистической обработки. Еще недавно имитационное моделирование воспринималось лишь как инструмент ученого-исследователя, служащий для выявления общих закономерностей изучаемых явлений. В настоящее время на ИМ стали обращать внимание менеджеры (бизнес-аналитики, консультанты), рассматривающие его в качестве средства прогноза, анализа и оптимизации [105]. Появились работы (в том числе и русскоязычные), касающиеся темы имитационного моделирования с целью принятия стратегических решений. Например, монография [106] посвящена моделированию стратегии предприятия. Популярными ИТ-решениями для имитационного моделирования являются *AnyLogic*, *PowerSim*, *Sysdea* и *iThink*.

Инструменты *бизнес-моделирования* позволяют сформировать модель организации, включающую описание деловых объектов (подразделений, должностей, ресурсов, ролей, процессов, информационных систем, носителей информации и т.д.) и связей между ними. Системы бизнес-моделирования отличаются от систем имитационного моделирования тем, что они ориентированы на статическое представление моделей и служат в большей степени для их визуализации с целью совместного обсуждения. Среди инструментов бизнес-моделирования наиболее известными являются *ARIS Platform*, *AllFusion Process Modeler*, *Microsoft Office Visio*, *ADONIS*, *Business Studio* и *Бизнес-инженер*.

К **пятому (верхнему) уровню** принадлежат системы *экспертного оценивания*, *экспертные системы*, а также *системы управления знаниями*. В качестве входных данных они могут использовать результаты моделирования, полученные при помощи систем четвертого уровня, данные из систем третьего уровня,

а также субъективные оценки лиц, участвующих в процессе стратегического управления.

Системы экспертного оценивания предназначены для поддержки принятия решений с учетом субъективных оценок. Опираясь на свои знания, эксперты могут давать прогнозы и решать трудноформализуемые задачи, для которых методы математического моделирования оказываются неприменимыми. Применению экспертных оценок для задач стратегического управления посвящена работа [107]. Разработкой систем экспертного оценивания занимаются такие компании, как Creative Decisions Foundation и Expert Choice.

С целью анализа состояния организации, а также выработки рекомендаций по принятию стратегических решений могут использоваться *экспертные системы* (ЭС). Основным элементом ЭС является база знаний, содержащая формализованные правила (например, связки «если–то»), согласно которым эксперт вырабатывает свое решение. Таким образом, субъективное мнение эксперта (множества экспертов) оказывается заложенным внутрь системы. Используя некоторый механизм применения этих правил (схему вывода), ЭС рассуждает подобно человеку, что приводит ее к ответу на поставленный вопрос. Варианты архитектуры современной экспертной системы стратегического управления описаны в работах [108, 109]. В работе [110] приводится описание экспертной системы, позволяющей выбрать метод стратегического планирования в зависимости от возможностей и требований организации. Примерами ЭС, которые могут использоваться в процессе стратегического управления организацией, являются система *Strateg*, разработанная сотрудниками Одесского национального политехнического университета, а также *Business Insight* и *Global Insight* компании Business Resource Software Inc.

К *системам управления знаниями* относятся такие подклассы ИС, как корпоративные порталы, базы знаний и распределенные консультативные сети.

Портал представляет собой внутренний web-сайт предприятия, при помощи которого можно публиковать новости и другие сообщения для сотрудников,

предоставлять централизованный доступ к файлам и документам, организовывать виртуальные рабочие пространства с функциями управления задачами, индивидуальным и групповым календарем. Примеру внедрения корпоративного портала с целью упрощения принятия стратегических решений посвящена статья [111]. Популярными порталными решениями являются *Корпоративный портал IC–Битрикс*, *IBM WebSphere Portal*, *Oracle Portal* и *Microsoft Sharepoint*.

Еще одним важным классом систем управления знаниями являются *базы знаний*. Здесь термин «база знаний» означает не множество формализованных правил, как в теории ЭС, а электронную энциклопедию, формируемую экспертами и снабженную развитым инструментарием классификации и поиска нужной информации. Особенно полезным применение баз знаний оказывается в консалтинговых фирмах, основным капиталом которых являются знания в области управления организациями. Например, консалтинговая компания Ernst&Young использует базу, содержащую более 5000 основных методов организации производственных процессов, внедренных более чем в 30 странах [112]. А база знаний компании PricewaterhouseCoopers имеет самостоятельную торговую марку *Global Best Practices* (в настоящее время доступ к базе для внешних пользователей ограничен).

Распределенные консультативные сети (англ. *Peer Advisory Network*) служат для проведения дистанционных консалтинговых совещаний. Часто бывает так, что лицу, принимающему стратегическое решение, необходимо обратиться за советами к коллегам или экспертам в области экономики, политики, права, управления. Выслушав постановку проблемы, они могут подсказать правильное решение, основываясь на своем опыте и знаниях. Как правило, эти знания неявны – их нельзя зафиксировать на бумаге и формализовать в виде набора правил. Поэтому, чтобы «заставить» чужие знания «поработать на себя», лицу, принимающему решение, необходим личный контакт с носителем знаний, для чего и служат консультативные сети. Примером распределенной

консультативной сети является *Vistage connect* компании Vistage International.

Следует обратить внимание на то, что предложенное разбиение систем на классы и упорядочивание классов по уровням условно. Например, некоторые *аналитические решения* имеют функции экспертного оценивания и могут быть отнесены к классу *систем экспертного оценивания*. В то же время грамотная организация данных в хранилищах (подкласс систем *бизнес-интеллекта*, принадлежащих к третьему уровню) требует предварительного моделирования и анализа организационной структуры предприятия, которое может проводиться с использованием систем *бизнес-моделирования* (принадлежат к четвертому уровню).

Более подробное описание каждого из приведенных классов ИТ-систем с указанием его места в процессе стратегического управления представлено в работе [113].

Дальнейшее развитие СППР при стратегическом управлении обусловлено следующими тенденциями:

- 1) разработка новых математических методов, позволяющих принимать решения с учетом количественных данных и качественных оценок;
- 2) увеличение вычислительных возможностей компьютеров, дающая возможность анализировать данные из различных источников «на лету», не прибегая к предварительному построению хранилищ (англ. *In-Memory BI*);
- 3) создание программно-аппаратных комплексов, поддерживающих анализ больших объемов данных (англ. *Big Data*), в том числе неструктурированных;
- 4) разработка аналитических инструментов, позволяющих ЛПР решать свои задачи самостоятельно, без привлечения сотрудников ИТ-отделов;
- 5) стандартизация процессов управления.

1.4. Выводы по первой главе.

Создание информационных систем, служащих для поддержки принятия управленческих решений становится все более актуальной проблемой. Особенно это касается СППР при стратегическом управлении организацией. Необходи-

димось использования СППР в процессе стратегического управления связана с повышенной степенью ответственности, а также трудностью принятия комплексных стратегических решений на основе мысленной экстраполяции прошлого опыта менеджера на текущую ситуацию. Первостепенная роль рационального подхода при принятии стратегических исследований обоснована эмпирически и не вызывает сомнений.

В последнее время на рынке аналитических систем для управления организациями возросло предложение ИТ-продуктов, позволяющих осуществлять совместную работу с данными, организовывать процедуры экспертного анализа, диалога при принятии сложных управленческих решений. Таким образом, выделился отдельный класс аналитических систем – Social BI. В связи с тем, что разработка стратегии компании – это проектная деятельность, протекающая в условиях неопределенности и относящаяся к качественным изменениям на предприятии, большинство методов стратегического управления связаны с экспертным оцениванием. Поэтому для решения множества аналитических задач, возникающих в процессе стратегического управления, особенно хорошо подходят системы Social BI.

Развитие данного класса информационных систем связано с необходимостью формализации моделей и алгоритмов стратегического управления организацией. Предложенные ранее подходы к моделированию стратегии организации 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 решений, в которую входит по одному решению из каждой подстратегии, была названа *комплексной стратегией* организации.

В диссертации комплексная стратегия была представлена формально как кортеж, принадлежащий декартовому произведению множеств решений, относящихся

к различным подстратегиям. Предложено оценивать приоритеты стратегических решений с помощью метода анализа иерархий и оптимальной считать комплексную стратегию, на которой достигается наиболее предпочтительная с точки зрения ЛПР пара значений двух критериев – а) количества нежелательных сочетаний формирующих стратегию решений и б) максимального среди анти-приоритетов формирующих стратегию решений. Введенное определение позволило строго сформулировать задачу выбора оптимальной комплексной стратегии организации.

Вторая группа подходов рассматривает стратегию как систему взаимосвязанных целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации. Стратегию, понимаемую в данном смысле, предложено называть стратегией развития организации. Базой для большинства работ, посвященных стратегии развития, является концепция сбалансированной системы показателей (ССП, англ. *Balanced Scorecard*, BSC), разработанная Р. Нортон и Д. Капланом. Анализ моделей, базирующихся на концепции СП, позволил выделить модель стратегии развития (МСР) организации, дающую возможность решить несколько задач: оптимизировать распределение ресурсов организации между стратегическими действиями, оценить результативность разработанной стратегии, дать прогнозы уровней достижения целей. МСР была формализована и представлена в виде набора определений и допущений. Стратегия развития организации представлена как тройка, включающая стратегическую карту, множество оценок затрат ресурсов, требующихся для реализации стратегических действий, и множество оценок уровней достижения внешних целей. Сделан ввод о том, что для повышения эффективности применения МСР на практике должен быть решен вопрос, касающийся определения значений параметров модели.

Таким образом, поставлены следующие задачи исследования:

- 1) разработать алгоритм решения задачи выбора оптимальной комплексной стратегии;
- 2) предложить подходы к определению значений параметров модели страте-

гии развития организации; разработать методы оптимизации распределения ресурсов, учитывающие характер получаемых оценок;

3) разработать комплекс программ, реализующий предложенные модели и алгоритмы, и продемонстрировать его использование на примерах.

Решение поставленных задач позволит сделать еще один шаг на пути к широкому использованию математических методов и моделей с целью повышения эффективности принятия управленческих решений.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ.

2.1. Выбор оптимальной комплексной стратегии организации.

Напомним, что *оптимальной* называется комплексная стратегия S_C^* такая, что $\vec{F}(S_C^*) \triangleq (|\mathbb{E} \cap 2^{S_C^*}|, \tilde{w}_{\max}(S_C^*)) = \vec{F}^*$. Здесь \vec{F}^* – векторная оценка, которую ЛПР выделит как наиболее предпочтительную при предъявлении ему множества оценок стратегий, являющихся Парето-недоминируемыми при минимизации $\vec{F}(S_C)$ на множестве \mathbb{S} ; \mathbb{S} – множество возможных комплексных стратегий организации; \mathbb{E} – множество нежелательных сочетаний решений; $\tilde{w}_{\max}(S_C) \triangleq \triangleq \max_{d_{ij} \in S_C} \tilde{w}_{ij}$; $\tilde{w}_{ij} \triangleq \frac{\max_{q=\overline{1, m_i}} w_{iq}}{w_{ij}}$ – анти-приоритет решения d_{ij} ; w_{ij} – приоритет решения d_{ij} . Без ограничения общности считается, что для любого индекса $i = \overline{1, h}$ выполняется условие: если $j_1 > j_2$, то $w_{ij_1} \leq w_{ij_2}$.

Задача выбора комплексной стратегии состоит в том, чтобы выбрать из множества \mathbb{S} оптимальную стратегию S_C^* при условии, что взаимодействие с ЛПР ограничено двумя возможными действиями:

1) предложить ЛПР оценить согласованность стратегии S_C , указав элементы множества $2^{S_C} \cap \mathbb{E}$ (то есть, перечислив нежелательные сочетания решений, принадлежащие S_C);

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

Блок-схема предлагаемого алгоритма выбора комплексной стратегии представлена на рис. 7. Здесь k – счетчик итераций; \mathbb{E}_k – множество нежелательных сочетаний решений, информация о которых получена у ЛПР к k -й итерации; l_k – мощность множества \mathbb{E}_k .

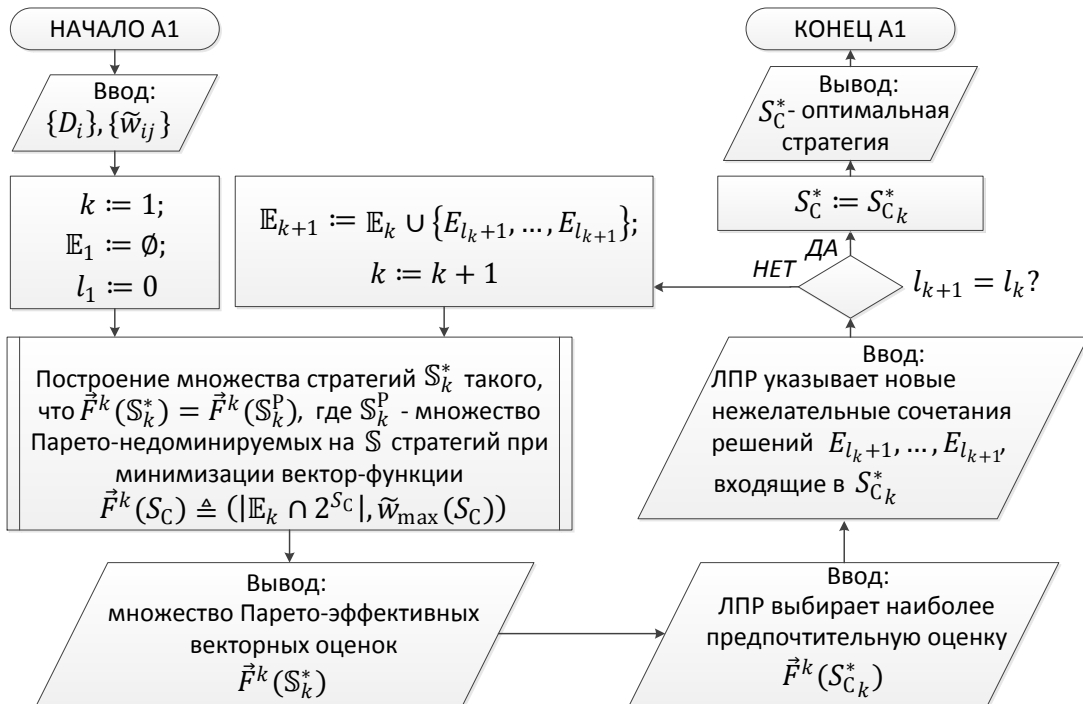


Рис. 7. Блок-схема алгоритма выбора оптимальной комплексной стратегии

Ниже представлено текстовое описание алгоритма.

Алгоритм 1. Выбор оптимальной комплексной стратегии организации

Вход: $\{D_i\}$ – множества альтернативных решений; $\{\tilde{w}_{ij}\}$ – анти-приоритеты решений

Выход: S_C^* – оптимальная комплексная стратегия

ШАГ 1. Присвоить $k := 1$; $E_1 := \emptyset$; $l_1 := 0$.

ШАГ 2. Использовать алгоритм 2 для построения множества стратегий S_k^* такого, что $\vec{F}^k(S_k^*) = \vec{F}^k(S_k^P)$, где $\vec{F}^k(X) \triangleq \{\vec{F}^k(S_C) \mid S_C \in X\}$ – множество векторных оценок $\vec{F}^k(S_C) \triangleq (|E_k \cap 2^{S_C}|, \tilde{w}_{\max}(S_C))$ стратегий $S_C \in X$; S_k^P – множество Парето-недоминируемых на S стратегий при минимизации $\vec{F}^k(S_C)$.

ШАГ 3. Предъявить ЛПР множество векторных оценок $\vec{F}^k(S_k^*)$, соответствующих полученным стратегиям. После того, как ЛПР была указана наиболее предпочтительная оценка $\vec{F}^k(S_{C_k}^*)$, предъявить ему стратегию $S_{C_k}^*$, на которой получена данная оценка (если таких стратегий несколько, то предъявить ЛПР любую из них).

ШАГ 4. Предложить ЛПР выделить в стратегии $S_{C_k}^*$ новые нежелательные сочетания решений $E_{l_{k+1}}, \dots, E_{l_{k+1}}$, являющиеся подмножествами $S_{C_k}^*$ (слово «новые» здесь означает, что $E_i \notin E_k$ ($i = \overline{l_k + 1, l_{k+1}}$)). ЕСЛИ новых нежелательных сочетаний не выделено, ТО $\{$ присвоить $S_C^* := S_{C_k}^*$; завершить исполнение

алгоритма}, ИНАЧЕ {присвоить $\mathbb{E}_{k+1} := \mathbb{E}_k \cup \{E_{l_{k+1}}, \dots, E_{l_{k+1}}\}$; $k := k + 1$; перейти к шагу 2}.

Справедливо следующее утверждение:

Утверждение 2. *Стратегия, получаемая с использованием алгоритма 1, является оптимальной.*

Доказательство. Докажем от противного. Пусть на последней итерации работы алгоритма (обозначим ее номер как \bar{k}) ЛПР выбрал в качестве наиболее предпочтительной оценку $\vec{F}^{\bar{k}}(S_{C\bar{k}}^*) \triangleq \vec{F}' \neq \vec{F}^*$. Заметим, что выполняется равенство $\vec{F}^{\bar{k}}(S_{C\bar{k}}^*) = \vec{F}(S_{C\bar{k}}^*)$.

Возможно два варианта:

- 1) для \vec{F}' выполняется неравенство $\vec{F}' \leq \vec{F}^*$ (неравенство здесь и далее в доказательстве понимается поэлементно);
- 2) для \vec{F}' не выполняется неравенство $\vec{F}' \leq \vec{F}^*$.

Рассмотрим первый вариант. Так как оценка \vec{F}^* является Парето-недоминируемой при условии минимизации $\vec{F}(\cdot)$ на множестве \mathbb{S} , то получаем противоречие.

Рассмотрим второй вариант. Возможно два случая:

- а) выполняется неравенство $\vec{F}^* \leq \vec{F}'$;
- б) векторы \vec{F}^* и \vec{F}' несравнимы.

Так как $\vec{F}' \neq \vec{F}^*$, то в случае а), очевидно, выполняется $\vec{F}^* > \vec{F}'$. Знак «>» здесь означает отношение «быть более предпочтительным».

В случае б) также выполняется $\vec{F}^* > \vec{F}'$. Это следует из определения вектора \vec{F}^* .

Докажем, что множеству $\mathbb{S}_{\bar{k}}^*$ принадлежит стратегия \tilde{S}_C такая, что $\vec{F}^{\bar{k}}(\tilde{S}_C) \leq \vec{F}^*$. В самом деле, по определению множества $\mathbb{S}_{\bar{k}}^*$ для любой стратегии $S_C \in \mathbb{S}$ существует стратегия $\hat{S}_C \in \mathbb{S}_{\bar{k}}^*$ такая, что $\vec{F}^{\bar{k}}(\hat{S}_C) \leq \vec{F}^{\bar{k}}(S_C)$. Вместе с тем, так как $\mathbb{E}_{\bar{k}} \subseteq \mathbb{E}$, то для любой стратегии $S_C \in \mathbb{S}$ выполняется неравенство $|\mathbb{E}_{\bar{k}} \cap 2^{S_C}| \leq$

$\leq |\mathbb{E} \cap 2^{S_C}|$, и поэтому $\vec{F}^{\bar{k}}(S_C) \leq \vec{F}(S_C)$. Таким образом, для любой стратегии $S_C \in \mathbb{S}$ существует стратегия $\hat{S}_C \in \mathbb{S}_k^*$, для которой $\vec{F}^{\bar{k}}(\hat{S}_C) \leq \vec{F}^{\bar{k}}(S_C) \leq \vec{F}(S_C)$. Значит и для стратегии S_C^* , на которой достигается оценка \vec{F}^* , найдется стратегия $\tilde{S}_C \in \mathbb{S}_k^*$ такая, что $\vec{F}^{\bar{k}}(\tilde{S}_C) \leq \vec{F}^{\bar{k}}(S_C^*) \leq \vec{F}(S_C^*) = \vec{F}^*$. Таким образом, заявленное в начале абзаца утверждение доказано.

Из того, что $\vec{F}^{\bar{k}}(\tilde{S}_C) \leq \vec{F}^*$, следует, что $\vec{F}^{\bar{k}}(\tilde{S}_C) \succcurlyeq \vec{F}^*$. Знак « \succcurlyeq » здесь означает отношение «быть не менее предпочтительным». Ранее было показано, что $\vec{F}^* \succ \vec{F}'$. Таким образом, $\vec{F}^{\bar{k}}(\tilde{S}_C) \succ \vec{F}'$. Но по определению \vec{F}' – наиболее предпочтительная оценка. Снова получаем противоречие.

Так как противоречия получены для всех возможных вариантов, то $\vec{F}' = \vec{F}^*$, и стратегия S_C^* оптимальна. \square

Построение множества стратегий \mathbb{S}_k^* связано с необходимостью перебора стратегий с целью анализа их Парето-оптимальности. Справедливость следующего утверждения о монотонности критерия при увеличении количества решений, входящих в кортеж-аргумент, позволяет организовать перебор с отсечениями (метод ветвей и границ).

Утверждение 3. 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 $\vec{F}^k(K_1) \leq \vec{F}^k(K_2)$. Знак \oplus означает конкатенацию.

Доказательство. Докажем, что $|\mathbb{E}_k \cap 2^{K_1}| \leq |\mathbb{E}_k \cap 2^{K_2}|$. Если рассматривать кортежи как множества, то $K_2 = K_1 \cup \tilde{K}$, где $\tilde{K} = \{d_{q+1, j_{q+1}}\}$. Отсюда $2^{K_2} = 2^{K_1 \cup \tilde{K}} = 2^{K_1} \cup L$, где L – некоторое множество. Справедливость $|\mathbb{E}_k \cap 2^{K_1}| \leq |\mathbb{E}_k \cap 2^{K_2}|$ следует из цепочки неравенств:

$$|\mathbb{E}_k \cap 2^{K_2}| = |\mathbb{E}_k \cap (2^{K_1} \cup L)| = |(\mathbb{E}_k \cap 2^{K_1}) \cup (\mathbb{E}_k \cap L)| \geq |\mathbb{E}_k \cap 2^{K_1}|.$$

Справедливость $\tilde{w}_{\max}(K_1) \leq \tilde{w}_{\max}(K_2)$ следует из цепочки неравенств:

$$\max_{d_{ij} \in K_2} \tilde{w}_{ij} = \max(\tilde{w}_{q+1, j_{q+1}}, \max_{d_{ij} \in K_1} \tilde{w}_{ij}) \geq \max_{d_{ij} \in K_1} \tilde{w}_{ij}. \quad \square$$

Предлагается следующий алгоритм построения множества стратегий \mathbb{S}_k^* .

Алгоритм 2. Построение множества стратегий \mathbb{S}_k^* такого, что $\vec{F}^k(\mathbb{S}_k^*) = \vec{F}^k(\mathbb{S}_k^P)$, где \mathbb{S}_k^P – множество стратегий, Парето-недоминируемых на \mathbb{S} при минимизации $\vec{F}^k(S_C)$

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

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

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

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

ДЛЯ КАЖДОГО $i = \overline{1, h}$: {

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

ЕСЛИ $p_i > |D_i|$, ТО присвоить $p_i := p_i - 1$ };

инициализировать дерево метода ветвей и границ, добавив в него корневую вершину с потомками d_{11}, \dots, 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 $S'_C \in \mathbb{S}_k^*$ такой, что $\vec{F}^k(S'_C) \leq \vec{F}^k(S_C)$, ТО к вершине d_{ij} добавить потомков $d_{i+1,1}, \dots, d_{i+1,p_{i+1}}$ };

перейти к шагу 3.

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

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

ДЛЯ КАЖДОЙ стратегии $S'_C \in \mathbb{S}_k^*$ {

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

включить стратегию S_C в множество \mathbb{S}_k^* }.

Блок-схема алгоритма 2 представлена на рис. 8.

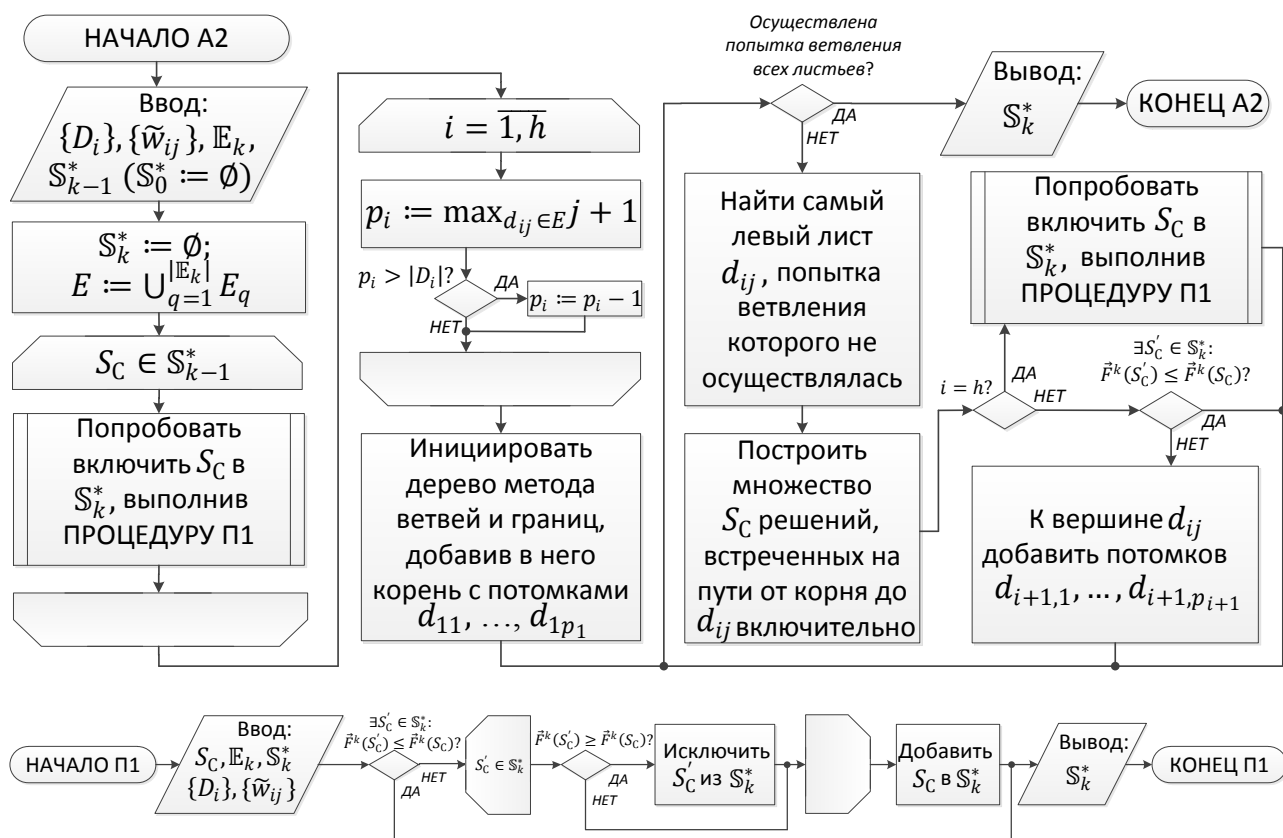


Рис. 8. Блок-схема алгоритма построения множества стратегий S_k^*

При оценивании эффективности алгоритма 2 следует сравнивать количество узлов в построенном дереве с количеством стратегий, Парето-оптимальность которых пришлось бы проверить при их полном переборе. Это связано с тем, что при добавлении в дерево каждого узла требуется производить вычисления равные по своей сложности вычислениям, осуществляемым для каждой стратегии при переборе.

Рассмотрим пример результатов работы предлагаемых алгоритмов. Пусть комплексная стратегия формируется из решений, относящихся к трем подстратегиям. Элементы множества \mathbb{E} , а также анти-приоритеты решений приведены на рис. 9.

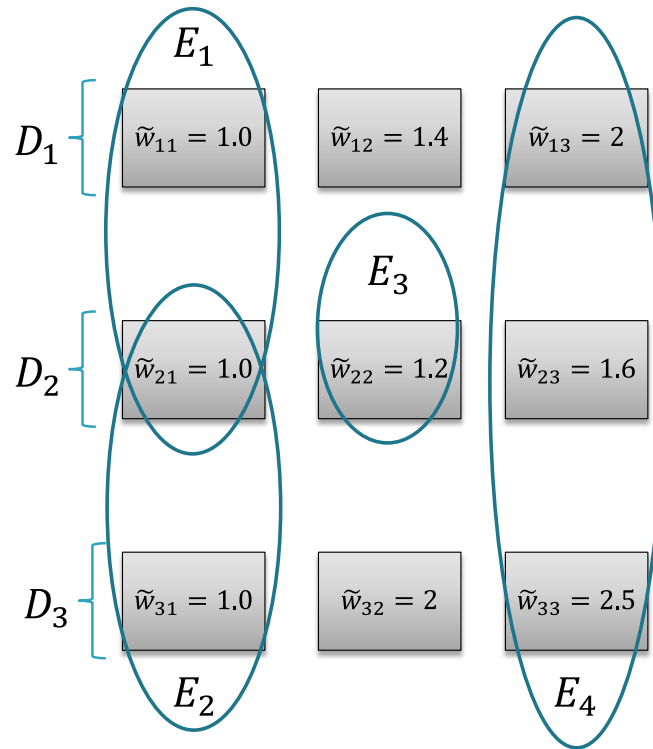


Рис. 9. Анти-приоритеты и нежелательные сочетания стратегических решений

Здесь множество Парето-недоминируемых оценок, получаемых при минимизации вектор функции $\vec{F}(\cdot)$ на множестве стратегий S , состоит из трех оценок: $\{(0,1.6), (1,1.2), (2,1)\}$. Примем, что если бы можно было предъявить данное множество оценок ЛПР, то в качестве наиболее предпочтительной была бы выбрана оценка $\vec{F}^* = (0,1.6)$. Таким образом, $(0,1.6) \succ (1,1.2)$ и $(0,1.6) \succ (2,1)$, где знак « \succ » означает отношение «быть более предпочтительным».

Рассмотрим, каким образом предлагаемые алгоритмы позволят выбрать стратегию S_{C^*} , на которой достигается оценка \vec{F}^* . На втором шаге первой итерации алгоритма 1 будет вызван и исполнен алгоритм 2, в результате чего будет построено дерево метода ветвей и границ, представленное на рис. 10 а) и получено множество стратегий $S_1^* = \{(d_{11}, d_{21}, d_{31})\}$.

При предъявлении ЛПР стратегии $S_{C_1^*} = (d_{11}, d_{21}, d_{31})$ будет выделено два нежелательных сочетания решений $E_1 = \{d_{11}, d_{21}\}$ и $E_2 = \{d_{21}, d_{31}\}$. Таким образом, окажется сформированным новое множество известных нежелательных сочетаний решений $E_2 = \{E_1, E_2\}$ и алгоритм 2 будет запущен снова. Алгоритм

построит дерево метода ветвей и границ, представленное на рис. 10 б), и получит множество стратегий $S_2^* = \{(d_{11}, d_{21}, d_{31}), (d_{11}, d_{22}, d_{31})\}$. ЛПР будут предъявлены векторные оценки стратегий из S_2^* : $(2, 1)$ и $(0, 1.2)$ соответственно.

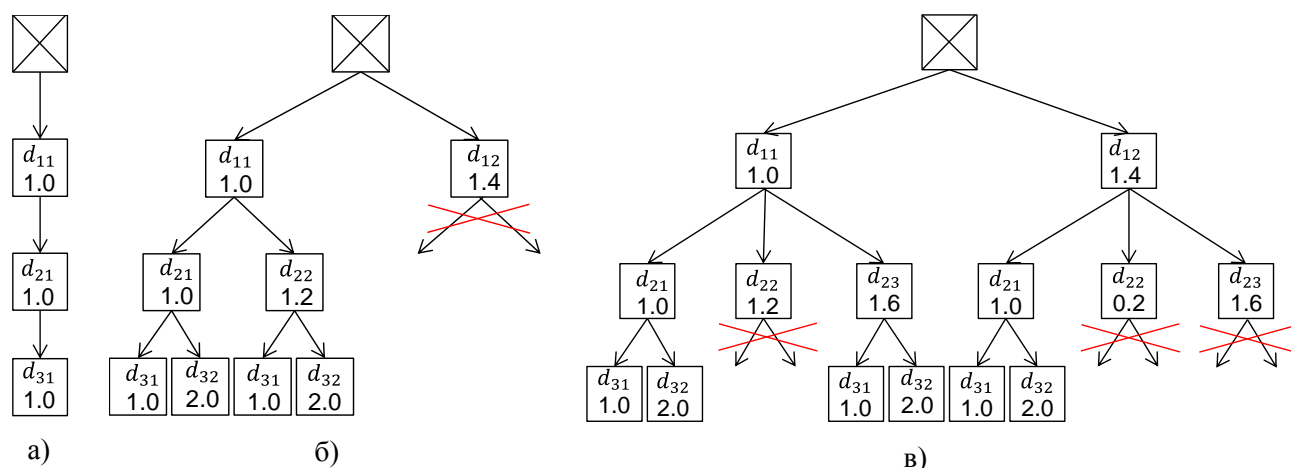


Рис. 10. Деревья метода ветвей и границ, получаемые при исполнении алгоритма 2

Вербально данные оценки выражаются следующим образом:

1) Первая стратегия включает два из двух выделенных до сих пор нежелательных сочетаний решений, зато максимальный анти-приоритет среди анти-приоритетов входящих в нее решений равен 1.

2) Вторая стратегия не включает ни одного из выделенных до сих пор нежелательных сочетаний решений, но максимальный анти-приоритет среди анти-приоритетов входящих в нее решений равен 1.2.

Вторая векторная оценка будет выбрана как наиболее предпочтительная, так как $(0, 1.2) \succ (0, 1.6) \succ (2, 1)$. При предъявлении ЛПР стратегии $S_{C_2}^* = (d_{11}, d_{22}, d_{31})$ в ней будет выделено новое нежелательное сочетание решений $E_3 = \{d_{22}\}$. Таким образом, окажется сформированным множество известных нежелательных сочетаний решений $E_3 = \{E_1, E_2, E_3\}$ и алгоритм 2 будет запущен в третий раз. В результате исполнения алгоритма 2 будет построено дерево метода ветвей и границ, представленное на рис. 10 в), и получено множество стратегий $S_3^* = \{(d_{11}, d_{21}, d_{31}), (d_{11}, d_{22}, d_{31}), (d_{11}, d_{23}, d_{31})\}$. ЛПР будут предъявлены их векторные оценки: $(2, 1)$, $(1, 1.2)$ и $(0, 1.6)$ соответственно. Вербаль-

но данные оценки выражаются следующим образом:

1) Первая стратегия включает два из трех выделенных до сих пор нежелательных сочетаний решений, зато максимальный анти-приоритет среди анти-приоритетов входящих в нее решений равен 1.

2) Вторая стратегия включает одно из трех выделенных до сих пор нежелательных сочетаний решений, однако максимальный анти-приоритет среди анти-приоритетов входящих в нее решений равен 1.2.

3) Третья стратегия не включает ни одного из выделенных до сих пор нежелательных сочетаний решений, однако максимальный анти-приоритет среди анти-приоритетов входящих в нее решений равен 1.6.

Третья векторная оценка будет выбрана как наиболее предпочтительная, так как $(0,1.6) \succ (1,1.2)$ и $(0,1.6) \succ (2,1)$. При предъявлении ЛПР стратегии $S_{C_3}^* = (d_{11}, d_{23}, d_{31})$ в ней не будет выделено ни одного нового нежелательного сочетания решений. Это будет значить, что оптимальная стратегия $S_C^* = S_{C_3}^*$ найдена, и исполнение алгоритма завершится. Заметим, что при исполнении алгоритмов ЛПР было указано только три нежелательных решения из четырех. Конец примера.

Итак, в данном разделе был предложен алгоритм выбора комплексной стратегии при условии, что оптимальной считается стратегия, на которой достигается наиболее предпочтительная с точки зрения ЛПР пара значений двух критериев – а) количества нежелательных сочетаний формирующих стратегию решений и б) максимального среди анти-приоритетов формирующих стратегию решений. Таким образом, решена третья задача исследования. Примеры практического применения предложенного алгоритма рассмотрены в разделах 3.3 и 3.4.

2.2. Оценивание параметров модели стратегии развития организации.

Напомним, что в работе [56] параметры модели стратегии развития организации (описание модели см. в разделе 1.2) было предложено определять следующим образом:

- 1) оценки затрат $\{r_{ij}\}$ задаются явно аналитиком;
- 2) коэффициенты причинно-следственных связей с одинаковым вторым индексом считаются равными друг другу: $\{k_{ij} = 1/n_j\}$;
- 3) уровни достижения внешних целей считаются равными 100%: $\{x_j^{\text{ext}} = 1\}$.

Данные допущения искусственны и должны быть устранены с целью повышения эффективности использования МСР на практике. Пусть параметры модели оценивают эксперты. Получение точных и вместе с тем надежных экспертных оценок – достаточно сложная задача. Высокий уровень неопределенности среды в долгосрочной перспективе, а также новизна рассматриваемой ситуации существенно затрудняют оценивание параметров модели стратегии развития. Кроме того, оценки, полученные от разных экспертов, могут различаться. Для того чтобы преодолеть указанные трудности, предлагается использовать не точные, а трехточечные и интервальные (двухточечные) оценки параметров МСР. Пусть q -й эксперт ($q = \overline{1, e}$, где e – количество экспертов, участвующих в процедуре оценивания параметров модели¹¹) дает следующие оценки:

- 1) $\underline{r}_{ij}^q, \hat{r}_{ij}^q$ и \bar{r}_{ij}^q ($i = \overline{1, s}, j = \overline{m + 1, n}$) – минимальные, наиболее вероятные и максимальные значения затрат, соответственно;
- 2) $\underline{x}_j^{\text{ext}q}, \hat{x}_j^{\text{ext}q}$ и $\bar{x}_j^{\text{ext}q}$ ($j = \overline{l + 1, m}$) – минимальные, наиболее вероятные и максимальные значения уровней достижения внешних целей, соответственно;
- 3) \underline{k}_{ij}^q и \bar{k}_{ij}^q ($j = \overline{1, n}, i \in N_j$) – минимальные и максимальные значения коэффициентов причинно-следственных связей, соответственно.

Очевидно, что минимальные \underline{r}_{ij}^q , наиболее вероятные \hat{r}_{ij}^q и максимальные \bar{r}_{ij}^q ($i = \overline{1, s}, j = \overline{m + 1, n}$) значения затрат могут быть получены от q -го эксперта ($q = \overline{1, e}$) путем прямого оценивания. То же справедливо и для оценок уровней достижения внешних целей $\underline{x}_j^{\text{ext}q}, \hat{x}_j^{\text{ext}q}$ и $\bar{x}_j^{\text{ext}q}$ ($j = \overline{l + 1, m}, q = \overline{1, e}$).

¹¹ В целях упрощения изложения будем считать, что все параметры модели оценивает одна и та же группа, состоящая из e экспертов. В реальности различные параметры могут оцениваться отдельными группами, включающими в свой состав различное число экспертов.

Границы интервалов варьирования коэффициентов причинно-следственных связей \underline{k}_{ij}^q и \overline{k}_{ij}^q ($j = \overline{1, n}, i \in N_j$) также могут быть получены от q -го эксперта ($q = \overline{1, e}$) напрямую. Однако более обоснованные результаты позволяет получить применение алгоритма, базирующегося на использовании интервального метода анализа иерархий со сбалансированной шкалой оценок. Предлагаемый алгоритм предполагает одновременное оценивание коэффициентов, соответствующих дугам стратегической карты, входящим в p -ю вершину ($p = \overline{1, n}$), то есть одновременно оцениваются коэффициенты, образующие точку $\tilde{k}_p = (\tilde{k}_{1p}, \tilde{k}_{2p}, \dots, \tilde{k}_{n_p p})$. Блок-схема предлагаемого алгоритма представлена на рис. 11, а текстовое описание приведено ниже.

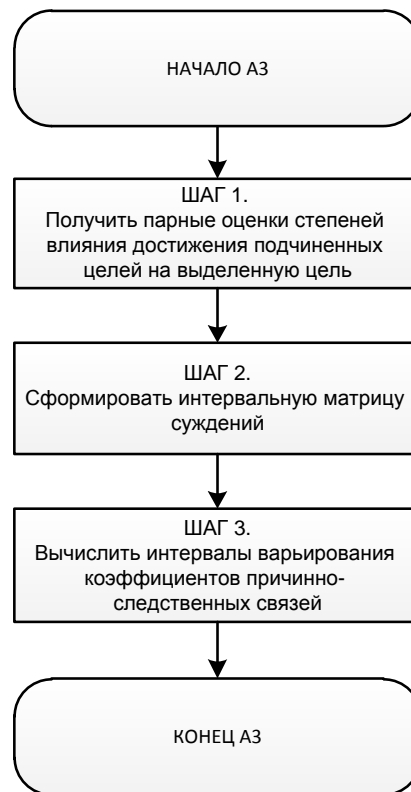


Рис. 11. Блок-схема алгоритма оценивания коэффициентов причинно-следственных связей

Алгоритм 3. Оценивание коэффициентов причинно-следственных связей

Вход: p – номер оцениваемой точки; q – номер оценивающего эксперта

Выход: $\underline{\tilde{k}}_{jp}^q$ и $\overline{\tilde{k}}_{jp}^q$ ($j = \overline{1, n_p}$) – минимальные и максимальные значения коэффициентов причинно-следственных связей, соответственно

ШАГ 1. Для каждой пары целей $i, j = \overline{1, n_p}, i < j$, подчиненных p -й цели, задать q -му эксперту вопрос: «Во сколько раз 100%-ное достижение i -й локальной цели важнее для обеспечения возможности 100%-ного достижения p -й цели, чем достижение j -й локальной цели?» Ответ эксперта в соответствии со шкалой, представленной в табл. 3, выразить числом $a_{ijp}^q \in \{\frac{1}{33.3}, \frac{1}{10.3}, \dots, \frac{1}{1.27}, 1, 1.27, \dots, 10.3, 33.3\}$. Если достижение i -й цели не менее важно для обеспечения достижимости p -й цели, чем достижение j -й цели, то для a_{ijp}^q взять значение из табл. 3, в противном случае в соответствии с таблицей оценить превалирование важности достижения j -й цели над достижением i -й, а для a_{ijp}^q взять взаимно обратное значение (например, если q -й эксперт считает, что достижение j -й цели *немного* важнее для обеспечения достижимости p -й цели, чем достижение i -й цели, то оценку a_{ijp}^q следует принять равной $\frac{1}{1.62}$).

Таблица 3

Шкала оценок степеней влияния подчиненных целей на выделенную цель ^{а)}

| Степень влияния | Определение | Комментарий ^{б)} |
|-----------------|---|--|
| 1.00 | Равная | Достижение i -й и j -й целей одинаково важно для обеспечения достижимости p -й цели |
| 1.27 | Слабая степень превалирования | Промежуточная градация между равной и средней степенью превалирования |
| 1.62 | Средняя степень превалирования | Опыт эксперта позволяет считать, что достижение i -й цели немного важнее для обеспечения достижимости p -й цели, чем достижение j -й цели |
| 2.09 | Степень превалирования выше среднего | Промежуточная градация между средней и умеренно сильной степенью превалирования |
| 2.78 | Умеренно сильная степень превалирования | Опыт эксперта позволяет считать, что достижение i -й цели явно важнее для обеспечения достижимости p -й цели, чем достижение j -й цели |
| 3.86 | Сильная степень превалирования | Промежуточная градация между умеренно сильной и очень сильной степенью превалирования |
| 5.80 | Очень сильная степень превалирования | Опыт эксперта позволяет считать, что достижение i -й цели гораздо более важно для обеспечения достижимости p -й цели, чем достижение j -й цели |

^{а)} Степени влияния соответствуют сбалансированной шкале оценок, предложенной в работе [61]; определения заимствованы из работы [20, с. 37].

^{б)} Комментарий соответствует случаю, когда достижение i -й цели не менее предпочтительно, чем достижение j -й цели.

| Степень влияния | Определение | Комментарий |
|-----------------|--|---|
| 10.30 | Очень, очень сильная степень преваляирования | Промежуточная градация между очень сильной и абсолютной степенью преваляирования |
| 33.30 | Абсолютная степень преваляирования | Очевидно, что достижение i -й цели оказывает несравнимо большее влияние на достижимость p -й цели, чем достижение j -й цели |

Следует учитывать, что эксперт имеет возможность дать оценку в форме интервала. Например, если по мнению q -го эксперта достижение i -й цели важнее для обеспечения достижимости p -й цели, чем достижение j -й цели, со степенью преваляирования от «Средней» до «Умеренно сильной», то его оценку следует зафиксировать, как интервал $[\underline{a}_{ijp}^q, \bar{a}_{ijp}^q] = [1.62, 2.78]$. Если q -й эксперт дал точную оценку a_{ijp}^q , то принять $\underline{a}_{ijp}^q = \bar{a}_{ijp}^q = a_{ijp}^q$. Результат данного шага – множество интервалов $[\underline{a}_{ijp}^q, \bar{a}_{ijp}^q]$ ($i, j = \overline{1, n_p}, i < j$).

ШАГ 2. Используя полученные оценки, с учетом того, что $\underline{a}_{iip}^q = \bar{a}_{iip}^q = 1$, $\underline{a}_{ijp}^q = 1/\bar{a}_{jip}^q$, $\bar{a}_{ijp}^q = 1/\underline{a}_{jip}^q$ ($i, j = \overline{1, n_p}$), сформировать интервальную матрицу суждений:

$$A_p^q = ([\underline{a}_{ijp}^q, \bar{a}_{ijp}^q])_{n_p \times n_p} = \begin{pmatrix} [1,1] & \dots & [\underline{a}_{1n_p p}^q, \bar{a}_{1n_p p}^q] \\ \vdots & [1,1] & \vdots \\ [\underline{a}_{n_p 1 p}^q, \bar{a}_{n_p 1 p}^q] & \dots & [1,1] \end{pmatrix}.$$

ШАГ 3. Вычислить минимальные $\underline{\tilde{k}}_{jp}^q$ и максимальные $\bar{\tilde{k}}_{jp}^q$ ($j = \overline{1, n_p}$) значения коэффициентов причинно-следственных связей. Согласно методу, предложенному в статье [62], получить их как решение ЗЛП:

$$\sum_{j=1}^{n_p} (\bar{\tilde{k}}_{jp}^q - \underline{\tilde{k}}_{jp}^q) \rightarrow \min_{\tilde{k}},$$

$$\sum_{j=\overline{1, n_p}, j \neq i} \bar{\tilde{k}}_{jp}^q + \underline{\tilde{k}}_{ip}^q \geq 1, \quad i = \overline{1, n_p},$$

$$\sum_{j=\overline{1, n_p}, j \neq i} \underline{\tilde{k}}_{jp}^q + \bar{\tilde{k}}_{ip}^q \leq 1, \quad i = \overline{1, n_p},$$

$$\underline{\tilde{k}}_{ip}^q \leq \underline{a}_{ijp}^q \bar{\tilde{k}}_{jp}^q, \quad i, j = \overline{1, n_p},$$

$$\bar{\tilde{k}}_{ip}^q \geq \bar{a}_{ijp}^q \underline{\tilde{k}}_{jp}^q, \quad i, j = \overline{1, n_p},$$

$$\underline{\tilde{k}}_{ip}^q \geq \varepsilon, \quad i = \overline{1, n_p},$$

где ε – неархимедова константа. Завершить исполнение алгоритма.

Важно отметить, что для полученных оценок выполняются неравенства $\sum_{j=1}^{n_p} \overline{\tilde{k}}_{jp}^q \geq 1$ и $\sum_{j=1}^{n_p} \underline{\tilde{k}}_{jp}^q \leq 1$, поэтому многоугольник $Q_p^q = \{(t_1, \dots, t_{n_p}) \in \mathbb{R}^{n_p} \mid \sum_{i=1}^{n_p} t_i = 1; \underline{\tilde{k}}_{ip}^q \leq t_i \leq \overline{\tilde{k}}_{ip}^q, i = \overline{1, n_p}\}$ не пуст.

В целом процедура оценивания параметров модели может быть построена в соответствии с предписаниями метода Дельфи, согласно которому оценивание следует проводить циклически [114]. На первом этапе каждый эксперт самостоятельно оценивает параметры модели. На втором этапе осуществляется переоценка параметров модели, при этом эксперты получают сведения о крайних (наибольших/наименьших) оценках коллег и их обоснования. Процедура повторяется до тех пор, пока оценки не станут согласованными. Согласно работе [74], если для величины x определено e оценок ее минимального \underline{x}^q ($q = \overline{1, e}$) и максимального \bar{x}^q значений, то эти оценки считаются согласованными при выполнении следующего неравенства:

$$\max_{q=\overline{1, e}} \underline{x}^q - \min_{q=\overline{1, e}} \bar{x}^q \geq \max_{q=\overline{1, e}} \bar{x}^q - \sqrt[e]{\prod_{q=1}^e \underline{x}^q}.$$

Важно, чтобы эксперты не испытывали психологического давления со стороны аналитика или других авторитетных лиц (с этой целью при обмене оценками сохраняется анонимность). Если эксперт по какой-либо причине не хочет пересматривать оценку того или иного параметра, то она должна оставаться неизменной.

Используя классический АНР, можно получить и оценки весовых коэффициентов основных целей w_j ($j = \overline{1, m}$). При этом менеджеру следует задавать вопрос: «Во сколько раз 100%-ное достижение i -й цели более важно для реализации желаемого состояния организации, чем 100%-ное достижение j -й цели?»

Альтернативный подход к определению весовых коэффициентов основных целей основан на вычислении относительной разницы между действительным

$I_j(0)$ и желаемым $I_j^*(T)$ значениями показателя эффективности, соответствующего j -й цели. Если $I_j(0) \neq 0$ ($j = \overline{1, m}$), то весовые коэффициенты вычисляются по формуле

$$w_j = \frac{|I_j^*(T) - I_j(0)|}{|I_j(0)|}$$

и затем нормируются так, чтобы их сумма равнялась единице [13, с. 57].

В следующих разделах будет показано, как использовать полученные оценки с целью оптимизации распределения ресурсов между стратегическими действиями.

2.3. Оптимизация распределения ресурсов организации с использованием стохастической модели стратегии развития.

Для описания поведения параметров модели стратегии развития, заданных трехточечными экспертными оценками, оказывается эффективным использование PERT-бета распределения [115, с. 405; 116]. При наличии лишь границ варьирования параметров допустимо использование равномерного распределения [115, с. 404]. Применяя подход к агрегированию экспертных оценок, предложенный в работе [115, с. 410], введем следующие допущения. Пусть точные значения параметров модели являются случайными величинами, имеющими следующие плотности вероятности:

$$\begin{aligned} f_{\tilde{k}_j}(\cdot) &= \sum_{q=1}^e c_q f_{\tilde{k}_j}^q(\cdot), & j &= \overline{1, n}, \\ f_{r_{ij}}(\cdot) &= \sum_{q=1}^e c_q f_{r_{ij}}^q(\cdot), & i &= \overline{1, s}, j = \overline{m+1, n}, \\ f_{x_j^{\text{ext}}}(\cdot) &= \sum_{q=1}^e c_q f_{x_j^{\text{ext}}}^q(\cdot), & j &= \overline{l+1, m}, \end{aligned}$$

где e – количество экспертов; c_q – коэффициент компетентности q -го эксперта (предполагается, что $c_q > 0$ и $\sum_{q=1}^e c_q = 1$); $f_{\tilde{k}_j}^q(\cdot)$ – плотность вероятности, соответствующая равномерному распределению случайной точки $\tilde{k}_j(\omega) = (\tilde{k}_{1j}(\omega), \dots, \tilde{k}_{n_jj}(\omega))$ на поверхности многоугольника

$$Q_j^q \triangleq \{(t_1, \dots, t_{n_j}) \in \mathbb{R}^{n_j} \mid \sum_{i=1}^{n_j} t_i = 1; \underline{\tilde{k}}_{ij}^q \leq t_i \leq \overline{\tilde{k}}_{ij}^q, i = \overline{1, n_j}\};$$

$f_{r_{ij}}^q(\cdot)$ – плотность вероятности, соответствующая PERT-бета распределению случайной величины $r_{ij}(\omega)$ на отрезке $[\underline{r}_{ij}^q, \overline{r}_{ij}^q]$ с параметрами α и β , подобранными так, чтобы мода распределения равнялась \hat{r}_{ij}^q ¹²; $f_{x_j^{\text{ext}}}^q(\cdot)$ – плотность вероятности, соответствующая PERT-бета распределению случайной величины $x_j^{\text{ext}}(\omega)$ на отрезке $[\underline{x}_j^{\text{ext}q}, \overline{x}_j^{\text{ext}q}]$ с параметрами α и β , подобранными так, чтобы мода распределения равнялась $\hat{x}_j^{\text{ext}q}$; ω – элементарное событие на вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{A}, P) . Модель стратегии развития с параметрами, поведение которых определяется введенными допущениями, будем называть *стохастической МСР*. Переопределим понятия карты стратегии и стратегии развития организации (см. определения 3 и 5 в разд. 2.2).

Определение 8. В рамках стохастической МСР *стратегия развития* представляет собой тройку $S_D \triangleq (\mathcal{G}, \{r_{ij}^q, \hat{r}_{ij}^q, \overline{r}_{ij}^q\}, \{x_j^{\text{ext}q}, \hat{x}_j^{\text{ext}q}, \overline{x}_j^{\text{ext}q}\})$, где $\mathcal{G} \triangleq (N, K, \{k_{ij}^q, \overline{k}_{ij}^q\})$ – *карта стратегии*, $\{r_{ij}^q, \hat{r}_{ij}^q, \overline{r}_{ij}^q\}$ – множество оценок затрат, $\{x_j^{\text{ext}q}, \hat{x}_j^{\text{ext}q}, \overline{x}_j^{\text{ext}q}\}$ – множество оценок уровней достижения внешних целей, $\{k_{ij}^q, \overline{k}_{ij}^q\}$ – множество оценок коэффициентов причинно-следственных связей.

Обозначим $\vec{p}(\omega) \triangleq (\vec{r}(\omega), \vec{x}^{\text{ext}}(\omega), \vec{k}(\omega))$ – вектор случайных параметров модели, где $\vec{r}(\omega)$ – вектор затрат, $\vec{x}^{\text{ext}}(\omega)$ – вектор уровней достижения внешних целей, $\vec{k}(\omega)$ – вектор коэффициентов причинно-следственных связей. Тогда множеством допустимых реализаций вектора $\vec{p}(\omega)$ является множество $\mathbb{P}_{\text{стох}} \triangleq (\prod_{i,j} \cup_q [r_{ij}^q, \overline{r}_{ij}^q]) \times (\prod_j \cup_q [x_j^{\text{ext}q}, \overline{x}_j^{\text{ext}q}]) \times (\prod_j \cup_q Q_j^q)$.

В рамках стохастической МСР *оптимальным* будем считать распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии. Выпишем математическую формулировку задачи оптимизации рас-

¹² Согласно работе [116] параметры PERT-бета распределения с носителем $[a, c]$ и модой b вычисляются по следующим формулам: $\alpha = \left(\frac{2(c+4b-5a)}{3(c-a)}\right) \left[1 + 4 \left(\frac{(b-a)(c-b)}{(c-a)^2}\right)\right]$, $\beta = \left(\frac{2(5c-4b-a)}{3(c-a)}\right) \left[1 + 4 \left(\frac{(b-a)(c-b)}{(c-a)^2}\right)\right]$.

пределения ресурсов:

$$M[I^*(U, \vec{p}(\omega))] \rightarrow \max_{U \in \mathbb{U}}, \quad (5)$$

$$I^*(U, \vec{p}(\omega)) = \max_{\vec{x} \in Q(U, \vec{p}(\omega))} \sum_{j=1}^m w_j x_j, \quad (6)$$

$$Q(U, \vec{p}(\omega)) \triangleq \begin{cases} 0 \leq x_j \leq 1, & j = \overline{1, n}, \\ x_j = x_j^{\text{ext}}(\omega), & j = \overline{l+1, m}, \\ x_j r_{ij}(\omega) \leq u_{ij} R_i, & i = \overline{1, s}, j = \overline{m+1, n}, \\ x_j \leq \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij}(\omega) x_i, & j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (7)$$

$$\mathbb{U} \triangleq \begin{cases} 0 \leq u_{ij}, & i = \overline{1, s}, j = \overline{1, n+1}, \\ \sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1, & i = \overline{1, s}, \\ u_{ij} = 0, & j \notin J(i), \end{cases} \quad (8)$$

где $J(i) = \{j \mid \exists q: \tilde{r}_{ij}^q \neq 0\}$. Докажем корректность постановки задачи.

Утверждение 4. *При любых заданных \vec{w}, \vec{R}, U и S_D прогнозируемый результат исполнения стратегии $I^*(U, \vec{p}(\omega))$ является случайной величиной, имеющей математическое ожидание.*

Доказательство. Приводимые в доказательстве рассуждения справедливы для любых фиксированных \vec{w}, \vec{R}, U и S_D , поэтому для упрощения обозначений не будем указывать их в качестве аргументов зависящих от них величин.

Вначале докажем, что функция $I^*(\vec{p})$ является измеримой по Борелю на множестве $\mathbb{P}_{\text{стох}}$. Из этого будет непосредственно следовать, что $I^*(\vec{p}(\omega))$ – случайная величина (см. теорему 24 в [117, с. 71]).

Для того чтобы функция $I^*(\vec{p})$ была измеримой по Борелю достаточно, чтобы она была полунепрерывной сверху на множестве $\mathbb{P}_{\text{стох}}$ (см. [118, с. 346]).

Для того чтобы функция $I^*(\vec{p})$ была полунепрерывной сверху на множестве $\mathbb{P}_{\text{стох}}$ достаточно, чтобы она была определена при любом $\vec{p} \in \mathbb{P}_{\text{стох}}$, и множество $Q(\vec{p})$ было ограничено (см. теорему 1.1 в [119]).

Ограниченность множества $Q(\vec{p})$ следует из наличия условий $0 \leq x_j \leq 1$ ($j = \overline{1, n}$). Докажем, что функция $I^*(\vec{p})$ определена при любом $\vec{p} \in \mathbb{P}_{\text{стох}}$. Значе-

ние $I^*(\vec{p})$ является максимумом функции $I(\vec{x}) = \sum_{j=1}^m w_j x_j$ при $\vec{x} \in Q(\vec{p})$. Известно, что непрерывная, ограниченная на непустом компактном множестве функция достигает на нем своего максимума (теорема Вейерштрасса). Функция $I(\vec{x})$, очевидно, является непрерывной и ограниченной на $Q(\vec{p})$. Так как множество $Q(\vec{p})$ замкнуто и ограничено при любом $\vec{p} \in \mathbb{P}_{\text{стох}}$, то оно является компактом. При любом заданном $\vec{p} \in \mathbb{P}_{\text{стох}}$ множество значений $x_1 = 0, \dots, x_l = 0, x_{l+1} = x_{l+1}^{\text{ext}}, \dots, x_m = x_m^{\text{ext}}, x_{m+1} = 0, \dots, x_n = 0$, где $\{x_{l+1}^{\text{ext}}, \dots, x_m^{\text{ext}}\}$ – заданные уровни достижения внешних целей, удовлетворяет ограничениям (7). Отсюда следует, что множество $Q(\vec{p})$ не пусто.

Таким образом, доказано, что $I^*(\vec{p}(\omega))$ – случайная величина. Так как она ограничена, то ее математическое ожидание существует (см. [120, с. 89]). \square

Задача (5)–(8) представляет собой двухэтапную задачу стохастического программирования. Распределение ресурсов U^* можно вычислить с помощью метода Монте-Карло [121, с. 390]. Согласно данному методу U^* приближается решением задачи линейного программирования $\frac{1}{v} \sum_{q=1}^v \sum_{j=1}^m x_j^q w_j \rightarrow \max_{\{x_j^q\}, U}$ при множестве ограничений (8), (9), где ограничения (9) имеют вид:

$$\begin{cases} 0 \leq x_j^q \leq 1, & j = \overline{1, n}, q = \overline{1, v} \\ x_j^q = x_j^{\text{ext}q}, & j = \overline{l+1, m}, q = \overline{1, v}, \\ x_j^q r_{ij}^q \leq u_{ij} R_i, & i = \overline{1, s}, j = \overline{m+1, n}, q = \overline{1, v}, \\ x_j^q \leq \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij}^q x_i^q, & j = \overline{1, n}, q = \overline{1, v}, \end{cases} \quad (9)$$

где $x_j^{\text{ext}q}$, r_{ij}^q , \tilde{k}_{ij}^q – q -я реализация соответствующего параметра модели, v – число реализаций, достаточное для достижения заданной точности δ при фиксированном уровне доверия γ .

Число реализаций v , достаточное для определения математического ожидания нормально распределенной случайной величины с заданной точностью, вычисляется по формуле:

$$v \geq \frac{t_\gamma s}{\delta},$$

где δ – допустимое отклонение среднего арифметического от истинного значения математического ожидания; s – стандартное отклонение; t_γ – величина, определяемая по специальным таблицам (см., например, [122, с. 469]), которая зависит от уровня доверия γ , показывающего, с какой вероятностью гарантируется, что математическое ожидание случайной величины отклонится от среднего выборочного не более чем на δ [122, с. 354]. Согласно [123] при достаточно большом числе испытаний ($\nu > 30$) данная формула может использоваться и для случайной величины, распределенной по закону, отличному от нормального.

После того как оптимальное распределение ресурсов U^* найдено, может быть применен алгоритм вычисления остатков ресурсов описанный в конце следующего раздела.

Итак, нами был рассмотрен численный метод оптимизации распределения ресурсов в условиях стохастической МСР. Применение указанного метода демонстрируется в разделах 3.3, 3.5, 3.6.

При замене допущения о том, что параметры МСР являются случайными величинами, на допущение, что параметры МСР являются неопределенными величинами, из стохастической получается интервальная модель стратегии развития. В следующем разделе рассмотрена задача оптимизации распределения ресурсов в рамках интервальной МСР.

2.4. Оптимизация распределения ресурсов организации с использованием интервальной модели стратегии развития.

В рамках *интервальной* модели стратегии развития принимается, что параметры являются неопределенными величинами, принадлежащими заданным множествам:

$$r_{ij} \in [r_{ij}, \bar{r}_{ij}], \quad i = \overline{1, s}, j = \overline{1, n};$$

$$x_j^{\text{ext}} \in [x_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}], \quad j = \overline{l+1, m};$$

$$\tilde{k}_j \in Q_j \triangleq \{(t_1, \dots, t_{n_j}) \in \mathbb{R}^{n_j} \mid \sum_{i=1}^{n_j} t_i = 1; \underline{k}_{ij} \leq t_i \leq \bar{k}_{ij}, i = \overline{1, n_j}\}, \quad j = \overline{1, n},$$

где $\underline{r}_{ij} \triangleq \sum_{q=1}^e c_q r_{ij}^q$, $\bar{r}_{ij} \triangleq \sum_{q=1}^e c_q \bar{r}_{ij}^q$ и аналогичным образом определены $\underline{x}_j^{\text{ext}}$, \bar{x}_j^{ext} , \underline{k}_{ij} и \bar{k}_{ij} . Обозначим множество допустимых значений вектора параметров модели $\vec{p} \triangleq (\vec{r}, \vec{x}^{\text{ext}}, \vec{k})$ как $\mathbb{P}_{\text{инт}} \triangleq \prod_{i,j} [\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}] \times \prod_j [\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}] \times \prod_j Q_j$.

Переопределим понятия карты стратегии и стратегии развития организации (см. определения 3 и 5 в разд. 2.2).

Определение 9. В рамках интервальной МСР *стратегия развития* представляет собой тройку $S_D \triangleq (\mathcal{G}, \{\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}\}, \{\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}\})$, где $\mathcal{G} \triangleq (N, K, \{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\})$ – *карта стратегии*, $\{\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}\}$ – множество границ варьирования затрат, $\{\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}\}$ – множество границ варьирования уровней достижения внешних целей, $\{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\}$ – множество границ варьирования коэффициентов причинно-следственных связей.

Введем понятия гарантированного (пессимистичного) и оптимистичного результатов исполнения стратегии.

Определение 10. *Гарантированным* результатом исполнения стратегии является значение $I^G(U) \triangleq \min_{\vec{p} \in \mathbb{P}_{\text{инт}}} I^*(U, \vec{p})$. Значение $I^*(U, \vec{p})$ здесь вычисляется по формуле (4) при фиксированных U , \vec{p} , \vec{w} и \vec{R} .

Определение 11. *Оптимистичным* результатом исполнения стратегии является значение $I^O(U) \triangleq \max_{\vec{p} \in \mathbb{P}_{\text{инт}}} I^*(U, \vec{p})$.

Задачу оптимизации распределения ресурсов в рамках интервальной МСР поставим следующим образом: найти распределение ресурсов $U_\alpha^* \in \mathbb{U}$, максимизирующее критерий Гурвица

$$I^\alpha(U) \triangleq \alpha I^G(U) + (1 - \alpha) I^O(U), \quad \alpha \in [0, 1].$$

Множество допустимых распределений ресурсов \mathbb{U} здесь определяется ограничениями (8).

Задача вычисления оптимального распределения ресурсов сводится к смешанной ЗЛП. Очевидно, что она эквивалентна задаче $\alpha \sum_{j=1}^m w_j x_j^G + (1 - \alpha) \sum_{j=1}^m w_j x_j^O \rightarrow \max_{\vec{x}^G, \vec{x}^O, U}$ при ограничениях (8), (10), где ограничения

(10) имеют вид:

$$\begin{cases} 0 \leq x_j^G, x_j^O \leq 1, & j = \overline{1, n}, \\ x_j^G = \underline{x}_j^{\text{ext}}, x_j^O = \bar{x}_j^{\text{ext}}, & j = \overline{l+1, m}, \\ x_j^G \bar{r}_{ij} \leq u_{ij} R_i, x_j^O \underline{r}_{ij} \leq u_{ij} R_i, & i = \overline{1, s}, j = \overline{m+1, n}, \\ x_j^G \leq \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij}^{*q} x_i^G, & j = \overline{1, n}, q = \overline{1, d_j}, \\ x_j^O \leq \sum_{q=1}^{d_j} \sum_{i=1}^{n_j} (\delta_j^q \tilde{k}_{ij}^{*q} x_i^O), & j = \overline{1, n}, \\ \delta_j^q \in \{0, 1\}, & j = \overline{1, n}, q = \overline{1, d_j}, \\ \sum_{q=1}^{d_j} \delta_j^q = 1, & j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (10)$$

где $\{\tilde{k}_j^{*q}\}_{q=1}^{d_j} \triangleq Q_j^*$ – множество вершин многоугольника Q_j ($d_j \triangleq |Q_j^*|$). Эта задача, в свою очередь, сводится к смешанной ЗЛП с применением предложенной в работе [124] замены произведений переменных $x\delta$, где $\delta \in \{0, 1\}$:

$$x\delta \rightarrow z, \quad 0 \leq z \leq x, \quad x + \delta - 1 \leq z \leq \delta.$$

Для построения множества вершин многоугольника Q_j предлагается использовать следующий алгоритм.

Алгоритм 4. Построение множества вершин многоугольника

Вход: $Q = \{(t_1, \dots, t_n) \in \mathbb{R}^n \mid \sum_{i=1}^n t_i = 1; \underline{k}_i \leq t_i \leq \bar{k}_i, i = \overline{1, n}\}$ – многоугольник

Выход: Q^* – множество вершин Q

ШАГ 1. Построить множество точек $Q' = \{t' \in \mathbb{R}^n \mid t'_i \in \{\underline{k}_i, \bar{k}_i\}\}$.

ШАГ 2. Для каждого индекса $i = \overline{1, n}$ построить множество точек

$$Q''_i = \{t'' \in \mathbb{R}^n \mid t''_{p=i} = 1 - \sum_{q=\overline{1, n}, q \neq i} t'_q, t''_{p \neq i} = t'_p, t' \in Q'\}.$$

ШАГ 3. Построить требуемое множество $Q^* = Q \cap (\cup_{i=1}^n Q''_i)$.

Полученная смешанная ЗЛП может быть решена методом ветвей и границ (см., например, [125, с. 367]) или каким-либо методом, специально приспособленным для решения задач данного класса (см. [126, 127]). В случае если точное решение задачи не удастся получить стандартными методами за приемлемое время, предлагается использовать алгоритм, построенный на базе классического метода частиц в стае (англ. *Particle Swarm Optimization*, PSO). Рассмотрим данный алгоритм подробно.

Пусть цели карты стратегии перенумерованы так, что выполняется условие

поуровневой нумерации: если индекс $j < i$, то не существует пути из i -й вершины карты стратегии в j -ю.

Вершины любой карты стратегии можно перенумеровать так, чтобы было выполнено условие поуровневой нумерации. Это вытекает из того, что уровни ориентированного графа без контуров являются непустыми множествами, образующими разбиение его вершин [128, с. 241]. Для того чтобы перенумеровать цели указанным образом может быть использован следующий алгоритм.

Алгоритм 5. Изменение номеров целей карты стратегии для обеспечения выполнения условия поуровневой нумерации

Вход: карта стратегии \mathcal{G}

Выход: поуровневая нумерация целей

ШАГ 1. Принять $i := 1$.

ШАГ 2. ЕСЛИ существует вершина, которая еще не получила новый номер, и в которую не входит ни одной дуги, ТО перейти в Шагу 3, ИНАЧЕ перейти к Шагу 4.

ШАГ 3. Любой вершине, которая еще не получила новый номер, и в которую не входит ни одной дуги, присвоить номер i . Принять $i := i + 1$. Перейти к Шагу 2.

ШАГ 4. ЕСЛИ множество вершин графа \mathcal{G} не пусто, ТО удалить из графа \mathcal{G} все вершины, в которые не входит ни одной дуги, ИНАЧЕ завершить исполнение алгоритма.

Одним из преимуществ поуровневой нумерации целей является то, что для любого заданного распределения ресурсов U при фиксированной стратегии S_D , реализация значений параметров модели $\{r_{ij}\}, \{x_j^{\text{ext}}\}, \{k_{ij}\}$ и векторе \vec{R} гарантированный и оптимистичный уровни достижения каждой цели можно вычислить, используя формулы:

$$x_j^{G^*}(U) = \min(1, \min_i(R_i u_{ij} / \bar{r}_{ij}), \min_q \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij}^{*q} x_i^{G^*}(U), \underline{x}_j^{\text{ext}}), j = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$x_j^{O^*}(U) = \min(1, \min_i(R_i u_{ij} / r_{ij}), \max_q \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij}^{*q} x_i^{O^*}(U), \bar{x}_j^{\text{ext}}), j = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Вычисление ведется в порядке возрастания индекса j . Неопределенность $0/0$, которая может возникнуть в члене $R_i u_{ij} / r_{ij}$, считается равной $+\infty$. Если какое

либо значение во внешней функции $\min(\cdot)$ не определено, то содержащий его член исключается из рассмотрения. Например, если j -я цель – промежуточная, и ей не подчинено ни одной цели, то выражение (11) следует читать как $x_j^{G^*}(U) = (1, \min_i(R_i u_{ij}/r_{ij}))$.

Критерий можно вычислить, подставив уровни достижения целей в формулу

$$I^\alpha(U) = \alpha \sum_{j \in N^{\text{set}}} w_j x_j^{G^*}(U) + (1 - \alpha) \sum_{j \in N^{\text{set}}} w_j x_j^{O^*}(U), \quad (13)$$

где N^{set} – множество индексов основных целей, полученных после перенумерации с использованием алгоритма 5.

Таким образом, известно как получить значение целевой функции при заданном аргументе U и, чтобы решить задачу оптимизации $I^\alpha(U) \rightarrow \max_{U \in U}$, можно использовать какой-либо метод оптимизации нулевого порядка. Предлагается использовать классический метод частиц в стае с кольцевой топологией связей частиц [129, с. 85; 130].

Основная идея метода состоит в имитировании поведения стаи животных при поиске пищи. Процедура поиска оптимума согласно классическому методу частиц в стае в общем случае заключается в следующем. Группа из M частиц максимизирует заданную целевую функцию $f(\cdot)$. В t -й момент времени ($t = \overline{0, T}$, где T – продолжительность «полета» частиц) i -я частица ($i = \overline{1, M}$) занимает позицию Y_i^t . Частица «помнит» лучшее значение целевой функции $pbest_i$, которое она смогла достичь до текущего момента времени t , а также позицию Y_i^* , в которой оно достигается:

$$pbest_i = \max_{j=1, \dots, t} f(Y_i^j),$$

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

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 достигнуто¹³:

$$gbest_i = \max_{j=\overline{l-1, l+1}} pbest_j,$$

$$Y_i^G = \operatorname{argmax}_{j=\overline{l-1, l+1}} f(Y_j^*).$$

Каждая частица передвигается согласно своему вектору скорости. В t -й момент времени скорость i -й частицы V_i^t меняется на скорость V_i^{t+1} :

$$V_i^{t+1} = w^t V_i^t + randc_1(Y_i^* - Y_i^t) + randc_2(Y_i^G - Y_i^t),$$

где $rand$ – генерируемая на каждой итерации реализация случайной величины, равномерно распределенной на отрезке $[0, 1]$. Величины c_1 и c_2 – «когнитивный» и «социальный» параметры поведения частицы, соответственно, определяют «тяготение» частицы к собственной лучшей позиции и лучшей позиции среди соседей. Параметр w^t определяет «инерционность» движения. Он используется для соблюдения баланса между глобальным и локальным поиском и меняется линейно от w^0 до w^T .

Новая позиция частицы вычисляется по формуле:

$$Y_i^{t+1} = Y_i^t + V_i^{t+1}.$$

Пусть частицы и их скорости представлены матрицами $Y = (y_{ij})_{s \times n}$, $V = (v_{ij})_{s \times n}$. Будем считать, что ресурсы распределяются между действиями без остатков, и доля i -го ресурса, направляемая на достижение j -й цели,

$$u_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{q=1}^n y_{iq}}. \quad (14)$$

Если j -я цель не требует для своего достижения расходования i -го вида ресурса (то есть $\bar{r}_{ij} = 0$), 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 $\sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1$ ($i = \overline{1, s}$), что позволяет использовать классический метод частиц в стае, подразумевающий наличие ограничений лишь в форме отрезков.

Значение целевой функции $f(Y) = I^\alpha(U(Y))$ для заданной частицы Y вы-

¹³ Ввиду кольцевой топологии связей частиц предполагается, что, если $i = 1$, то $i - 1 = M$; если $i = M$, то $i + 1 = 1$.

числяется следующим образом. Вначале по формуле (14) вычисляется распределение ресурсов U . При распределении ресурсов U с использованием формул (11)–(13) вычисляется значение $I^\alpha(U)$.

Си-подобный псевдокод предлагаемого численного метода оптимизации распределения ресурсов представлен ниже.

Алгоритм 6. Вычисление распределения ресурсов, максимизирующего критерий Гурвица $I^\alpha(U)$

Вход: стратегия развития S_D ; вектор объемов ресурсов \vec{R} ; вектор весовых коэффициентов основных целей \vec{w} ; α – параметр критерия Гурвица

Выход: оптимальное распределение ресурсов U_α^*

```

 $w := w^0;$ 
Initialize  $P(0);$ 
 $Y_i^* := Y_i;$ 
 $Y_i^G := \operatorname{argmax}_{j=i-1, i+1} f(Y_j);$ 
for ( $t := 0; t \leq T; t := t + 1$ ) {
  for (each particle  $i$  in  $P(t)$ ) {
     $V_i := wV_i + \operatorname{rand}c_1(Y_i^* - Y_i) + \operatorname{rand}c_2(Y_i^G - Y_i);$ 
     $Y_i := Y_i + V_i;$ 
    Correct( $Y_i$ );
    if ( $f(Y_i) > f(Y_i^*)$ ) {
       $Y_i^* := Y_i;$ 
      if ( $f(Y_i) > f(Y_i^G)$ )  $Y_i^G := Y_i;$ 
      if ( $f(Y_i) > f(Y_{i+1}^G)$ )  $Y_{i+1}^G := Y_i;$ 
      if ( $f(Y_i) > f(Y_{i-1}^G)$ )  $Y_{i-1}^G := Y_i;$ 
    }
  }
}
 $w := w + \frac{w^T - w^0}{T};$ 
}
 $Y^{G*} := \operatorname{argmax}_{j=1, \overline{M}} f(Y_j^G);$ 
for ( $i := 1; i \leq s; i := i + 1$ ) {
  for ( $j := 1; j \leq n; j := j + 1$ ) {
     $u_{aij}^* := \frac{y_{ij}^{G*}}{\sum_{q=1}^n y_{iq}^{G*}};$ 
  }
}
return  $U_\alpha^*$ 

```

В приведенном алгоритме функция Initialize $P(0)$ служит для инициализации популяции частиц и их скоростей. Элементы матриц, соответствующих частицам, генерируются как реализации случайной величины, равномерно распределенной на отрезке $[0; 2]$ (если $\bar{r}_{ij} = 0$, то $y_{ij} := 0$); начальные скорости, – как реализации случайной величины, равномерно распределенной на отрезке $[-0.5; 0.5]$ (если $\bar{r}_{ij} = 0$, то $v_{ij} := 0$). Функция Correct(Y) служит для того, чтобы скорректировать компоненты матрицы Y : если $y_{ij} < 0$, то $y_{ij} := 0$.

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 \tilde{U}' вычисляются доли ресурсов, которые можно оставить неизрасходованными. Для этого служит алгоритм 7, Си-подобный псевдокод которого представлен ниже.

Алгоритм 7. Вычисление наилучшего распределения ресурсов с долями, которые могут быть оставлены неизрасходованными

Вход: стратегия S_D ; вектор объемов ресурсов \vec{R} ; вектор весовых коэффициентов основных целей \vec{w} ; наилучшее распределение ресурсов \tilde{U}' ; $I^{M'} \triangleq M[I^*(\tilde{U}', \omega)]$; $I^{O'} \triangleq I^O(\tilde{U}')$; $I^{G'} \triangleq I^G(\tilde{U}')$

Выход: наилучшее распределение ресурсов с долями, которые можно оставить неизрасходованными, U'

```

for (i := 1; i ≤ s; i := i + 1) {
  for (j := 1; j ≤ n; j := j + 1) {
    Δ :=  $\frac{\tilde{u}'_{ij}}{1000}$ ;
    while ( $\tilde{u}'_{ij} \neq 0$ ) {
       $\tilde{u}'_{ij} := \tilde{u}'_{ij} - \Delta$ ;
       $I^M := M[I^*(\tilde{U}', \omega)]$ ;
       $I^O := I^O(\tilde{U}')$ ;
       $I^G := I^G(\tilde{U}')$ ;
    }
  }
}

```

```

    if (( $I^M < I^{M'}$ ) or ( $I^O < I^{O'}$ ) or ( $I^G < I^{G'}$ )) { $\tilde{u}'_{ij} := \tilde{u}'_{ij} + \Delta$ ; break};
  }
   $u'_{ij} := \tilde{u}'_{ij}$ ;
}
 $u'_{i,n+1} := 1 - \sum_{j=1}^n \tilde{u}'_{ij}$ ;
}
return  $U'$ 

```

После того как получено распределение ресурсов U' , с использованием формул (11) и (12) вычисляются гарантированные и оптимистичные уровни достижения стратегических целей. Метод Монте-Карло позволяет вычислить математическое ожидание, медиану, первый и третий квартили уровня достижения каждой цели.

Итак, в данном разделе были рассмотрены методы оптимизации распределения ресурсов в условиях интервальной МСР, а также алгоритм вычисления остатков ресурсов. Примеры применения предложенных методов демонстрируются в разделах 3.3, 3.5, 3.6.

В следующем разделе предлагается подход к оцениванию степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов.

2.5. Вычисление индексов расстояния, показывающих степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов.

Пусть с использованием методов, предложенных в разделах 2.3, 2.4, было вычислено наилучшее распределение ресурсов U' , и требуется оценить, насколько другое заданное распределение ресурсов U отличается U' . Например, если распределение ресурсов U' максимизирует математическое ожидание результата исполнения стратегии, то с целью анализа его устойчивости при изменении законов распределения параметров модели, может быть вычислено распределение U_R^* , максимизирующее математическое ожидание, при условии, что для моделирования поведения затрат и уровней достижения внешних целей взят равномерный закон, а не закон PERT-бета. Необходимо определить, на

сколько распределение U_R^* отличается от распределения U' . Если использовать какую-либо метрику, позволяющую вычислить расстояние между двумя матрицами, будет получено абсолютное значение, по которому трудно понять, является ли оно «большим» или «маленьким». Отсюда возникает задача конструирования индекса расстояния $D_{U'}(U)$.

Определение 12. Для любого заданного распределения ресурсов U' индекс расстояния – это функция $D_{U'}(U): \mathbb{U} \rightarrow [0,1]$, определенная, как

$$D_{U'}(U) \triangleq \frac{\rho(U', U)}{\max_{Z \in \mathbb{U}} \rho(U', Z)},$$

где $\rho(\cdot, \cdot)$ – некоторая метрика, заданная на множестве \mathbb{U} .

Напомним, что множество допустимых распределений ресурсов \mathbb{U} – это множество матриц размерности $s \times (n + 1)$, удовлетворяющих условиям:

$$0 \leq u_{ij}, \quad i = \overline{1, s}, j = \overline{1, n + 1}, \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, s}, \quad (16)$$

$$u_{ij} = 0, \quad \text{если } j \notin J(i),$$

где $J(i) = \{j \mid \exists q: \bar{r}_{ij}^q \neq 0\}$.

Индекс расстояния обладает следующими свойствами:

$$1) D_{U'}(U') = 0;$$

$$2) \exists U \in \mathbb{U}: D_{U'}(U) = 1.$$

Чем «дальше» распределение U от U' , тем «ближе» значение $D_{U'}(U)$ к 1. При наиболее «удаленном» от U' распределении ресурсов значение индекса расстояния равняется 1.

Построим индекс $D_{U'}^C(U)$ на базе метрики Чебышёва: $\rho_C(U', U) \triangleq \max_i \max_j |u_{ij} - u'_{ij}|$. Для этого докажем следующее утверждение:

Утверждение 5. Если \mathbb{U} – множество допустимых распределений ресурсов, то

$$\max_{U \in \mathbb{U}} \rho_C(U', U) \triangleq \max_{U \in \mathbb{U}} \max_i \max_j |u_{ij} - u'_{ij}| = \max_i (1 - \min_{j \in J(i)} u'_{ij}).$$

Доказательство. Ввиду того, что строки матриц, принадлежащих \mathbb{U} , независимы, достаточно рассмотреть случай, когда $s = 1$. Докажем, что

$$\max_{U \in \mathbb{U}} \max_j |u_{1j} - u'_{1j}| = 1 - \min_{j \in J(1)} u'_{1j}.$$

Пусть $E^p \triangleq (e_{ij})_{1 \times (n+1)}$ – матрица-строка такая, что $e_{1,j \neq p} = 0$, а $e_{1p} = 1$. Множество $\mathbb{E} \triangleq \bigcup_{p \in J(1)} \{E^p\}$ представляет собой множество крайних точек многоугольника $Y \triangleq \{y \in \mathbb{R}^{n+1} \mid \sum_{j=1}^{n+1} y_j = 1; y_j \geq 0, j = \overline{1, n+1}; y_j = 0, j \notin J(1)\}$. Так как функция $F_{U'}(U) = \max_j |u_{1j} - u'_{1j}|$ выпукла, непрерывна и ограничена сверху на многоугольнике Y , то она достигает глобального максимума в одной из его крайних точек [131, с. 10]. Поэтому можно заключить, что:

$$\max_{U \in \mathbb{U}} \max_j |u_{1j} - u'_{1j}| = \max_{U \in \mathbb{E}} \max_j |u_{1j} - u'_{1j}|. \quad (17)$$

Ввиду свойств (15) и (16) множества матриц \mathbb{U} для любых индексов $i, j \in J(1), i \neq j$ выполняется следующая цепочка следствий $u'_{1i} + u'_{1j} \leq 1 \Rightarrow u'_{1j} \leq 1 - u'_{1i} \Rightarrow |0 - u'_{1j}| \leq |1 - u'_{1i}|$. Отсюда получаем, что если $U \in \mathbb{E}$, и единица в матрице U располагается на i -й позиции, то $\max_j |u_{1j} - u'_{1j}| = |1 - u'_{1i}| = 1 - u'_{1i}$. Отсюда следует, что $\max_{U \in \mathbb{E}} \max_j |u_{1j} - u'_{1j}| = \max_{i \in J(1)} (1 - u'_{1i}) = 1 - \min_{i \in J(1)} u'_{1i}$. Так как справедливо соотношение (17), то утверждение доказано. \square

На основании доказанного утверждения можно заключить, что индекс расстояния $D_{U'}^C$ вычисляется следующим образом:

$$D_{U'}^C(U) = \frac{\max_i \max_j |u_{ij} - u'_{ij}|}{\max_i (1 - \min_{j \in J(i)} u'_{ij})}.$$

Построим также индекс $D_{U'}^E(U)$ на базе евклидовой метрики $\rho_E(U', U) \triangleq \max_i \sqrt{\sum_j (u_{ij} - u'_{ij})^2}$. Для этого докажем следующее утверждение:

Утверждение 6. Если \mathbb{U} – множество допустимых распределений ресурсов, а $q_i = \operatorname{argmin}_{j \in J(i)} u'_{ij}$, то:

$$\begin{aligned} \max_{U \in \mathbb{U}} \rho_E(U', U) &\triangleq \max_{U \in \mathbb{U}} \max_i \sqrt{\sum_j (u_{ij} - u'_{ij})^2} = \\ &\max_i \sqrt{(1 - u'_{iq_i})^2 + \sum_{j \neq q_i} u'_{ij}{}^2}. \end{aligned}$$

Доказательство. Ввиду того, что строки матриц, принадлежащих \mathbb{U} , независимы, достаточно рассмотреть случай, когда $s = 1$. Докажем, что

$$\max_{U \in \mathbb{U}} \sqrt{\sum_j (u_{1j} - u'_{1j})^2} = \sqrt{(1 - u'_{1q_1})^2 + \sum_{j \neq q_1} u'_{1j}{}^2}.$$

Пусть $E^p = (e_{ij})_{1 \times (n+1)}$ – матрица-строка такая, что $e_{1j \neq p} = 0$, а $e_{1p} = 1$. Множество $\mathbb{E} \triangleq \bigcup_{p \in J(1)} \{E^p\}$ представляет собой множество крайних точек многоугольника $Y \triangleq \{y \in \mathbb{R}^{n+1} \mid \sum_{j=1}^{n+1} y_j = 1; y_j \geq 0, j = \overline{1, n+1}; y_j = 0, j \notin J(1)\}$. Так как функция $F(U) = \sqrt{\sum_j (u_{1j} - u'_{1j})^2}$ выпукла, непрерывна и ограничена сверху на многоугольнике Y , то она достигает глобального максимума в одной из его крайних точек [131, с. 10]. Поэтому можно заключить, что:

$$\max_{U \in \mathbb{U}} \sqrt{\sum_j (u_{1j} - u'_{1j})^2} = \max_{U \in \mathbb{E}} \sqrt{\sum_j (u_{1j} - u'_{1j})^2}. \quad (18)$$

Пусть $u'_{1q_1} = \min_{j \in J(1)} u'_{1j}$, тогда $(1 - u'_{1q_1})^2 \geq (1 - u'_{1j})^2$ ($j = \overline{1, n+1}$). Отсюда следует, что для любого индекса $p \in \{1, \dots, n+1\}, p \neq q_1$ будет выполняться следующая цепочка неравенств:

$$\begin{aligned} & \sqrt{(1 - u'_{1q_1})^2 + \sum_{j \neq q_1} u'_{1j}{}^2} \geq \sqrt{(1 - u'_{1p})^2 + \sum_{j \neq q_1} u'_{1j}{}^2} = \\ & = \sqrt{(1 - u'_{1p})^2 + u'_{1p}{}^2 + \sum_{j \neq q_1, p} u'_{1j}{}^2} \geq \sqrt{(1 - u'_{1p})^2 + u'_{1q_1}{}^2 + \sum_{j \neq q_1, p} u'_{1j}{}^2} = \\ & = \sqrt{(1 - u'_{1p})^2 + \sum_{j \neq p} u'_{1j}{}^2}. \end{aligned}$$

Следовательно, если в матрице $\tilde{U} \in \mathbb{E}$ единица располагается в позиции $q_1 = \operatorname{argmin}_{j \in J(1)} u'_{1j}$, то $\tilde{U} = \operatorname{argmax}_{U \in \mathbb{E}} \max_j \sqrt{\sum_j (u_{1j} - u'_{1j})^2}$. Так как справедливо соотношение (18), то утверждение доказано. \square

На основании доказанного утверждения можно заключить, что индекс расстояния $D_{U'}^E$ вычисляется следующим образом:

$$D_{U'}^E(U) = \frac{\max_i \sqrt{\sum_j (u_{ij} - u'_{ij})^2}}{\max_i \sqrt{(1 - u'_{iq_i})^2 + \sum_{j \neq q_i} u'_{ij}{}^2}}, \quad q_i = \operatorname{argmin}_{j \in J(i)} u'_{ij}.$$

Таким образом, в данном разделе было предложено два индекса расстояния (первый – на основе метрики Чебышёва, второй – на основе евклидовой метрики), которые позволяют измерить степень различия между двумя заданными распределениями ресурсов. Практическое применение индексов расстояния демонстрируется в разделе 3.3.

Следующий раздел посвящен вычислению показателя, характеризующего снижение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров интервальной МСР.

2.6. Вычисление показателя, характеризующего снижение неопределенности после оценивания различных групп параметров интервальной модели стратегии развития.

Введем понятие *неопределенности* результата исполнения стратегии. Естественной мерой неопределенности результата, очевидно, является длина отрезка его варьирования при допустимом изменении значений параметров модели.

Определение 13. При заданных \vec{w} , \vec{R} , U и S_D *неопределенность* результата исполнения стратегии $I^\Delta \triangleq I^O - I^G$. Значения I^O и I^G здесь – это оптимистичный и гарантированный результаты исполнения стратегии, соответственно (см. определения 10 и 11).

Одной из теоретических задач является задача определения того, на сколько оценивание различных групп параметров интервальной МСР снижает неопределенность результата исполнения стратегии. Ее решение в каждом конкретном случае позволяет определить, насколько были оправданы затраты на оценивание тех или иных групп параметров модели.

Выделим четыре группы параметров – затраты (условное обозначение «r»), коэффициенты причинно-следственных связей (k), уровни достижения внешних целей (x^{ext}) и карту стратегии (G)¹⁴. При заданных \vec{w} , \vec{R} , U и S_D *снижение неопределенности* после оценивания группы параметров $g \in \{r, k, x^{\text{ext}}, G\}$ вы-

¹⁴ Здесь карта стратегии (ее структура и коэффициенты причинно-следственных связей) считается «группой параметров» модели, а ее формирование – «оцениванием» данной группы параметров.

числяется 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 (результатирующая 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). Чем больше значение показателя $\Delta I(g)$, тем большую роль играет оценивание параметров группы g при устранении неопределенности результата исполнения стратегии. Требуется указать, каким образом вычисляются значения $I^\Delta(g)$ и I^Δ .

Очевидно, что $I^O = \max_{\bar{x}^G, \bar{x}^O} \sum_{j=1}^m w_j x_j^O$, $I^G = \max_{\bar{x}^G, \bar{x}^O} \sum_{j=1}^m w_j x_j^G$ при ограничениях (8), (10). При вычислении значения I^Δ в приведенных задачах оптимизации следует использовать нижние и верхние границы варьирования параметров модели, вычисленные на основании полученных экспертных оценок. При вычислении значения $I^\Delta(r)$ следует принять $\{\underline{r}_{ij} = 0, \bar{r}_{ij} = +\infty\}$, при вычислении $I^\Delta(x^{\text{ext}})$ – принять $\{\underline{x}_j^{\text{ext}} = 0, \bar{x}_j^{\text{ext}} = 1\}$, при вычислении $I^\Delta(k)$ – принять $\{\underline{k}_{ij} = 0, \bar{k}_{ij} = 1\}$. Значения I^O и I^G можно вычислить и при неопределенности карты стратегии \mathcal{G} , то есть когда неизвестны не только оценки коэффициентов причинно-следственных связей, но и структура графа. Напомним, что слабо связный ориентированный ациклический нагруженный граф $\mathcal{G} \triangleq (N, K, \{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\})$ является картой стратегии, если выполняются следующие условия:

- 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 $(i, j) \in K$.

Справедливы следующие утверждения о «худшей» и «лучшей» карте стратегии (здесь подразумевается нумерация целей, введенная в разделе 1.2).

Утверждение 7. Пусть в карте стратегии $\underline{\mathcal{G}} = (N, K, \{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\})$ множество дуг $K = \{(2,1), (3,2), \dots, (l, l-1); (l+1, n), (l+2, n), \dots, (m, n); (m+1, l),$

$(m + 2, m + 1), \dots, (n, n - 1)\}$, а границы варьирования коэффициентов причинно-следственных связей $\tilde{k}_{in} = 0, \bar{k}_{in} = 1$ ($i = \overline{1, m}$), тогда при любых заданных $\vec{w}, \vec{R}, U, \{\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}\}$ и $\{\underline{x}_j^{\text{ext}}, \bar{x}_j^{\text{ext}}\}$ оказывается, что $\underline{G} = \operatorname{argmin}_{G \in \mathbb{G}} I^G(G)$, где \mathbb{G} – множество карт стратегии.

Доказательство. Гарантированный результат равен оптимальному значению критерия задачи линейного программирования $\sum_{j=1}^m w_j x_j^G \rightarrow \max_{\vec{x}^G, \vec{x}^0}$ при ограничениях (8), (10). Очевидно, что существует множество коэффициентов $\{h_{ij}\}$ ($h_{ij} \geq 0, \sum_i h_{ij} = 1$) таких, что задаваемые картой стратегии структурные ограничения (четвертая строка в группе (10)) эквивалентны множеству ограничений $\{x_j^G \leq \sum_i h_{ij} x_i^G, j = \overline{1, l}\}$. Так как $\sum_i h_{ij} x_i^G \geq (\min_i x_i^G) \times \sum_i h_{ij} = \min_i x_i^G$, то «наихудшей» картой будет та карта, которая задает структурные ограничения, эквивалентные множеству ограничений $\{x_j^G \leq x_i^G, j = \overline{1, l}, i = \overline{1, n}\}$. Нетрудно проверить, что карта \underline{G} (см. рис. 12) как раз обладает таким свойством. \square

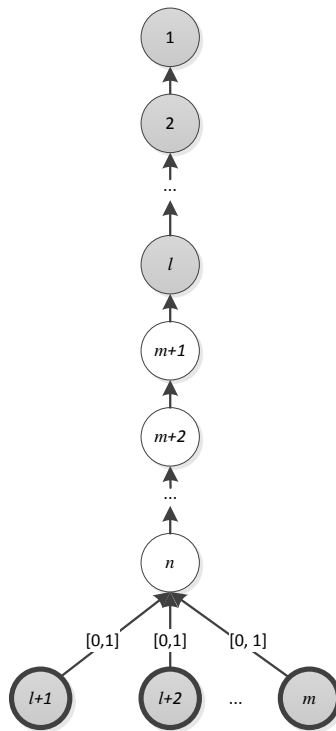


Рис. 12. Структура «наихудшей» карты стратегии (основные цели выделены серым цветом, контуры внешних целей утолщены)

Утверждение 8. 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 $\bar{\mathcal{G}} = (N, K, \{\underline{k}_{ij}, \bar{k}_{ij}\})$ дуги $\{(q, 1), \dots, (q, l)\} \subseteq K$, $(\cdot, q) \notin K$, а границы варьирования коэффициентов причинно-следственных связей $\underline{k}_{q1} = 0, \bar{k}_{q1} = 1, \underline{k}_{qj} = 1$ ($j = \overline{2, l}$), тогда при любых заданных $\bar{w}, \{\bar{r}_{ij}\}$ и $\{\underline{x}_j^{\text{ext}}\}$ оказывается, что $\bar{\mathcal{G}} = \operatorname{argmax}_{\mathcal{G} \in \mathbb{G}} I^0(\mathcal{G})$, где \mathbb{G} – множество карт стратегии.

Доказательство. Оптимистичный результат равен оптимальному значению критерия задачи линейного программирования $\sum_{j=1}^m w_j x_j^0 \rightarrow \max_{\bar{x}^G, \underline{x}^0}$ при ограничениях (8), (10). Очевидно, что существует множество коэффициентов $\{h_{ij}\}$ ($h_{ij} \geq 0, \sum_i h_{ij} = 1$) таких, что задаваемые картой стратегии структурные ограничения (пятая, шестая и седьмая строки группы (10)) эквивалентны множеству ограничений $\{x_j^0 \leq \sum_i h_{ij} x_i^0, j = \overline{1, l}\}$. Так как $\sum_i h_{ij} x_i^0 \leq (\max_i x_i^0) \times \sum_i h_{ij} = \max_i x_i^0$, то «наилучшей» картой будет та, которая задает структурные ограничения, эквивалентные множеству ограничений $\{x_j^0 \leq \max_i x_i^0, j = \overline{1, l}\}$. Карта $\bar{\mathcal{G}}$ (фрагмент ее структуры изображен на рис. 13) как раз обладает таким свойством. \square

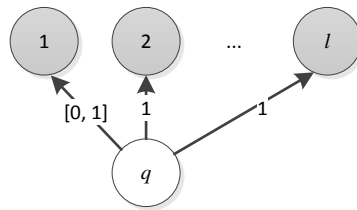


Рис. 13. Фрагмент структуры «наилучшей» карты стратегии (основные цели выделены серым цветом).

Таким образом, предложен метод вычисления показателя $\Delta I(g)$ при $g \in \{r, k, x^{\text{ext}}, G\}$. Справедливо следующее утверждение, касающееся свойств показателя $\Delta I(g)$.

Утверждение 9.

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 $\Delta I(r) \geq \Delta I(G) \geq \Delta I(k)$;

2) Для каждого из неравенств $\Delta I(r) > \Delta I(G)$ и $\Delta I(G) > \Delta I(k)$ существует стратегия S_D , не содержащая внешних целей, а также векторы \vec{R} и \vec{w} , такие, что при любом $U \in \mathbb{U}$ данное неравенство выполняется;

3) Для каждого из неравенств $\Delta I(g_1) > \Delta I(g_2)$ ($g_1, g_2 \in \{r, k, x^{\text{ext}}, G\}, g_1 \neq g_2$), кроме $\Delta I(k) > \Delta I(G)$, существует стратегия S_D , содержащая внешние цели, а также векторы \vec{R} и \vec{w} , такие, что при любом $U \in \mathbb{U}$ 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 нельзя без дополнительного анализа уверенно сказать, оценивание каких групп параметров приведет к большему снижению неопределенности.

Доказательство. Будем считать, что цели занумерованы так, что выполняется условие поуровневой нумерации: если индекс $j < i$, то не существует пути из i -й вершины в j -ю. Докажем первый пункт утверждения. При отсутствии внешних целей гарантированный результат исполнения стратегии $I^G = \max_{\vec{x}^G} \sum_{i \in N^{\text{set}}} x_i^G w_i$ при ограничениях (19)–(21):

$$x_j^G \bar{r}_{ij} \leq u_{ij} R_i, \quad i = \overline{1, s}, j \in N^{\text{der}}, \quad (19)$$

$$\begin{cases} 0 \leq x_j^G \leq 1, & j = \overline{1, n}, \\ x_j^G = \underline{x}_j^{\text{ext}}, & j \in N^{\text{ext}}, \end{cases} \quad (20)$$

$$x_j^G \leq \sum_{i=1}^{n_j} \tilde{k}_{ij}^{*q} x_i^G, \quad j = \overline{1, n}, q = \overline{1, d_j}, \quad (21)$$

где N^{der} – множество индексов промежуточных целей, N^{set} – множество индексов основных целей, N^{ext} – множество индексов внешних целей, $\{\tilde{k}_{ij}^{*q}\}_{q=1}^{d_j} \triangleq Q_j^*$ – множество вершин многоугольника $Q_j = \{(t_1, \dots, t_{n_j}) \in \mathbb{R}^{n_j} \mid \sum_{i=1}^{n_j} t_i = 1; \underline{k}_{ij} \leq t_i \leq \bar{k}_{ij}, i = \overline{1, n_j}\}$, $d_j \triangleq |Q_j^*|$.

Ограничения (19) и (20) с учетом того, что $\bar{r}_{ij} = +\infty$, и внешние цели отсутствуют, эквивалентны ограничениям:

$$\begin{cases} x_j^G = 0, & j \in N^{\text{der}}, \\ 0 \leq x_j^G \leq 1, & j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (22)$$

Докажем, что $x_{j_i}^G = 0$ ($i = \overline{1, m}$; $j_i \in N^{\text{set}}$; $j_p < j_q$ при $p < q$), то есть что гарантированные уровни достижения всех основных целей равны нулю, по индукции. Из того, что:

- 1) внешние цели отсутствуют;
- 2) в любую вершину, соответствующую основной цели, не являющейся внешней, ведет дуга (свойство 3 карты стратегии);
- 3) граф \mathcal{G} – ациклический,

следует, что основная цель (ОЦ) с номером j_1 , являющимся наименьшим среди всех номеров ОЦ (то есть $j_1 = \min_{j \in N^{\text{set}}} j$), имеет, по крайней мере, одну подчиненную цель, и все подчиненные данной ОЦ цели – промежуточные. В этом случае из ограничений (21) и (22) следует, что $x_{j_1}^G = 0$. Очевидно, что равенство $x_{j_q}^G = 0$ ($1 < q \leq m$), следует из трех приведенных свойств и того, что $x_{j_p}^G = 0$ ($p = \overline{1, q-1}$).

Таким образом, при неопределенности параметров затрат и отсутствии внешних целей $I^G(\mathbf{r}) = 0$.

Вычислим $I^0(\mathbf{r})$ – оптимистичный результат при условии, что затраты не определены. Известно, что $I^0 = \max_{\bar{x}^0} \sum_{i \in N^{\text{set}}} x_i^0 w_i$ при ограничениях (23)–(25):

$$x_j^0 \underline{r}_{ij} \leq u_{ij} R_i, \quad i = \overline{1, s}, j \in N^{\text{der}}, \quad (23)$$

$$\begin{cases} 0 \leq x_j^G \leq 1, & j = \overline{1, n}, \\ x_j^0 = \bar{x}_j^{\text{ext}}, & j \in N^{\text{ext}}, \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} x_j^0 \leq \sum_{q=1}^{d_j} \sum_{i=1}^{n_j} (\delta_j^q \tilde{k}_{ij}^{*q} x_i^0), & j = \overline{1, n}, \\ \delta_j^q \in \{0, 1\}, & j = \overline{1, n}, q = \overline{1, d_j}, \\ \sum_{q=1}^{d_j} \delta_j^q = 1, & j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (25)$$

Ограничения (23) и (24) с учетом того, что $\underline{r}_{ij} = 0$, и внешние цели отсутствуют, эквивалентны ограничениям:

$$0 \leq x_j^0 \leq 1, j = \overline{1, n}. \quad (26)$$

Предположим, что $x_j^{0*} = 1$ ($j = \overline{1, n}$). Ограничения (26) выполняются. Ограничения (25) эквивалентны множеству ограничений:

$$x_j^0 \leq \sum_i h_{ij} x_i^0, j = \overline{1, m},$$

где $\{h_{ij}\}$ – некоторое множество коэффициентов ($h_{ij} \geq 0, \sum_i h_{ij} = 1$). Данные ограничения также выполняются.

Таким образом, при неопределенности параметров затрат и отсутствии внешних целей $I^0(r) = 1$.

С учетом того, что $I^\Delta(g) \leq 1$ ($g \in \{r, k, x^{\text{ext}}, G\}$), неравенство $\Delta I(r) \geq \Delta I(G)$ следует из цепочки:

$$\Delta I(r) \triangleq I^\Delta(r) - I^\Delta \triangleq I^0(r) - I^G(r) - I^\Delta = 1 - I^\Delta \geq I^\Delta(G) - I^\Delta \triangleq \Delta I(G).$$

Неравенство $\Delta I(G) \geq \Delta I(k)$ следует из того, что оценивание коэффициентов причинно-следственных связей входит в определение карты стратегии, поэтому снижает неопределенность результата не больше, чем последнее. Таким образом, первый пункт утверждения доказан.

Докажем второй пункт утверждения. Пусть $\vec{R} = (1)$. Примеры стратегий, не содержащих внешние цели, для которых при любом $U \in \mathbb{U}$ выполняются неравенства $\Delta I(r) > \Delta I(G)$ и $\Delta I(G) > \Delta I(k)$ представлены на рис. 14. Подразумевается, что все эксперты дали одинаковые точные оценки параметров модели, указанные на рисунке.



Рис. 14. Примеры стратегий, для которых при любом $U \in \mathbb{U}$ выполняются неравенства $\Delta I(r) > \Delta I(G)$ и $\Delta I(G) > \Delta I(k)$ (основные цели выделены серым цветом)

Докажем третий пункт утверждения. Пусть $\vec{R} = (1)$. Примеры стратегий, содержащих внешние цели, для которых при любом $U \in \mathbb{U}$ выполняются неравенства $\Delta I(g_1) > \Delta I(g_2)$ ($g_1, g_2 \in \{r, k, x^{ext}, G\}, g_1 \neq g_2$), кроме $\Delta I(k) > \Delta I(G)$, представлены на рис. 15.

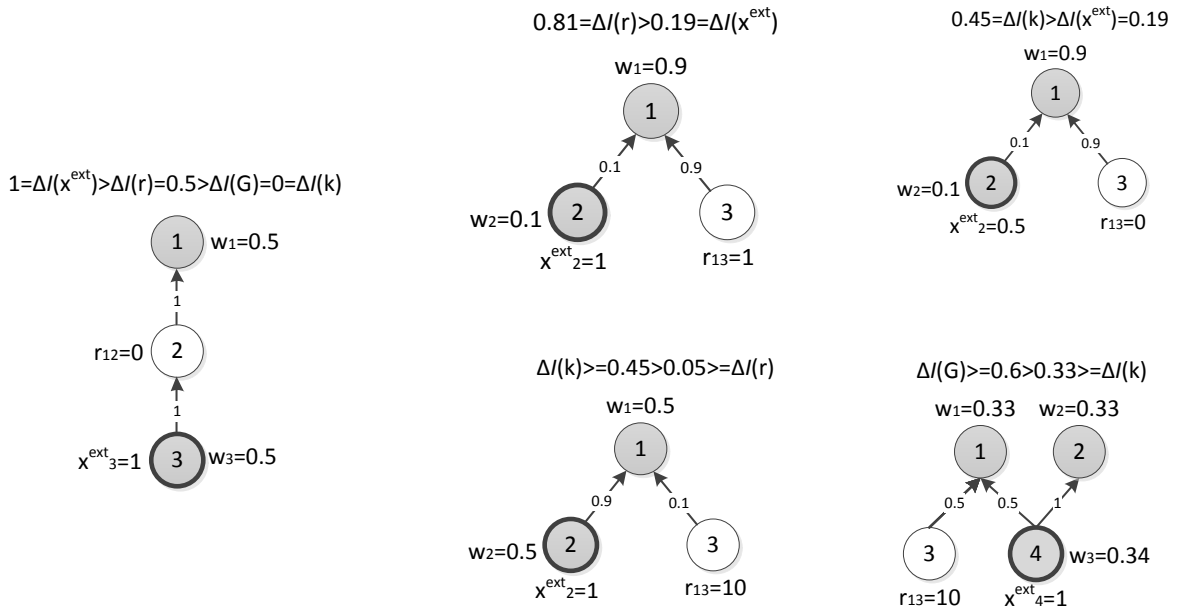


Рис. 15. Примеры стратегий, для которых при любом $U \in \mathbb{U}$ выполняются неравенства $\Delta I(g_1) > \Delta I(g_2)$ ($g_1, g_2 \in \{r, k, x^{ext}, G\}, g_1 \neq g_2$), кроме $\Delta I(k) > \Delta I(G)$ (основные цели выделены серым цветом, контуры внешних целей утолщены)

Неравенства $\Delta I(G) > \Delta I(g)$ ($g \in \{r, x^{ext}\}$), очевидно, выполняются для тех карт, для которых $\Delta I(k) > \Delta I(g)$. \square

Итак, в разделах 2.2–2.4 было продемонстрировано решение четвертой задачи исследования: разработаны подходы к определению значений параметров

модели стратегии развития, предложены алгоритмы оптимизации распределения ресурсов, учитывающие характер получаемых оценок параметров. В разделах 2.5, 2.6 приведено решение двух дополнительных задач: сконструировано два индекса расстояния для измерения степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов, предложен метод вычисления показателя, характеризующего снижение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров интервальной МСР. Практическое применение разработанных методов и моделей демонстрируется в разделах 3.3, 3.5, 3.6.

2.7. Выводы по второй главе.

Во второй главе были подробно изложены результаты, полученные при решении третьей и четвертой задач диссертационного исследования.

Вначале предложен алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии организации, то есть стратегии, на которой достигается наиболее предпочтительная с точки зрения ЛПР пара значений двух критериев – а) количества нежелательных сочетаний формирующих стратегию решений и б) максимального среди анти-приоритетов формирующих стратегию решений. Достоинством алгоритма является то, что он позволяет выбрать оптимальную стратегию на основе неполной информации о множестве нежелательных сочетаний решений, которое в общем случае может содержать большое число элементов. В алгоритме использована оригинальная процедура построения Парето-недоминируемых стратегий, дающая значительное преимущество по вычислительным затратам в сравнении с прямым перебором за счет осуществления отсечений.

Оптимизацию распределения ресурсов организации предложено осуществлять с применением модифицированных моделей стратегии развития – стохастической и интервальной. Исходная модель стратегии развития базировалась на ряде искусственных допущений, существенно ограничивающих ее практическое применение. В частности, предполагалось, что значения параметров моде-

ли (затрат, коэффициентов причинно-следственных связей и уровней достижения внешних целей) задаются точно. Вместе с тем, следует признать, что априорно данные параметры могут быть получены только на основании экспертных оценок. Высокий уровень неопределенности среды в долгосрочной перспективе, а также новизна рассматриваемой ситуации существенно затрудняют получение точных оценок параметров модели. Кроме того, оценки, получаемые от разных экспертов, могут различаться.

В стохастической модели стратегии развития значения параметров предложено считать случайными величинами и использовать трехточечные и двухточечные экспертные оценки для определения характеристик законов распределения данных величин. Оптимальным принято считать распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии. Указан эффективный метод вычисления оптимального распределения ресурсов.

В интервальной модели стратегии развития параметры считаются неопределенными величинами, принадлежащими множествам, границы которых задаются двухточечными экспертными оценками. Оптимальным принято считать распределение ресурсов, максимизирующее критерий Гурвица, то есть выпуклую линейную комбинацию гарантированного и оптимистичного результатов исполнения стратегии. Задача вычисления оптимального по критерию Гурвица распределения ресурсов сведена к смешанной ЗЛП, которая может быть решена известными методами (например, методом ветвей и границ). Кроме того, на базе классического метода частиц в стае был построен алгоритм, позволяющий оптимизировать распределение ресурсов в случаях, когда решение смешанной ЗЛП не удастся вычислить за приемлемое время.

Для получения наилучшего распределения ресурсов рекомендовано использовать обе модели стратегии развития – стохастическую и интервальную, а затем выбирать распределение, на котором достигается наиболее предпочтительное сочетание гарантированного, ожидаемого и оптимистичного результатов.

Часто возникает необходимость в сравнении двух заданных распределений

ресурсов. Для осуществления сравнения предложено использовать индекс расстояния, представляющий собой нормированную метрику, определенную на множестве допустимых распределений ресурсов. Было сконструировано два индекса: первый – на основе метрики Чебышёва, второй – на основе евклидовой метрики.

В завершении главы предложен подход к определению того, насколько оценивание различных групп параметров интервальной модели стратегии развития снижает неопределенность результата исполнения стратегии. В качестве меры неопределенности принята разница между оптимистичным и гарантированным результатами. Подход основан на вычислении неопределенности до и после оценивания различных групп параметров модели стратегии развития. Было доказано, что если карта стратегии не содержит внешних целей, то оценивание затрат снижает 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. Также доказано, что, если карта стратегии содержит внешние цели, то без дополнительного анализа нельзя уверенно сказать, оценивание каких групп параметров приведет к большему снижению неопределенности.

В следующей главе описан комплекс программ, реализующий предложенные модели и методы. Его использование для решения практических задач проиллюстрировано на ряде примеров.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ.

3.1. Архитектура комплекса программ для стратегического управления организацией.

Разработанные в диссертационной работе модели и алгоритмы были реализованы в составе комплекса программ, который представляет собой систему поддержки принятия решений (СППР) «Start-Up-Strategy». Предлагаемая СППР была апробирована на ряде практических примеров. Таким образом, решена пятая задача исследования. СППР реализована на языке программирования C# (среда разработки Microsoft Visual Studio 2010).

Архитектура комплекса программ представлена на рис. 16.

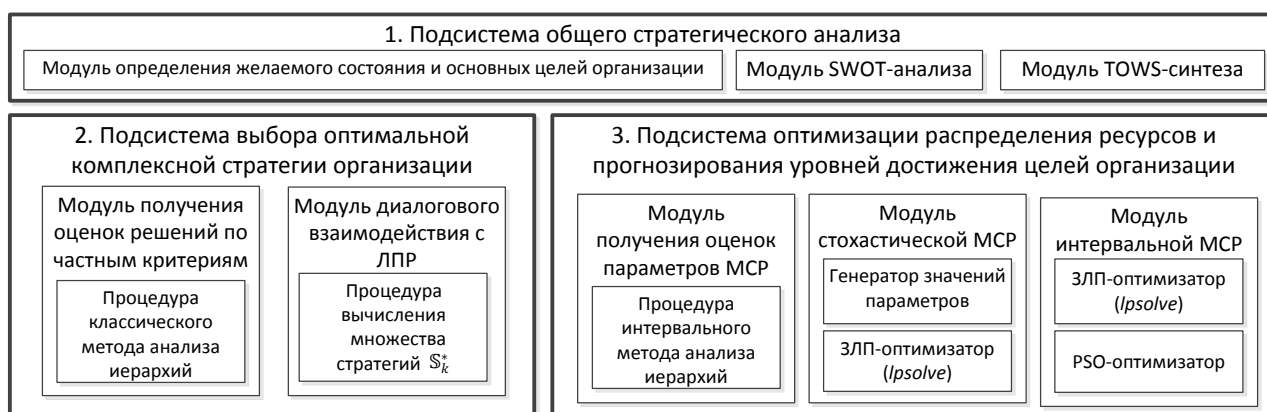


Рис. 16. Архитектура разработанного комплекса программ

В СППР входит три подсистемы:

- 1) подсистема общего стратегического анализа;
- 2) подсистема выбора оптимальной комплексной стратегии организации;
- 3) подсистема оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей организации.

Подсистема общего стратегического анализа служит для предварительного анализа состояния организации. В процессе анализа определяются основные направления развития организации. Здесь также подготавливается информация, необходимая экспертам для оценивания стратегических решений, составляющих комплексную стратегию, и формирования стратегических действий, вхо-

дящих в стратегию развития организации. Подсистема общего стратегического анализа включает три модуля:

- 1) модуль определения желаемого состояния и основных целей организации;
- 2) модуль SWOT-анализа;
- 3) модуль TOWS-синтеза.

Первый модуль служит для ввода краткого текстового описания желаемого состояния организации, а также множества основных целей организации. Для каждой цели вводится название, показатель эффективности, служащий для измерения степени ее достижения, единица измерения показателя, его текущее (англ. *As-Is*) и желаемое (англ. *To-Be*) значение. Для основных целей и желаемого состояния могут быть оставлены комментарии экспертов. Владелец организации утверждает или отклоняет предлагаемый менеджментом вариант желаемого состояния и основных целей организации. UML-диаграмма вариантов использования рассматриваемого модуля представлена на рис. 17.

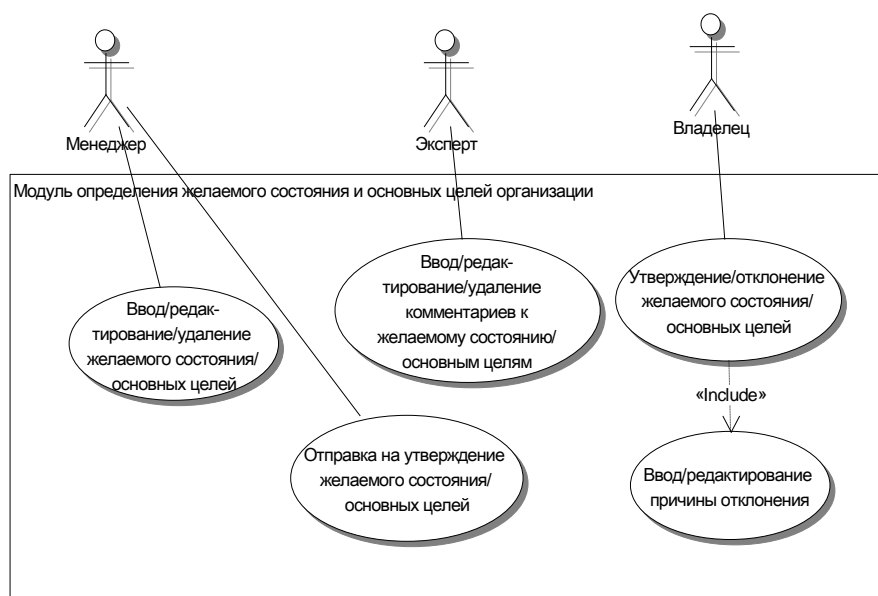


Рис. 17. UML-диаграмма вариантов использования модуля определения желаемого состояния и основных целей организации

Второй модуль служит для SWOT-анализа организации. Суть метода SWOT-анализа состоит в заполнении матрицы, состоящей из четырех клеток: 1) «Силы» (англ. *Strength*) – преимущества организации перед конкурентами, 2)

«Слабости» (англ. *Weakness*) – недостатки организации в сравнении с конкурентами, 3) «Возможности» (англ. *Opportunities*) – благоприятные факторы внешней среды, 4) «Угрозы» (англ. *Threats*) – неблагоприятные факторы внешней среды [88]. UML-диаграмма вариантов использования модуля SWOT-анализа представлена на рис. 18.

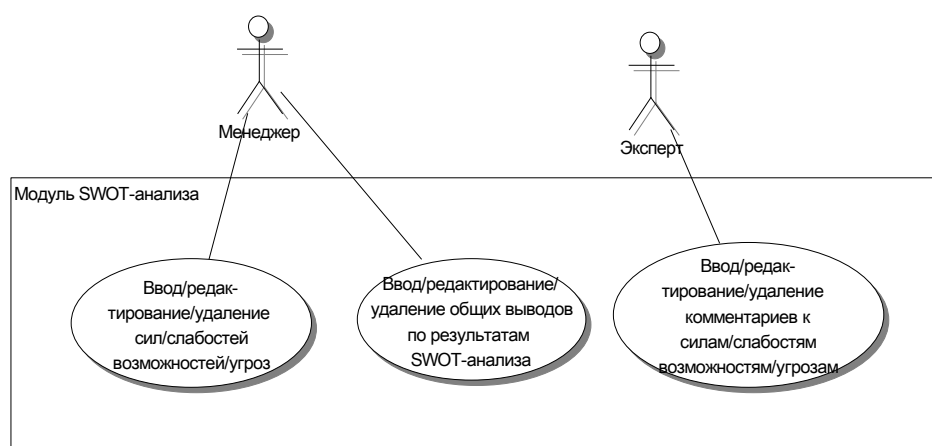


Рис. 18. UML-диаграмма вариантов использования модуля SWOT-анализа

Третий модуль позволяет осуществить TOWS-синтез. Метод TOWS-синтеза служит для определения стратегических действий, направленных на достижение желаемого состояния организации. Он заключается в комбинировании SWOT-элементов и заполнении матрицы, состоящей из следующих клеток: 1) «Силы–Возможности» – действия, направленные на использование преимуществ организации в совокупности с благоприятными факторами внешней среды, 2) «Силы–Угрозы» – действия, направленные на использование преимуществ организации для противостояния неблагоприятным факторам внешней среды, 3) «Слабости–Возможности» – действия, направленные на использование возможностей с целью устранения недостатков организации, 4) «Слабости–Угрозы» – действия, направленные на устранение недостатков организации и предотвращение влияния на нее неблагоприятных факторов внешней среды [89]. UML-диаграмма вариантов использования модуля TOWS-синтеза представлена на рис. 19.

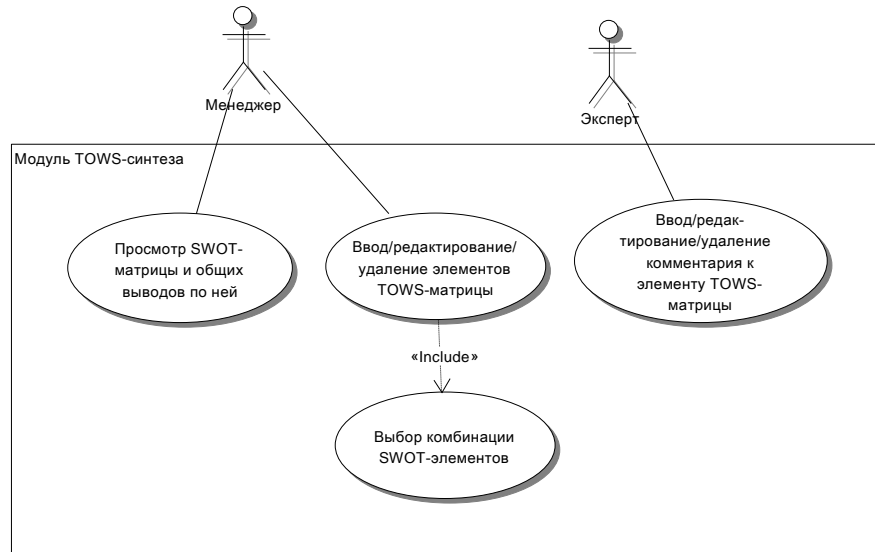


Рис. 19. UML-диаграмма вариантов использования модуля TOWS-синтеза

Подсистема выбора оптимальной комплексной стратегии организации реализует процесс выбора стратегии, представленный на рис. 20 (нотация IDEF0).

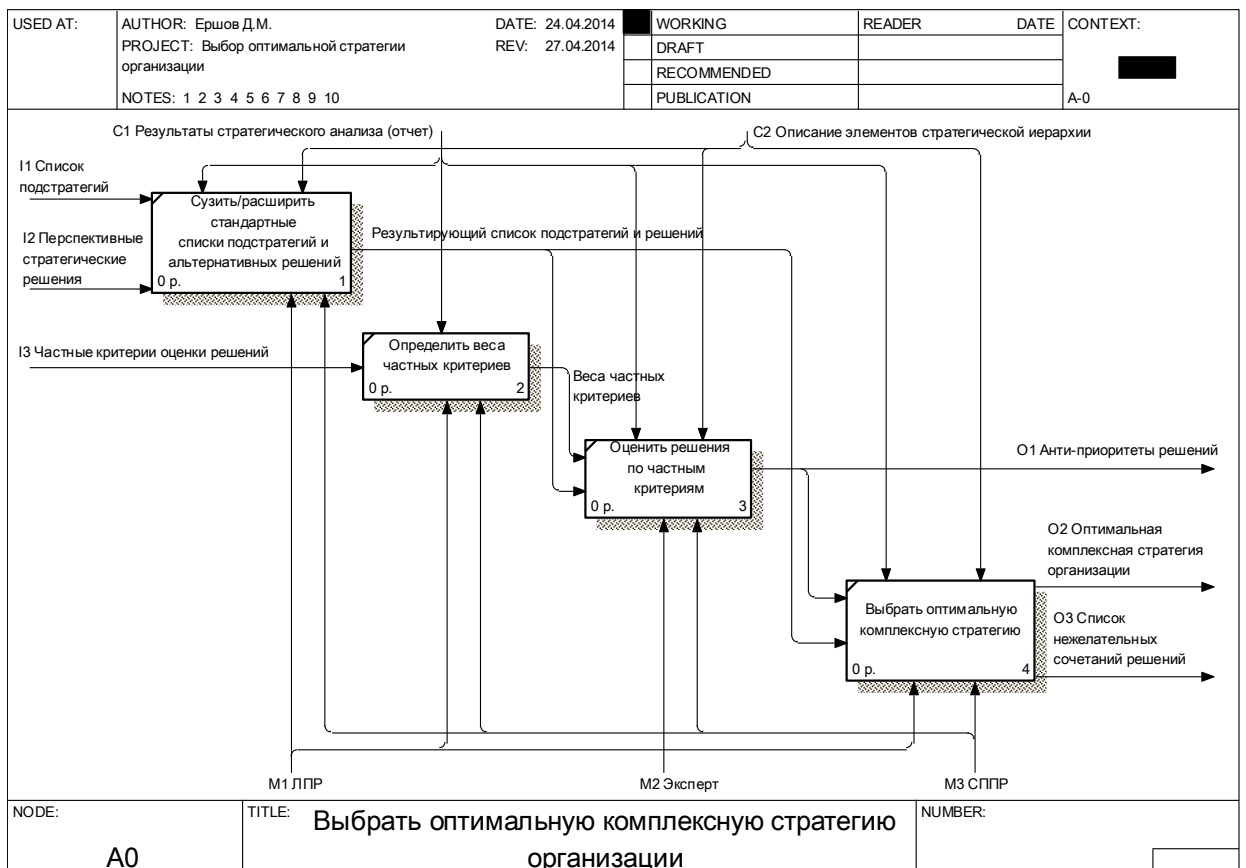


Рис. 20. Процесс выбора оптимальной комплексной стратегии организации

Данная подсистема включает два модуля:

- 1) модуль получения оценок решений по частным критериям;

2) модуль диалогового взаимодействия с ЛПР.

Первый модуль реализует процедуру классического метода анализа иерархий со сбалансированной шкалой оценок, описанную в разделе 1.1. Результатом его использования является множество анти-приоритетов стратегических решений.

Второй модуль реализует алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии (см. алгоритм 1, предложенный в разделе 2.1). В процессе генерации множества стратегий S_k^* он вызывает процедуру, которая использует алгоритм 2, предложенный в разделе 2.1.

UML-диаграмма вариантов использования подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии представлена на рис. 21.

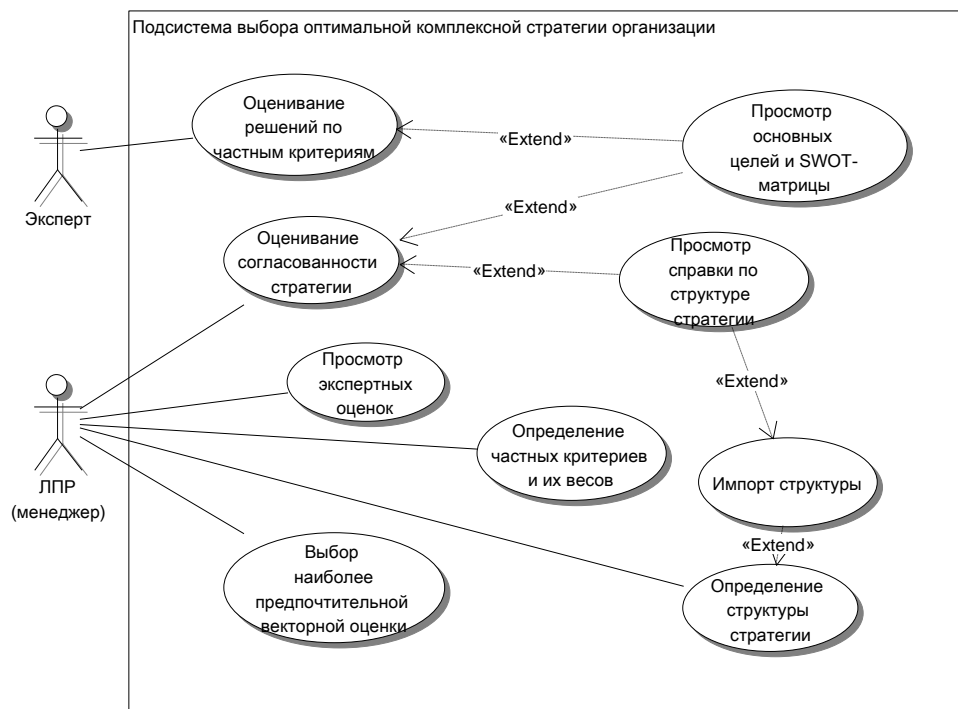


Рис. 21. UML-диаграмма вариантов использования подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии

Фрагмент пользовательского интерфейса данной подсистемы показан на рис. 22. Используя элементы типа «Check box» в верхней таблице, ЛПР выделяет нежелательные сочетания решений. На рис. 22 выделено три нежелательных сочетания: 1) Качество – среднее, Экспансия – расширение сектора рынка; 2) Номенклатура – полный спектр услуг, Ассортимент – широкий; 3) Качество –

среднее, Качество ресурсов – лидирующее. Нажав на кнопку «Сгенерировать стратегии», ЛПР подтверждает, что выделение нежелательных сочетаний решений завершено и могут быть построены стратегии S_{k+1}^* , множество векторных оценок которых по критерию $\vec{F}^{k+1}(S_C)$ совпадает с множеством оценок Парето-недоминируемых на S при минимизации $\vec{F}^{k+1}(S_C)$ стратегий.

The screenshot shows a web browser window with the URL localhost/ChooseStrategy/ChooseStrategy.asp. The page contains a table of strategy variants and a section for Pareto-optimal strategies.

| Вариант | 1-е множество | 2-е множество | 3-е множество | 4-е множество | 5-е множество | 6-е множество | 7-е множество |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Номенклатура: полный спектр услуг | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ассортимент: широкий | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Масштабы: повышение качества базы | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Качество: среднее | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Экспансия: расширение сектора рынка | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Конкуренция: завоевание абонентов | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ценообразование: снятие сливок | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Структура рынка: полисегментный | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Кач-во ресурсов: лидирующее | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▶ Структура поставщ.: доминантно-сегментная | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Источник обновл. технол: собств.+заимств. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Тип технологии: технолого-маркетинговый | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Масштабы интеграции: на всех видах рынков | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Вид интеграции: комбинированная | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Структура источников: диверсификация источников | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Сроки получения кредитов: смешанный тип получения | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Возврат средств: постепенное возвращение | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Инвестирование средств: использ. для собств. развит. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Консолидация предпр.: смешанный вариант | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| № | Выбор | Wmax | Приходится включить | Приходится исключить |
|-----|-------|------|---|---|
| ▶ 1 | Выбор | 1.00 | {качество - низкое; кач-во ресурсов - лидирующее} | {качество - низкое; экспансия - расширение сектора} |
| * 2 | Выбор | 1.34 | {качество - среднее} | |

Рис. 22. Фрагмент пользовательского интерфейса подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии организации

В нижней таблице представлены характеристики стратегий, сгенерированных на текущей итерации алгоритма S_k^* . Нажатием на кнопку «Посмотреть на графике» вызывается график, показывающий множество векторных оценок $\vec{F}^k(S_C)$ комплексных стратегий $S_C \in S_k^*$. Наглядное представление оценок позволяет ЛПР выбрать наиболее предпочтительную из них.

Подсистема оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей организации включает три модуля:

- 1) модуль получения оценок параметров МСР;
- 2) модуль стохастической МСР;
- 3) модуль интервальной МСР.

Первый модуль служит для ввода экспертных оценок параметров модели стратегии развития. Для получения оценок коэффициентов причинно-следственных связей между целями в данном модуле реализована процедура интервального метода анализа иерархий (см. алгоритм 3 в разделе 2.2).

Второй модуль реализует метод вычисления распределения ресурсов, максимизирующего математическое ожидание результата исполнения стратегии (генератор значений параметров обеспечивает получение заданного числа реализаций случайных параметров модели, а ЗЛП-оптимизатор¹⁵ – ее оптимизацию). Здесь также реализована функция имитации достижения целей при любом заданном распределении ресурсов и некоторой реализации случайных параметров модели стратегии развития.

Третий модуль реализует методы вычисления распределения ресурсов, максимизирующего критерий Гурвица (см. разд. 2.4). Здесь реализована как процедура, основанная на методе частиц в стае (PSO-оптимизатор), так и процедура точного вычисления решения (ЗЛП-оптимизатор). Также третий модуль содержит процедуру вычисления показателя, характеризующего снижение неопределенности результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров интервальной МСР. UML-диаграмма вариантов использования рассматриваемой подсистемы представлена на рис. 23.

Для сравнения двух заданных распределений ресурсов в обоих модулях реализована функция, вычисляющая индексы расстояния (см. разд. 2.5).

¹⁵ Для решения смешанной ЗЛП используется библиотека *lpsolve*, описание которой доступно по адресу <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5> (27.05.2014).

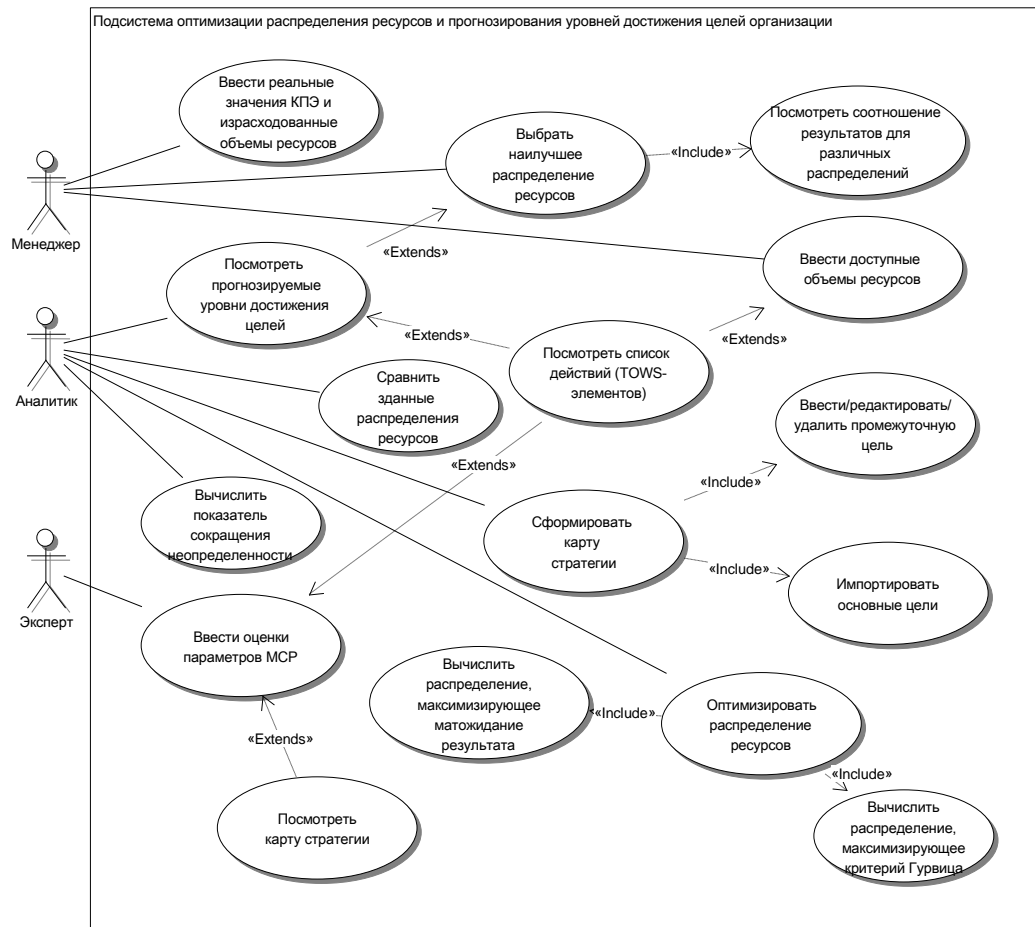


Рис. 23. UML-диаграмма вариантов использования подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей

Фрагмент пользовательского интерфейса рассматриваемой подсистемы представлен на рис. 24. Справа здесь находятся таблицы, содержащие данные о целях, доступных объемах ресурсов, оценках затрат и весовых коэффициентах. Слева располагается карта стратегии и текстовое описание желаемого состояния организации.

Следует отметить, что для получения дополнительной информации, наличие которой повысит эффективность использования предлагаемого комплекса программ, могут использоваться внешние подсистемы. Так, например, для определения стратегических действий, направленных на поддержание конкурентоспособности, а также установление целевой доли рынка, рекомендуется использовать подсистему “Competition”, разработанную специально для конкурентного анализа рынка.

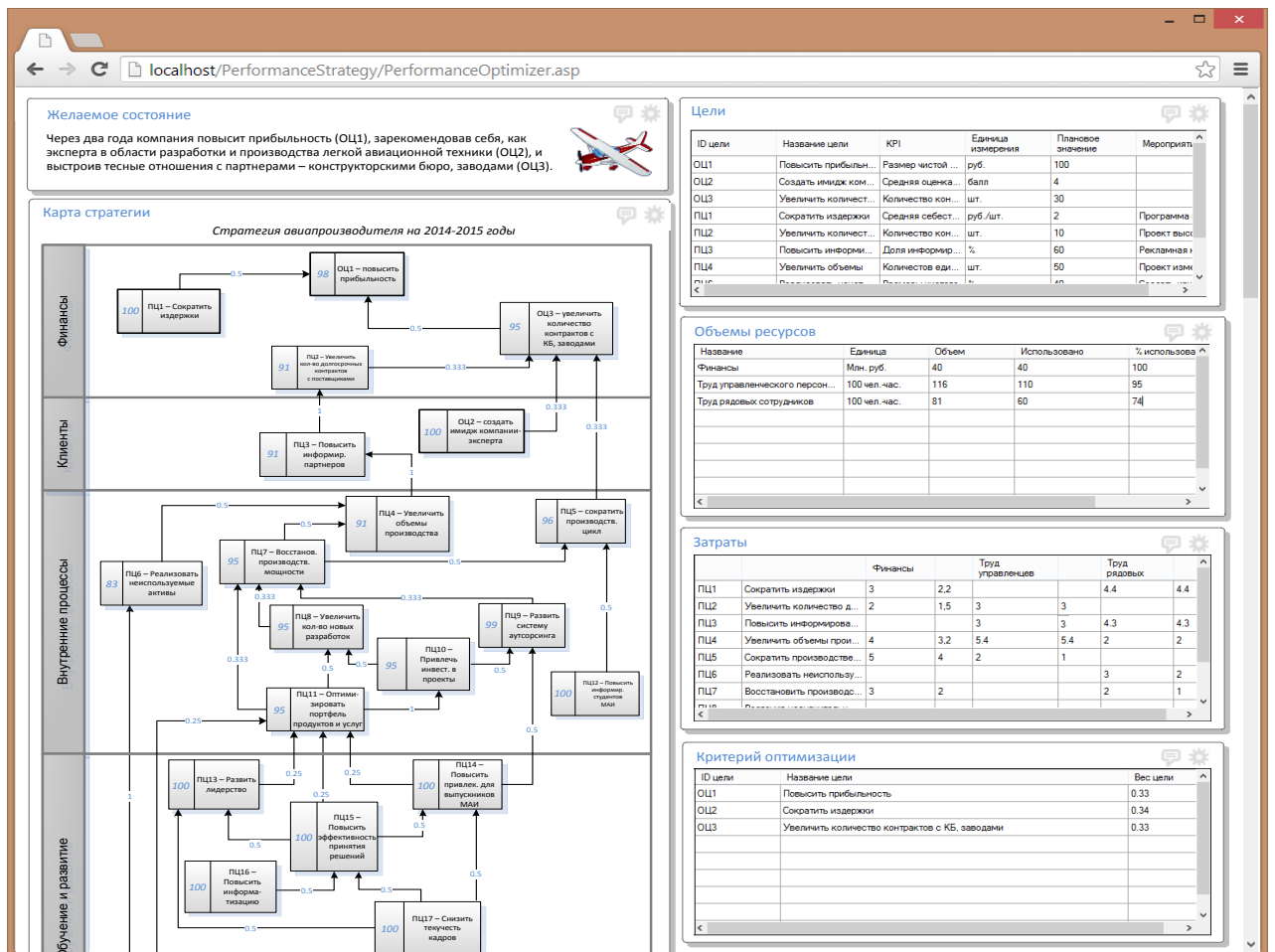


Рис. 24. Фрагмент пользовательского интерфейса подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей

Итак, в данном разделе была описана структура предлагаемого комплекса программ для стратегического управления организацией и указаны его основные функции. В следующем разделе предлагается алгоритм использования СППР в процессе стратегического управления организацией.

3.2. Алгоритм использования комплекса программ при стратегическом управлении организацией.

Для разработанного комплекса программ предложен алгоритм, предписывающий, кем и в каком порядке используются различные подсистемы в процессе стратегического управления организацией. Диаграмма, наглядно представляющая алгоритм, представлена на рис. 25.

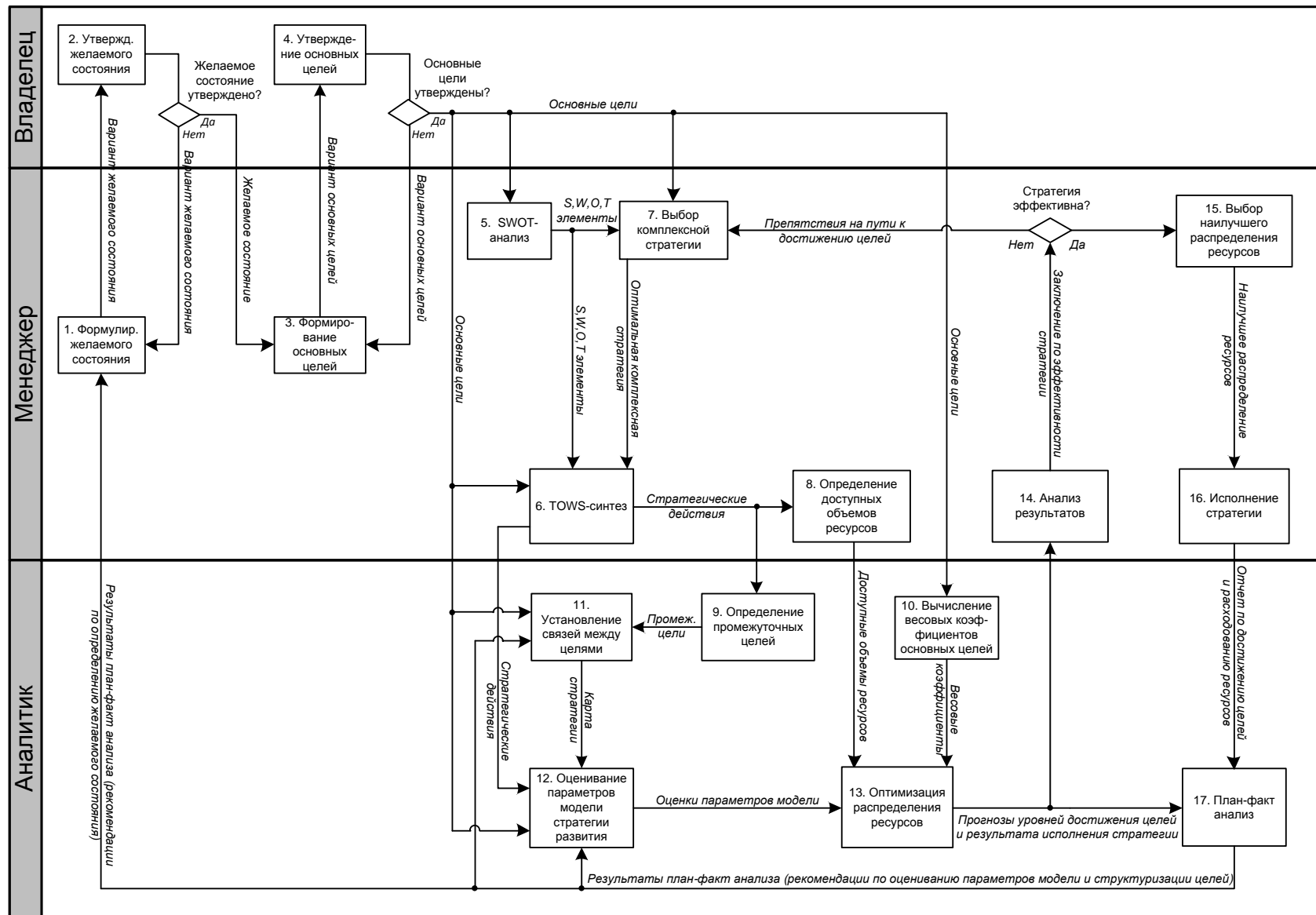


Рис. 25. Алгоритм использования предлагаемого комплекса программ

Она состоит из следующих элементов: *областей*, описывающих функциональные роли (владелец, менеджер, аналитик) лиц, использующих предлагаемый комплекс программ¹⁶; *активностей* (процедур), представляющих собой действия лиц, исполняющих различные функциональные роли; *информационных потоков*, устанавливающих связи между активностями¹⁷. Процедуры 1–6 поддерживаются первой подсистемой комплекса, 7 – второй, а 8–17 – третьей.

В начале очередного цикла стратегического управления менеджеры, на основании *результатов план-факт анализа* предыдущего цикла, *формулируют желаемое состояние* организации. Сформулированное предложение согласуется с владельцами организации, проходя процедуру *утверждения желаемого состояния*. Если владельцы удовлетворены предложенным *вариантом желаемого состояния*, то на его основе менеджеры *формируют основные цели* организации, если нет – он направляется на доработку.

Формирование основных целей ведет к выработке *варианта основных целей* организации. Для каждой из основных целей определяется показатель эффективности, его фактическое и желаемое значение. Если предлагаемый *вариант* проходит процедуру *утверждения основных целей* владельцами, то предложенные *цели* используются менеджерами далее при формировании стратегии организации. Если же *вариант* отклоняется, то *формирование основных целей* выполняется повторно.

Следующий шаг подразумевает проведение *SWOT-анализа*, целью которого является определение *S, W, O, T-элементов* – сильных и слабых сторон компании, ее возможностей и угроз. *S, W, O, T-элементы* используются как руководство при оценке стратегических альтернатив и анализе согласованности решений в процессе *выбора комплексной стратегии* организации. После того, как выбрана *оптимальная комплексная стратегия*, осуществляется *TOWS-синтез*,

¹⁶ Несмотря на то, что на диаграмме указано всего три роли (владелец, менеджер и аналитик) при реализации некоторых процедур большую роль играют *эксперты* (директора департаментов, консультанты, специалисты отдела планирования) – лица хорошо знакомые с отдельными сферами деятельности организации и тенденциями развития внешней среды. Особенно это касается процедур №6–13.

¹⁷ Здесь информационные потоки выделены *курсивом*, а активности *полужирным курсивом*.

позволяющий определить *стратегические действия*, исполнение которых ведет к достижению *основных целей* организации.

Затем менеджмент *определяет доступные объемы ресурсов*, которые будут использоваться для исполнения стратегических действий. В результате формируется вектор *доступных объемов ресурсов*.

Далее аналитик *определяет промежуточные цели* – для каждого *стратегического действия* формулируется цель, позволяющая определить результативность его исполнения. Также как и для основных целей, для каждой *промежуточной цели* определяется показатель эффективности, его фактическое и желаемое значение.

Очевидно, что доступных объемов ресурсов может не хватать для того, чтобы исполнить все намеченные действия. В связи с этим возникает задача оптимального распределения ресурсов. Для того чтобы решить данную задачу, предлагаемый комплекс программ реализует стохастическую и интервальную модели стратегии развития.

В соответствии с данными моделями, прогнозируемый результат исполнения стратегии измеряется как взвешенная совокупность прогнозируемых уровней достижения основных целей. Для определения множества значений *весовых коэффициентов* служит процедура *вычисления весовых коэффициентов основных целей*.

Процесс *установления связей между целями* организации направлен на формирование *карты стратегии*, показывающей связи между *основными и промежуточными целями*. Здесь не требуется определять значения коэффициентов причинно-следственных связей, на данном этапе необходимо определить лишь структуру карты¹⁸.

В результате *оценивания параметров модели стратегии развития* аналитик получает от экспертов трехточечные оценки затрат и уровней достижения внешних целей, а также двухточечные оценки коэффициентов причинно-

¹⁸ Практический пример, показывающий разработку стратегии развития компании от проведения SWOT-анализа до формирования карты стратегии, приведен в работе [132].

следственных связей. После того, как *оценки параметров модели* получены, осуществляется *оптимизация распределения ресурсов*. При этом вычисляется оптимальное распределение ресурсов как в рамках стохастической, так и в рамках интервальной МСР (в рамках интервальной МСР может быть вычислено множество оптимальных распределений ресурсов для различных значений параметра критерия Гурвица). Для каждого полученного распределения ресурсов вычисляются значения гарантированного, оптимистичного и ожидаемого результатов.

Анализ результатов позволяет сформировать *заключение по эффективности стратегии*. Если менеджмент не удовлетворен результатами, то констатируется, что существуют *препятствия на пути к достижению целей*, и стратегия должна быть пересмотрена. Если же результаты удовлетворительны, то *выбирается наилучшее распределение ресурсов*, которое в наибольшей степени удовлетворяет менеджмент с точки зрения сочетания значений гарантированного, ожидаемого и оптимистичного результатов. Выбранное *наилучшее распределение ресурсов* используется при *исполнении стратегии*.

В конце периода реализации стратегии аналитику направляется *отчет по достижению целей и расходованию ресурсов*, на основании которого он осуществляет *план-факт анализ*, сравнивая реальные данные с *прогнозами уровней достижения целей и результата исполнения стратегии*. Прогнозы уровней достижения целей включают гарантированные уровни достижения целей, математические ожидания уровней достижения целей и оптимистичные уровни достижения целей. Для уровней достижения отдельных целей и для результата исполнения стратегии дополнительно могут быть построены выборочные функции распределения и гистограммы частот, вычислены среднеквадратическое отклонение, медиана, первый и третий квартили.

Результаты план-факт анализа представляют собой *рекомендации по оцениванию параметров модели и структуризации целей*, а также *рекомендации по определению желаемого состояния*, которые используются на следующей итерации цикла стратегического управления организацией.

Итак, в данном разделе был описан алгоритм использования предлагаемого комплекса программ в процессе стратегического управления организацией. В следующих разделах применение комплекса демонстрируется на ряде практических примеров.

3.3. Применение комплекса программ в компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику.

Разработанное программное обеспечение было использовано в процессе планировании деятельности конструкторского бюро, проектирующего и производящего легкую авиационную технику (горизонт планирования – 2 года).

Вначале было определено желаемое состояние компании (Рис. 25 – Процедуры 1–2):

Через два года компания повысит прибыльность (ОЦ1), зарекомендовав себя, как эксперта в области разработки и производства легкой авиационной техники (ОЦ2), и выстроит тесные отношения с партнерами (ОЦ3).

Далее на основании желаемого состояния были сформулированы и утверждены три основные цели (Рис. 25 – Процедуры 3–4, цели ОЦ1–ОЦ3 отмечены в формулировке желаемого состояния). Затем проведен SWOT-анализ (Рис. 25 – Процедура 5) и выбрана оптимальная комплексная стратегия (Рис. 25 – Процедура 7). Фрагмент матрицы SWOT-анализа, определяющей сильные и слабые стороны компании, а также ее возможности и угрозы приведен в табл. 4.

Таблица 4
Фрагмент матрицы SWOT-анализа конструкторского бюро

| | |
|---|---|
| Силы (Strength) | Слабости (Weakness) |
| S1. Расположение на территории профильного института; S2. Наличие спроса на неиспользуемые активы; S3. Наличие большого количества патентов; S4. ... | W1. Значительная доля неиспользуемых активов; W2. Малое количество видов продукции, пользующихся стабильным спросом; W3. ... |
| Возможности (Opportunities) | Угрозы (Threats) |
| O1. Государство выделяет субвенции малому инновационному бизнесу; O2. Заинтересованность студентов МАИ в работе по специальности; O3. ... | T1. Старение персонала; T2. Устаревание неиспользуемых активов; T3. Повышение конкуренции со стороны иностранных авиапроизводителей; T4. ... |

Остановимся на описании Процедуры 7 более подробно. С применением метода анализа иерархий со сбалансированной шкалой были вычислены оценки привлекательности отдельных стратегических решений. Для получения матриц суждений экспертам задавался вопрос «Во сколько раз решение А более предпочтительно, чем решение В, для обеспечения достижения желаемого состояния компании?» При ответе на вопрос эксперты не должны были учитывать возможности реализации данного решения, как самого по себе, так и в сочетании с другими решениями. Это дало экспертам свободу, не ограничивая ход их мыслей текущим потенциалом компании, который учитывался при оценке сочетаемости решений (необходимость последовательного рассмотрения «желаний» и «возможностей» в процессе стратегического управления отмечена в работе [133]).

Например, агрегированием матриц суждений, полученных от трех экспертов (каждый элемент в агрегированной матрице представляет собой среднее геометрическое элементов частных матриц), была получена следующая матрица предпочтительности решений «Облегченное проникновение», «Снятие сливок», «Гонка за лидером» и «Дифференциация по сегментам рынка» ценовой подстратегии:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1.49 & 1.27 & 1.38 \\ 1/1.49 & 1 & 1/1.49 & 1/1.38 \\ 1/1.27 & 1.49 & 1 & 1.27 \\ 1/1.38 & 1.38 & 1/1.27 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для вычисления меры согласованности данной матрицы использовалась формула (1). Чтобы продемонстрировать использование данной формулы вычислим предварительно матрицы $\bar{G} = (\bar{g}_{ij})_{4 \times 4}$ и $\underline{G} = (\underline{g}_{ij})_{4 \times 4}$:

$$\bar{G} = \begin{pmatrix} 1 & 1.90 & 1.27 & 1.61 \\ 0.67 & 1 & 0.85 & 0.92 \\ 0.95 & 1.75 & 1 & 1.27 \\ 0.92 & 1.38 & 0.92 & 1 \end{pmatrix}, \quad \underline{G} = \begin{pmatrix} 1 & 1.49 & 1.05 & 1.09 \\ 0.53 & 1 & 0.57 & 0.72 \\ 0.79 & 1.17 & 1 & 1.09 \\ 0.62 & 1.08 & 0.79 & 1 \end{pmatrix}.$$

Отсюда $C.M. \triangleq \frac{2}{12} \left(\frac{0.67-0.53}{1.67*1.53} + \frac{0.95-0.79}{1.95*1.79} + \frac{1.75-1.17}{2.75*2.17} + \frac{0.92-0.62}{1.92*1.62} + \frac{1.38-1.08}{2.38*2.08} + \frac{0.92-0.79}{1.92*1.79} \right) \approx 0.07 < 0.1$. Следовательно, матрица согласована, и ее

собственный вектор $\vec{w} \approx (0.31, 0.19, 0.27, 0.23)$ отражает приоритеты экспертов. Вектор анти-приоритетов $\vec{\tilde{w}}$ был вычислен путем деления максимального элемента на каждый элемент вектора \vec{w} : $\vec{\tilde{w}} = (1, 1.63, 1.15, 1.35)$. Таким же образом были получены остальные анти-приоритеты решений, представленные в Приложении А.

При исполнении алгоритма 1 (всего исполнено три цикла оценивания согласованности стратегии) ЛПР были выделены нежелательные сочетания решений, представленные в табл. 5.

Таблица 5

Нежелательные сочетания решений для компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику

| № | Сочетание решений ^{a)} | | | Вошло в S_C^* |
|----|---------------------------------|------|-----|-----------------|
| 1 | 6.1 | 7.1 | 3.1 | Нет |
| 2 | 13.1 | 14.1 | | Нет |
| 3 | 1.1 | 9.1 | | Нет |
| 4 | 15.1 | 16.1 | | Нет |
| 5 | 4.1 | 5.1 | 4.1 | Нет |
| 6 | 6.1 | 8.1 | | Нет |
| 7 | 16.1 | 19.1 | | Нет |
| 8 | 4.1 | 5.1 | 6.1 | Нет |
| 9 | 10.1 | 13.1 | | Нет |
| 10 | 1.2 | 5.1 | 6.1 | Нет |
| 11 | 5.1 | 8.2 | | Нет |
| 12 | 1.2 | 5.1 | | Нет |

^{a)} Номера решений соответствуют номерам в Приложении А.

На рис. 26 показаны Парето-эффективные векторные оценки стратегий, предъявленные ЛПР перед тем, как была выбрана оптимальная стратегия. Точка $\vec{F}^3(S_C^*) \triangleq (|E_3 \cap 2^{S_C^*}|, \tilde{w}_{\max}(S_C^*)) = (0, 1.39)$, соответствующая оценке оптимальной стратегии, закрашена. Вошедшие в S_C^* решения выделены серым цветом в Приложении А.

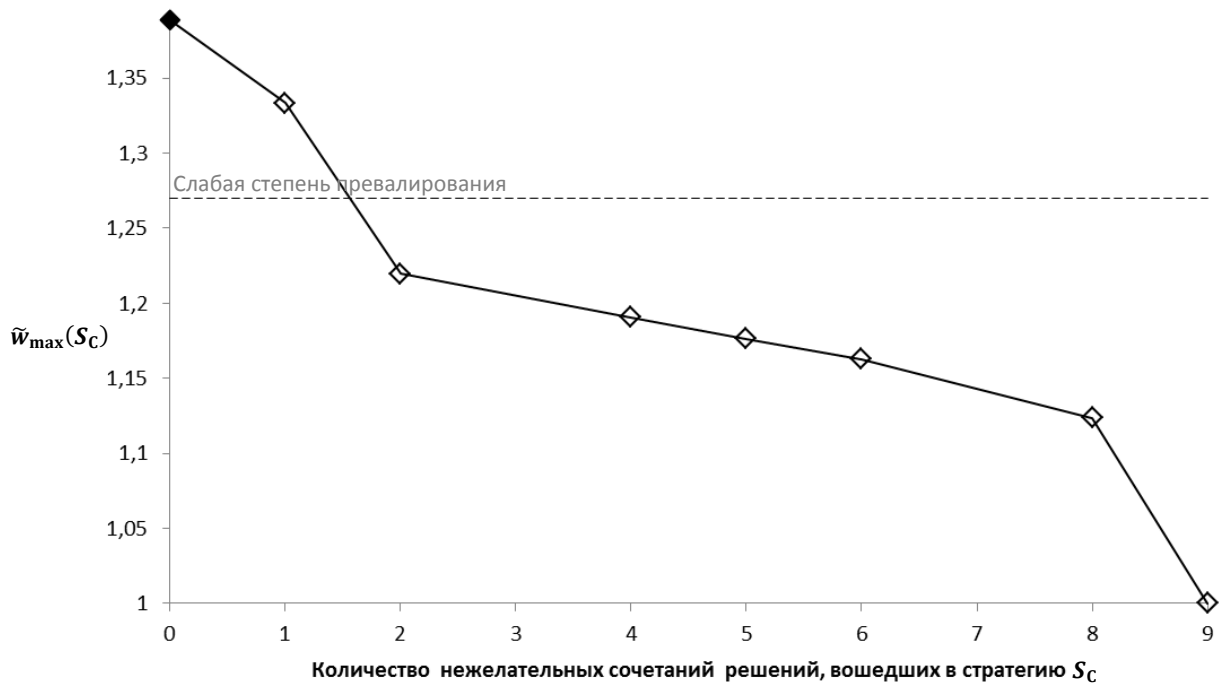


Рис. 26. Парето-эффективные оценки комплексных стратегий

При генерации множества стратегий S_3^* было построено дерево метода ветвей и границ, содержащее 917 узлов (Рис. 27), 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.

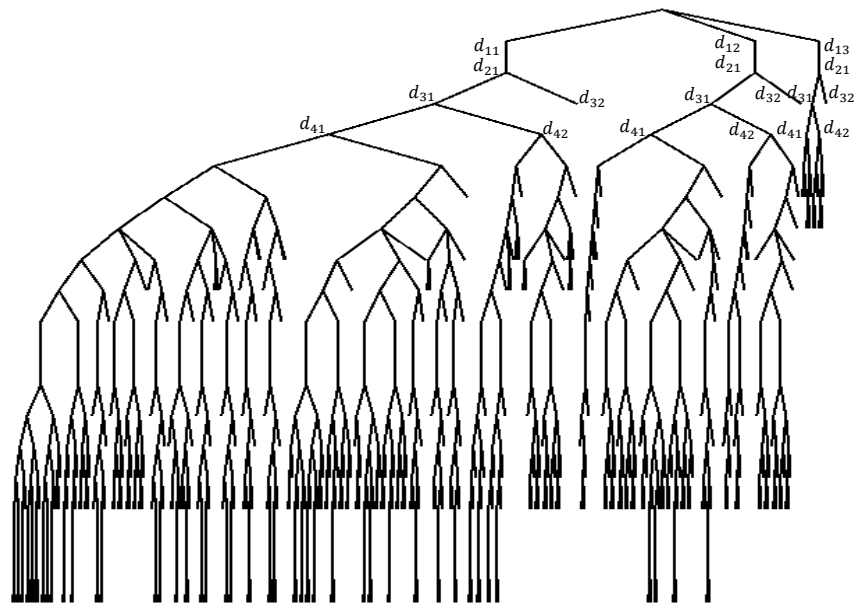


Рис. 27. Дерево метода ветвей и границ, полученное при построении множества стратегий S_3^*

Вернемся к описанию применения предлагаемого комплекса программ при стратегическом управлении КБ. Реализация TOWS-синтеза (Рис. 25 – Процедура 6) позволила определить 23 стратегических действия. Фрагмент матрицы TOWS-синтеза, в клетках которой указаны действия, определенные на основании комбинирования элементов матрицы SWOT-анализа, представлен в табл. 6.

Таблица 6

Фрагмент матрицы TOWS-синтеза конструкторского бюро

| | |
|--|---|
| <p>Силы (S) – Возможности (O) S1+O2+(T1). Подготовить рекламные материалы и провести лекции с целью повышения информированности студентов и сотрудников МАИ о компании; ...</p> | <p>Силы (S) – Угрозы (T) S2+T2+(W1). Найти покупателей, заинтересованных в приобретении неиспользуемых активов; ...</p> |
| <p>Слабости (W) – Возможности (O) W1+O1. Провести пусконаладочные мероприятия, восстановив часть законсервированных производственных мощностей; ...</p> | <p>Слабости (W) – Угрозы (T) W2+T3+(S3). Провести ABC-XYZ анализ продукции, а также анализ конкурентов с целью оптимизации портфеля продуктов и услуг; ...</p> |

Для осуществления стратегических действий были выделены ресурсы трех типов и определены их доступные объемы (Рис. 25 – Процедура 8, Табл. 7).

Таблица 7

Доступные объемы ресурсов

| Финансы (млн. руб.) | Труд управленцев (чел.-час.×100) | Труд рядовых сотрудников (чел.-час.×100) |
|------------------------|-------------------------------------|---|
| 45 | 116 | 81 |

Для каждого стратегического действия была сформулирована промежуточная цель (Рис. 25 – Процедура 9), таким образом, в общей сложности определено 26 целей (см. показатели эффективности, служащие для измерения целей, в Приложении Б). Основные и промежуточные цели были связаны причинно-следственными связями (Рис. 25 – Процедура 11), в результате чего получена карта стратегии, представленная на рис. 28.

Далее на основании относительной разницы между желаемыми и действительными значениями КПЭ были определены весовые коэффициенты основных целей (Рис. 25 – Процедура 10; Табл. 8).

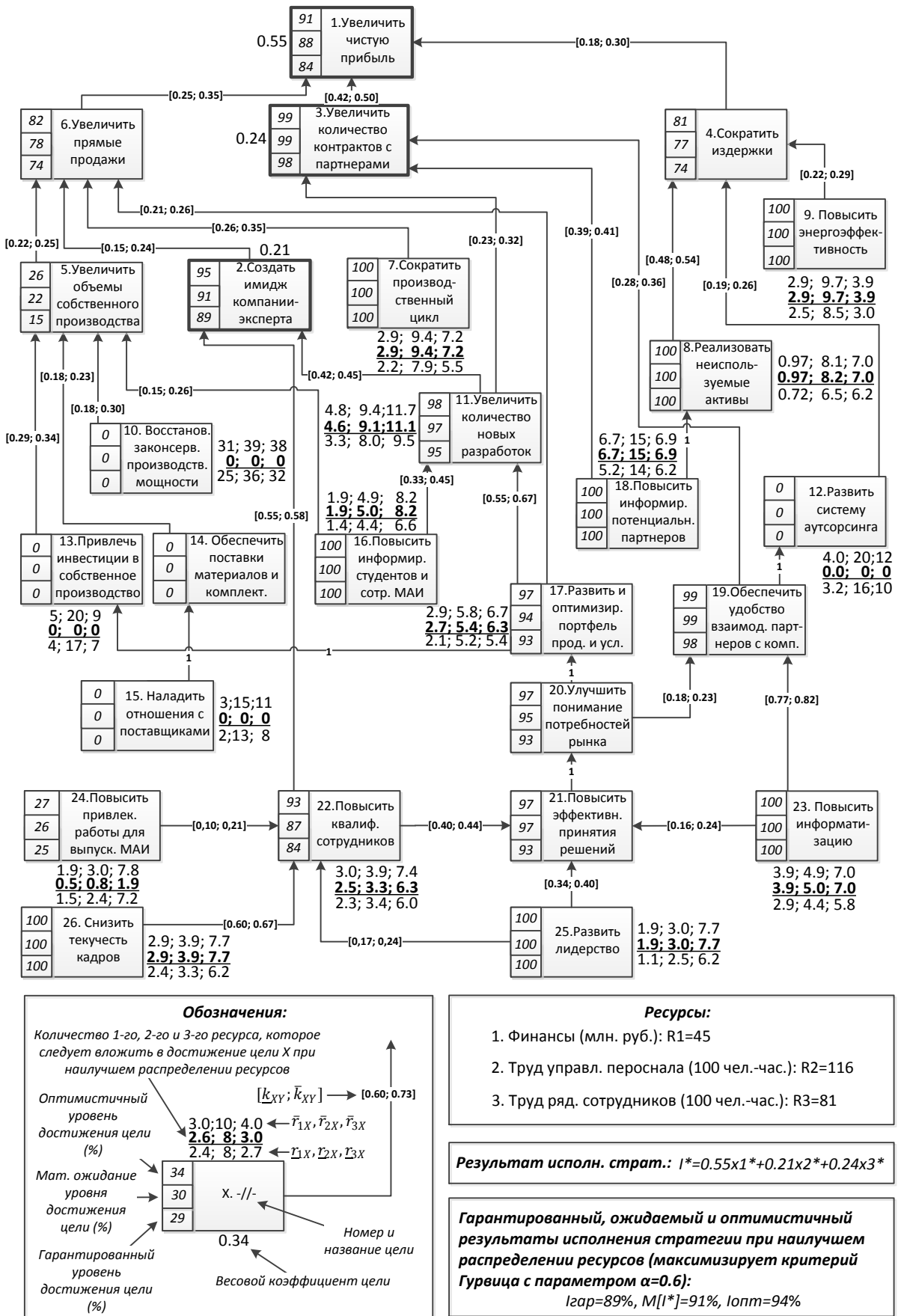


Рис. 28. Карта стратегии конструкторского бюро с наилучшим распределением ресурсов и прогнозами уровней достижения целей

Таблица 8

Весовые коэффициенты основных целей

| ОЦ1 | ОЦ2 | ОЦ3 |
|------|------|------|
| 0.55 | 0.21 | 0.24 |

Параметры модели стратегии развития были оценены пятью экспертами (Рис. 25 – Процедура 12). Коэффициенты компетентности экспертов представлены в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициенты компетентности экспертов

| 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.34 | 0.20 | 0.20 | 0.13 | 0.13 |

Трехточечные оценки затрат представлены в табл. 10.

Таблица 10

Оценки затрат ресурсов на реализацию стратегических действий

| Ресурс | Цель | (Минимальное, наиболее вероятное, максимальное) значение затрат | | | | |
|--------|-----------------|---|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 1 | 7 | (2.5; 2.6; 3.0) | (2.0; 2.5; 2.7) | (2.0; 2.5; 3.0) | (2.3; 2.4; 2.8) | (2.3; 2.6; 2.8) |
| | 8 | (0.7; 0.9; 1.0) | (0.8; 0.9; 1.0) | (0.7; 0.8; 0.9) | (0.8; 0.9; 1.0) | (0.6; 0.8; 0.9) |
| | 9 | (2.4; 2.7; 2.9) | (2.5; 2.8; 3.0) | (2.5; 2.7; 2.8) | (2.6; 2.8; 3.0) | (2.5; 2.8; 2.9) |
| | 10 | (25; 30; 35) | (25; 28; 30) | (25; 26; 28) | (28; 29; 31) | (20; 25; 30) |
| | 11 | (3.0; 4.0; 5.0) | (3.5; 4.0; 4.5) | (3.0; 4.2; 4.8) | (3.5; 4.1; 4.5) | (4.0; 4.3; 4.8) |
| | 12 | (2.7; 3.5; 4.0) | (3.3; 3.5; 3.8) | (3.5; 3.9; 4.0) | (3.5; 3.7; 4.0) | (3.4; 3.5; 4.0) |
| | 13 | (4.4; 4.7; 4.9) | (4.0; 4.5; 5.0) | (4.5; 4.9; 5.0) | (4.3; 4.6; 4.8) | (4.5; 4.7; 4.9) |
| | 15 | (2.0; 2.5; 3.0) | (2.3; 2.5; 2.8) | (2.4; 2.6; 2.7) | (2.3; 2.4; 2.6) | (2.1; 2.4; 2.6) |
| | 16 | (1.5; 1.6; 2.0) | (1.3; 1.5; 1.8) | (1.4; 1.5; 1.8) | (1.3; 1.5; 2.0) | (1.2; 1.6; 1.8) |
| | 17 | (2.0; 2.4; 2.8) | (2.2; 2.5; 3.0) | (2.1; 2.5; 3.0) | (2.4; 2.5; 2.6) | (2.0; 2.6; 3.0) |
| | 18 | (5.0; 6.0; 7.0) | (5.5; 5.8; 6.3) | (5.5; 6.0; 7.0) | (5.0; 5.7; 6.3) | (5.3; 6.3; 6.5) |
| | 22 | (2.0; 2.3; 3.0) | (2.4; 2.7; 3.0) | (2.5; 2.8; 2.9) | (2.7; 2.8; 3.0) | (2.5; 2.6; 3.0) |
| | 23 | (2.7; 3.3; 4.0) | (3.0; 3.6; 3.8) | (3.1; 3.8; 4.0) | (2.9; 3.5; 3.7) | (2.8; 3.5; 4.0) |
| | 24 | (1.5; 1.6; 1.7) | (1.4; 1.6; 1.8) | (1.4; 1.5; 2.0) | (1.6; 1.9; 2.0) | (1.5; 1.7; 2.0) |
| | 25 | (1.0; 1.4; 2.0) | (1.3; 1.5; 1.7) | (1.0; 1.5; 1.7) | (1.0; 1.5; 2.0) | (1.4; 1.6; 1.9) |
| | 26 | (2.4; 2.5; 3.0) | (2.2; 2.4; 2.7) | (2.5; 2.6; 2.7) | (2.4; 2.6; 3.0) | (2.3; 2.4; 2.8) |
| 2 | 7 | (8.0; 9.0; 9.5) | (7.6; 8.7; 9.1) | (8.2; 8.7; 9.3) | (8.2; 9.0; 10) | (7.0; 8.5; 8.9) |
| | 8 | (6.0; 7.0; 7.7) | (7.0; 7.5; 8.1) | (6.3; 7.3; 8.0) | (6.4; 6.8; 7.2) | (7.7; 7.9; 10) |
| | 9 | (8.7; 9.3; 10) | (8.3; 9.0; 9.7) | (8.8; 9.5; 9.8) | (8.0; 8.6; 9.1) | (8.3; 9.0; 9.6) |
| | 10 | (37; 38; 39) | (38; 39; 40) | (34; 36; 37) | (35; 36; 38) | (36; 38; 39) |
| | 11 | (8.3; 9.0; 9.6) | (9.0; 9.5; 10) | (7.0; 8.5; 9.2) | (7.5; 8.5; 9.1) | (7.7; 8.4; 8.9) |
| | 12 | (16; 17; 20) | (16; 18; 20) | (17; 18; 19) | (16; 17; 20) | (16; 17; 19) |
| | 13 | (17; 18; 20) | (17; 18; 19) | (17; 18; 20) | (17; 18; 19) | (17; 19; 20) |
| | 15 | (13; 14; 15) | (13.5; 14; 14.5) | (13; 13.5; 15) | (14; 14.5; 15) | (14; 14.5; 15) |
| | 16 | (4.5; 4.8; 5.0) | (4.5; 4.6; 4.8) | (4.2; 4.6; 5.0) | (4.3; 4.7; 4.9) | (4.5; 4.8; 5.0) |
| | 17 | (5.3; 5.5; 5.6) | (5.0; 5.3; 5.5) | (5.3; 5.6; 6.0) | (5.5; 5.8; 6.0) | (5.0; 5.5; 6.0) |
| | 18 | (13.5; 14; 15) | (14; 14.5; 15) | (13; 14; 15) | (14; 14.5; 15) | (13.7; 14; 14.5) |
| 22 | (3.2; 3.7; 3.9) | (3.5; 3.8; 4.0) | (3.4; 3.8; 3.9) | (3.5; 3.7; 4.0) | (3.3; 3.5; 3.7) | |
| 23 | (4.3; 4.6; 5.0) | (4.5; 4.6; 4.7) | (4.4; 4.5; 5.0) | (4.3; 4.6; 4.8) | (4.4; 4.6; 5.0) | |

Продолжение таблицы 10

| Ресурс | Цель | (Минимальное, наиболее вероятное, максимальное) значение затрат | | | | |
|--------|-----------------|---|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 2 | 24 | (2.3; 2.4; 3.0) | (2.5; 2.7; 2.9) | (2.3; 2.7; 3.0) | (2.5; 2.8; 3.0) | (2.3; 2.8; 3.0) |
| | 25 | (2.5; 2.7; 2.9) | (2.5; 2.7; 3.0) | (2.5; 2.8; 3.0) | (2.3; 2.4; 3.0) | (2.7; 2.8; 2.9) |
| | 26 | (3.2; 3.5; 4.0) | (3.4; 3.6; 4.0) | (3.5; 3.6; 3.7) | (3.5; 3.9; 4.0) | (3.2; 3.6; 3.9) |
| 3 | 7 | (5.5; 6.0; 8.0) | (6.0; 6.5; 7.0) | (5.0; 6.0; 6.5) | (5.0; 6.0; 7.0) | (6.0; 6.2; 6.5) |
| | 8 | (6.0; 6.5; 7.0) | (6.5; 6.7; 7.0) | (6.0; 6.6; 6.9) | (6.2; 6.7; 6.8) | (6.5; 6.7; 7.0) |
| | 9 | (2.7; 3.5; 4.0) | (3.0; 3.4; 3.9) | (3.1; 3.4; 4.0) | (3.4; 3.5; 3.6) | (3.0; 3.4; 4.0) |
| | 10 | (35; 37; 40) | (30; 35; 40) | (31; 33; 35) | (30; 33; 36) | (32; 33; 35) |
| | 11 | (9; 11; 12) | (9; 9.5; 11) | (10; 11; 12) | (11; 11.5; 12) | (9; 10.5; 11) |
| | 12 | (10; 11; 12) | (11; 11.5; 12) | (10; 10.5; 11) | (10; 10.5; 11.5) | (10; 11; 12) |
| | 13 | (7.0; 7.5; 8.0) | (7.0; 8.0; 8.5) | (7.5; 8.0; 9.0) | (7.0; 8.0; 9.0) | (8.0; 8.5; 9.0) |
| | 15 | (8.0; 10; 11) | (8.0; 8.5; 10) | (9.0; 10; 11) | (10; 10.5; 11) | (8.0; 9.5; 10) |
| | 16 | (6.0; 7.0; 7.7) | (6.4; 6.8; 7.2) | (7.7; 7.9; 10) | (7.0; 7.5; 8.1) | (6.3; 7.3; 8.0) |
| | 17 | (5.0; 6.0; 6.5) | (5.0; 6.0; 7.0) | (6.0; 6.2; 6.5) | (6.0; 6.5; 7.0) | (5.5; 6.0; 7.0) |
| | 18 | (6.1; 6.5; 7.0) | (6.3; 6.8; 6.9) | (6.5; 6.7; 6.8) | (6.1; 6.6; 6.9) | (6.0; 6.8; 7.0) |
| | 22 | (6.3; 7.0; 7.6) | (7.0; 7.5; 8.0) | (5.0; 6.5; 7.2) | (5.5; 6.5; 7.1) | (5.7; 6.4; 6.9) |
| | 23 | (6.0; 6.5; 7.0) | (5.5; 6.0; 7.0) | (5.5; 6.0; 7.0) | (6.0; 6.5; 7.0) | (6.3; 6.6; 6.9) |
| | 24 | (7.3; 7.5; 7.6) | (7.0; 7.3; 7.5) | (7.3; 7.6; 8.0) | (7.5; 7.8; 8.0) | (7.0; 7.5; 8.0) |
| 25 | (6.0; 7.0; 8.0) | (6.5; 6.8; 7.3) | (6.5; 7.0; 8.0) | (6.0; 6.7; 7.3) | (6.3; 7.3; 7.5) | |
| 26 | (6.0; 6.5; 7.0) | (6.0; 7.0; 7.5) | (6.5; 7.0; 8.0) | (6.0; 7.0; 8.0) | (7.0; 7.5; 8.0) | |

Интервальные оценки коэффициентов причинно-следственных связей, полученные и использованием ИАНР, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Оценки коэффициентов причинно-следственных связей

| Родительская цель | Подчиненная цель | Интервальная оценка коэффициента причинно-следственной связи | | | | |
|-------------------|------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 1 | 3 | [0.36; 0.51] | [0.54; 0.54] | [0.36; 0.51] | [0.51; 0.51] | [0.36; 0.36] |
| | 4 | [0.18; 0.32] | [0.12; 0.26] | [0.18; 0.32] | [0.18; 0.25] | [0.28; 0.32] |
| | 6 | [0.25; 0.36] | [0.20; 0.34] | [0.25; 0.36] | [0.25; 0.31] | [0.32; 0.36] |
| 2 | 11 | [0.38; 0.44] | [0.44; 0.44] | [0.50; 0.50] | [0.38; 0.50] | [0.38; 0.38] |
| | 22 | [0.56; 0.62] | [0.56; 0.56] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.62] | [0.62; 0.62] |
| 3 | 11 | [0.18; 0.30] | [0.33; 0.33] | [0.22; 0.33] | [0.22; 0.33] | [0.22; 0.33] |
| | 18 | [0.38; 0.43] | [0.33; 0.33] | [0.42; 0.43] | [0.42; 0.42] | [0.42; 0.42] |
| | 19 | [0.27; 0.38] | [0.33; 0.33] | [0.26; 0.38] | [0.26; 0.36] | [0.26; 0.36] |
| 4 | 8 | [0.54; 0.54] | [0.54; 0.55] | [0.35; 0.55] | [0.35; 0.48] | [0.54; 0.54] |
| | 9 | [0.23; 0.26] | [0.20; 0.26] | [0.20; 0.35] | [0.23; 0.35] | [0.23; 0.26] |
| | 12 | [0.19; 0.23] | [0.20; 0.26] | [0.17; 0.29] | [0.17; 0.29] | [0.19; 0.23] |
| 5 | 10 | [0.16; 0.33] | [0.25; 0.25] | [0.17; 0.31] | [0.16; 0.33] | [0.17; 0.29] |
| | 13 | [0.33; 0.33] | [0.25; 0.25] | [0.24; 0.38] | [0.30; 0.38] | [0.30; 0.38] |
| | 14 | [0.20; 0.26] | [0.25; 0.25] | [0.10; 0.17] | [0.18; 0.26] | [0.18; 0.18] |
| | 16 | [0.12; 0.26] | [0.25; 0.25] | [0.14; 0.28] | [0.12; 0.27] | [0.14; 0.27] |
| 6 | 2 | [0.10; 0.22] | [0.25; 0.25] | [0.18; 0.23] | [0.10; 0.26] | [0.16; 0.26] |
| | 5 | [0.22; 0.22] | [0.25; 0.25] | [0.18; 0.30] | [0.22; 0.26] | [0.26; 0.26] |
| | 7 | [0.28; 0.40] | [0.25; 0.25] | [0.23; 0.38] | [0.25; 0.40] | [0.26; 0.26] |
| | 17 | [0.19; 0.28] | [0.25; 0.25] | [0.23; 0.23] | [0.19; 0.28] | [0.20; 0.26] |
| 11 | 16 | [0.21; 0.38] | [0.32; 0.44] | [0.50; 0.50] | [0.38; 0.50] | [0.38; 0.50] |

| Родительская цель | Подчиненная цель | Интервальная оценка коэффициента причинно-следственной связи | | | | |
|-------------------|------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 11 | 17 | [0.62; 0.79] | [0.56; 0.68] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.62] | [0.50; 0.62] |
| 19 | 20 | [0.21; 0.21] | [0.15; 0.21] | [0.21; 0.26] | [0.15; 0.21] | [0.15; 0.26] |
| | 23 | [0.79; 0.79] | [0.79; 0.85] | [0.74; 0.79] | [0.79; 0.85] | [0.74; 0.85] |
| 21 | 22 | [0.42; 0.42] | [0.40; 0.44] | [0.38; 0.47] | [0.39; 0.43] | [0.40; 0.43] |
| | 23 | [0.15; 0.25] | [0.16; 0.21] | [0.17; 0.24] | [0.19; 0.24] | [0.16; 0.24] |
| | 25 | [0.32; 0.42] | [0.35; 0.40] | [0.37; 0.38] | [0.33; 0.39] | [0.33; 0.40] |
| 22 | 24 | [0.11; 0.22] | [0.07; 0.21] | [0.10; 0.22] | [0.07; 0.21] | [0.17; 0.20] |
| | 25 | [0.17; 0.24] | [0.19; 0.20] | [0.16; 0.29] | [0.19; 0.20] | [0.16; 0.27] |
| | 26 | [0.61; 0.65] | [0.60; 0.73] | [0.61; 0.62] | [0.60; 0.73] | [0.56; 0.63] |

В процессе реализации процедуры №13 (см. схему алгоритма использования комплекса программ на рис. 25) было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии развития. Напомним, что результат исполнения стратегии представляет собой взвешенную совокупность уровней достижения целей «Увеличить чистую прибыль» (вес 0.55), «Создать имидж компании-эксперта» (вес 0.21) и «Увеличить количество контрактов с партнерами» (вес 0.24).

Параметры метода Монте-Карло были взяты следующими: допустимое отклонение математического ожидания от истинного – 0.01, уровень доверия – 0.95¹⁹. Распределение ресурсов U^* было найдено за 110 секунд.

При распределении ресурсов U^* математическое ожидание результата исполнения стратегии равно 92% (среднеквадратическое отклонение – 1.1%). Эмпирическая функция распределения результата исполнения стратегии и гистограмма частот представлены на рис. 29.

¹⁹ Для генерации реализаций коэффициентов причинно-следственных связей использовалась C#-процедура, доступная по адресу <http://goo.gl/zTgM9h> (15.09.2013). Усовершенствованный вариант данной процедуры для MATLAB доступен по адресу <http://goo.gl/Kp5P0R> (15.09.2013). Генерация реализаций затрат осуществлялась с применением C#-библиотеки, доступной по адресу <http://goo.gl/OsxlUB> (15.09.2013).

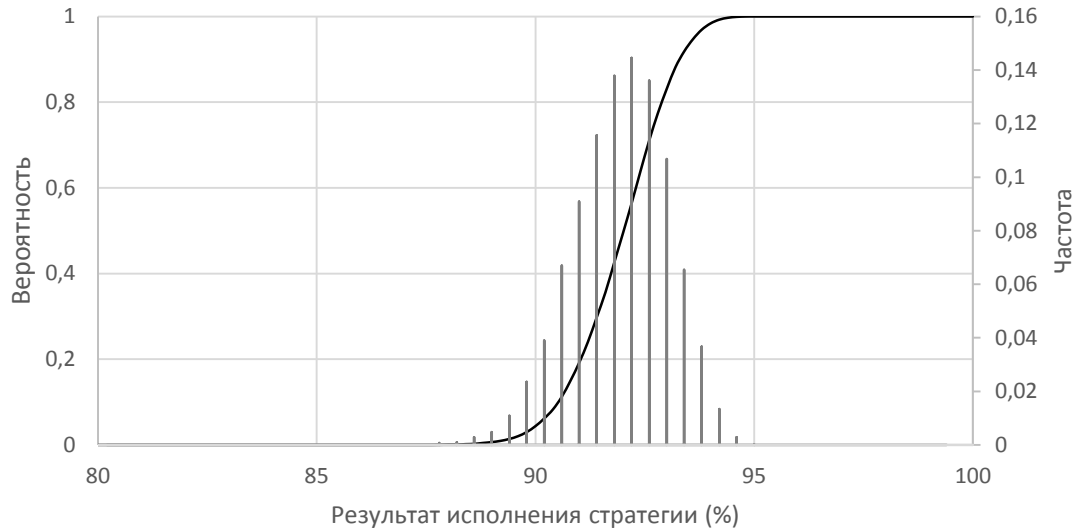


Рис. 29. Эмпирическая функция распределения и гистограмма частот для результата исполнения стратегии при распределении ресурсов U^*

Ящичковая диаграмма, на которой показаны интервалы варьирования, медианы, первый и третий квартили уровней достижения целей компании при распределении ресурсов U^* , представлена на рис. 30.

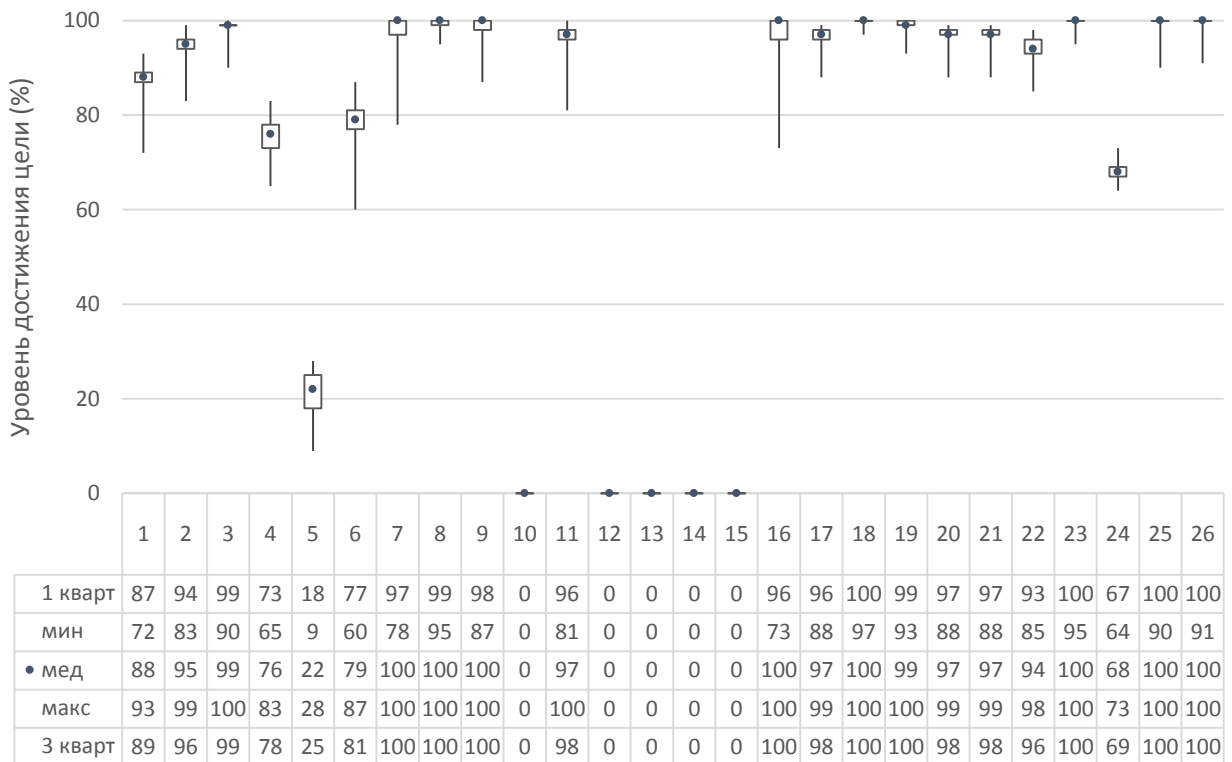


Рис. 30. Ящичковая диаграмма для уровней достижения целей при распределении ресурсов U^*

Далее было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее критерий Гурвица $I^\alpha(U) \triangleq \alpha I^G(U) + (1 - \alpha)I^O(U)$ при значениях параметра $\alpha \in \{0.1i \mid i = \overline{0,10}\}$ (напомним, что $I^G(U)$ – гарантированный результат исполнения стратегии, $I^O(U)$ – оптимистичный результат исполнения стратегии). Параметры метода частиц в стае были взяты следующими: количество частиц – 100, количество итераций – 1200, «когнитивный» параметр – 0.9, «социальный» параметр – 0.7, начальное значение параметра инерции – 1, конечное значение параметра инерции – 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 ресурсов. В каждой серии запусков из 20 полученных результатов не более четырех отклонились от наилучшего более чем на 0.01, что говорит о стабильности предложенного алгоритма оптимизации. На рис. 31 представлена зависимость максимального найденного значения целевой функции от номера итерации для наиболее удачного из 20 запусков алгоритма оптимизации.

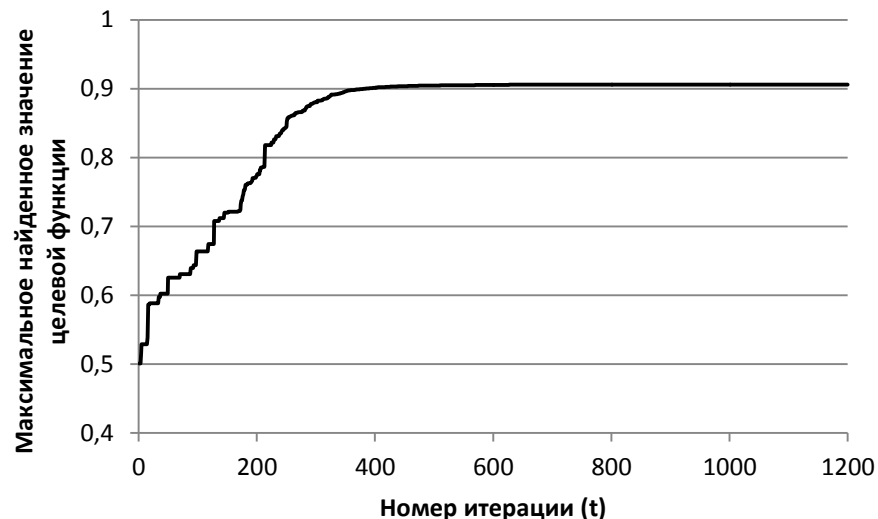


Рис. 31. Зависимость максимального найденного значения целевой функции от номера итерации для наиболее удачного запуска алгоритма

Также были предприняты попытки оптимизации распределения ресурсов методом α PSO [134], приспособленным для решения задач условной оптимизации (в качестве частиц выступали матрицы распределения ресурсов, а удовле-

творение ограничений $\sum_{j=1}^{n+1} u_{ij} = 1$, обеспечивалось средствами данного метода) и Binary PSO [135] в комбинации с методом *alpha*-ограничений (при этом напрямую решалась смешанная задача линейного программирования $\alpha \sum_{j=1}^m w_j x_j^G + (1 - \alpha) \sum_{j=1}^m w_j x_j^O \rightarrow \max_{\bar{x}^G, \bar{x}^O, U}$ при ограничениях (8), (10)). Значения параметра α в методах α PSO и Binary α PSO принято равным 1. Сравнение эффективности метода оптимизации, предложенного в разделе 2.4, с методами α PSO и Binary α PSO представлено в табл. 12. Значения представленных показателей подсчитаны после 20 запусков каждого метода.

Таблица 12.

Сравнение эффективности предложенного метода оптимизации с α PSO и Binary α PSO

| | Предложенный метод (на базе классического PSO) | α PSO | Binary α PSO |
|---|---|--------------|---------------------|
| Максимальное значение критерия $I^{0.5}(U)$ | 0.9134 | 0.8504 | 0.6465 |
| Среднее значение критерия $I^{0.5}(U)$ | 0.9028 | 0.7674 | 0.4741 |
| Минимальное значение критерия $I^{0.5}(U)$ | 0.8456 | 0.6507 | 0.2104 |
| Среднеквадратическое отклонение | 0.0507 | 0.2164 | 0.3177 |

Таким образом, можно заключить, что предложенный метод оптимизации, основанный на классическом PSO, значительно эффективнее, чем методы α PSO и Binary α PSO. Результаты исполнения стратегии для полученных с применением предложенного метода оптимальных распределений ресурсов U_α^* представлены в табл. 13.

Таблица 13

Результаты исполнения стратегии для распределений ресурсов U_α^* , максимизирующих критерий Гурвица при различных значениях параметра α

| α | $I^G(U_\alpha^*), \%$ | $I^M(U_\alpha^*), \%$ | $I^O(U_\alpha^*), \%$ |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.0 | 77 | 85 | 97 |
| 0.1 | 81 | 87 | 97 |
| 0.2 | 83 | 88 | 96 |
| 0.3 | 86 | 91 | 95 |

| α | $I^G(U_\alpha^*), \%$ | $I^M(U_\alpha^*), \%$ | $I^O(U_\alpha^*), \%$ |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.4 | 88 | 91 | 94 |
| 0.5 | 88 | 91 | 94 |
| 0.6 | 89 | 91 | 94 |
| 0.7 | 89 | 91 | 94 |
| 0.8 | 89 | 91 | 94 |
| 0.9 | 89 | 91 | 94 |
| 1.0 | 89 | 91 | 94 |

Третий столбец в табл. 13 ($I^M(U_\alpha^*)$) представляет собой математическое ожидание результата исполнения стратегии. Также были вычислены гарантированный и оптимистичный результаты при распределении ресурсов U^* (Табл. 14).

Таблица 14

Результаты исполнения стратегии для распределения ресурсов U^* , максимизирующего критерий $I^M(U)$

| $I^G(U^*), \%$ | $I^M(U^*), \%$ | $I^O(U^*), \%$ |
|----------------|----------------|----------------|
| 85 | 92 | 95 |

Распределения ресурсов U_α^* , полученные при $\alpha \in \{0.6 + 0.1i \mid i = \overline{0,4}\}$, «проиграли» всего 1% по критериям $I^M(U)$ и $I^O(U)$ в сравнении с распределением ресурсов U^* , зато «выиграли» 4% по критерию $I^G(U)$. Поэтому после анализа результатов (Рис. 25 – Процедура 14) в качестве наилучшего распределения ресурсов было выбрано распределение $U_{0.6}^*$ (Рис. 25 – Процедура 15). Для него с использованием алгоритма 7 (см. раздел 2.4) были вычислены остатки ресурсов. Полученное в результате наилучшее распределение ресурсов, а также прогнозируемые уровни достижения целей при данном распределении представлены на рис. 28. Они могут использоваться как часть системы мотивации. Если по прошествии двух лет уровень достижения некоторой цели будет меньше гарантированного значения, то лицо, ответственное за достижение этой цели, штрафуются (например, лишается части премии). С другой стороны, если

уровень достижения цели больше, чем медиана, то ответственное лицо дополнительно премируется.

Помимо исполнения процедур, описанных в разделе 3.2, было проведено дополнительное исследование сформированной стратегии развития.

1. Определено, насколько оценивание различных групп параметров интервальной модели снижает неопределенность результата исполнения стратегии (Табл. 15).

Таблица 15

Снижение неопределенности после оценивания различных групп параметров интервальной МСР

| Группа параметров (g) | Снижение неопределенности после оценивания группы g ($\Delta I(g)$, %) при распределении ресурсов $U_{0.6}^*$ |
|---|---|
| Затраты (r) | 85 |
| Карта стратегии (G) | 36 |
| Коэффициенты причинно-следственных связей (k) | 36 |

Оказалось, что сама по себе структуризация карты стратегии не снижает неопределенность результата исполнения стратегии.

2. При генерации значений затрат были использованы следующие альтернативные законы распределения вероятностей (напомним, что при вычислении распределения ресурсов U^* использовалось PERT-бета распределение с параметрами α и β подобранными так, чтобы мода распределения равнялась заданному числу): PERT-бета с параметрами $\alpha = 2, \beta = 3$ (такие параметры иногда используются для описания поведения случайной величины, характеризуемой интервальной оценкой; они соответствуют распределению, мода которого немного смещена в сторону нижней границы интервала [136]); равномерное распределение; треугольное распределение. Результаты, полученные при вычисленных оптимальных распределениях ресурсов U_{β}^* , U_R^* и U_{Δ}^* , соответственно, представлены в табл. 16. Интересно отметить, что для всех трех альтернативных законов распределения вероятностей при распределении ресурсов U^* будут получены математические ожидания, совпадающие (с точностью до 0.5%) с математическими ожиданиями, представленными в таблице 16.

Таблица 16

Результаты исполнения стратегии, полученные при различных законах распределения затрат (для каждого закона взято распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии)

| | При законе PERT-бета для интервальных оценок и U_{β}^* | При равномерном законе и U_R^* | При треугольном законе и U_{Δ}^* |
|--------------|--|-------------------------------------|--|
| $I^G(U), \%$ | 84 | 85 | 85 |
| $I^M(U), \%$ | 92 | 91 | 92 |
| $I^O(U), \%$ | 95 | 95 | 95 |

Индексы расстояния, показывающие степени различия между найденными оптимальными распределениями ресурсов и распределением U^* представлены в табл. 17 (перед вычислением индексов для каждого распределения ресурсов с использованием алгоритма 7 были вычислены остатки ресурсов).

Таблица 17

Индексы расстояния, показывающие степени различия между найденными оптимальными распределениями ресурсов и распределением U^*

| | $D_{U^*}^E(U)$ – индекс, построенный на основе евклидовой метрики | $D_{U^*}^C(U)$ – индекс, построенный на основе метрики Чебышёва |
|----------------|--|--|
| U_{β}^* | 0.01 | 0.01 |
| U_R^* | 0.02 | 0.02 |
| U_{Δ}^* | 0.03 | 0.02 |

Столь малые отличия говорят об устойчивости распределения ресурсов U^* при изменении закона распределения вероятностей, характеризующего поведение затрат. Графики эмпирических функций распределения результата исполнения стратегии для четырех законов распределения затрат представлены на рис. 32. Функции, построенные для законов PERT-бета и треугольного закона практически совпадают, в то время как функция, построенная для равномерного закона, более «пессимистична».

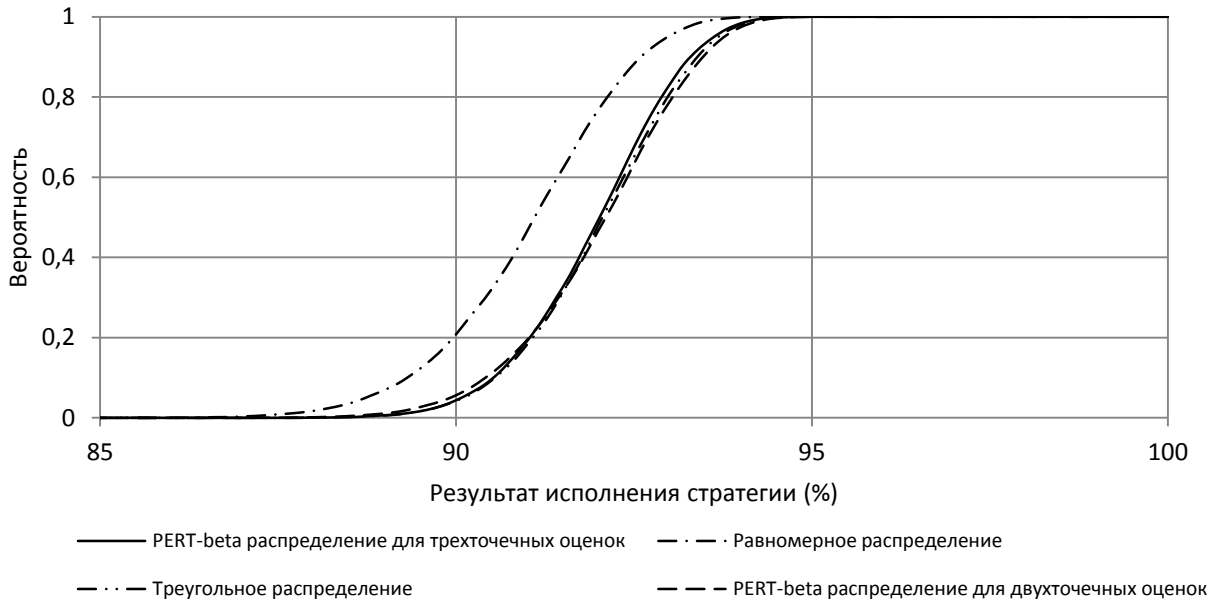


Рис. 32. Эмпирические функции распределения результата исполнения стратегии при различных законах распределения затрат (для каждого закона взято распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии)

3. Оптимальное распределение ресурсов U_0^* было вычислено при следующих допущениях: 1) все параметры модели заданы точно, 2) весовые коэффициенты основных целей равны друг другу, 3) коэффициенты причинно-следственных связей с одинаковым вторым индексом равны друг другу, 4) каждая оценка затрат равна среднему взвешенному соответствующих наиболее ожидаемых значений, полученных от экспертов (в качестве весовых коэффициентов выступают коэффициенты компетентности экспертов), 5) максимизируется результат исполнения стратегии. Эти допущения (за исключением допущения №4) были приняты в рамках исходной модели стратегии развития, предложенной в работе [56]. При распределениях ресурсов U_0^* и $U_{0.6}^*$ (напомним, что распределение $U_{0.6}^*$ выбрано менеджментом как наилучшее) были вычислены:

1) математическое ожидание результата исполнения стратегии в условиях стохастической МСР: $I^M(U_{0.6}^*) = 91\%$; $I^M(U_0^*) = 89\%$;

2) гарантированный и оптимистичный результаты в условиях интервальной МСР: $I^G(U_{0.6}^*) = 89\%$, $I^O(U_{0.6}^*) = 94\%$; $I^G(U_0^*) = 77\%$, $I^O(U_0^*) = 95\%$.

Как видно, распределение ресурсов $U_{0.6}^*$ «выигрывает» 2% по критерию

$I^M(\cdot)$ и 12% по критерию $I^G(\cdot)$, «проигрывая» всего 1% по критерию $I^O(\cdot)$ у распределения, полученного при допущениях, сделанных в работе [51]. Указанные «выигрыши» позволяют считать стохастическую и интервальную МСР более эффективными инструментами оптимизации распределения ресурсов в сравнении с исходной моделью.

Итак, в данном разделе было продемонстрировано применение предложенного комплекса программ на примере компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику. В следующих разделах будет показано применение отдельных подсистем предлагаемого комплекса для решения задач стратегического управления в различных организациях.

3.4. Применение подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии для выбора стратегии телекоммуникационной компании.

Подсистема СППР, служащая для выбора оптимальной комплексной стратегии, была применена для выбора стратегии межрегионального телекоммуникационного оператора. Вначале было определено и кратко сформулировано желаемое состояние компании (период планирования – три года).

Компания будет предлагать своим абонентам современные услуги третьего и четвертого поколений с возможностью перехода на новое – пятое – поколение связи, не утратив позиций межрегионального телекоммуникационного оператора; вместе с тем компания осуществит выход в новые перспективные сектора отрасли связи.

На основе данного желаемого состояния было сформировано три основных цели: 1) переход на пятое поколение сотовой связи, 2) укрепление позиции межрегионального оператора, 3) увеличение количества охватываемых секторов рынка сотовой связи. Далее с применением АНР были вычислены приоритеты стратегических решений (см. Приложение В). При оценке решений использовался единственный критерий – «Соответствие особенностям и тенденциям рынка», соответствие же возможностям (потенциалу) организации учитывалось при оценивании сочетаемости решений.

При исполнении алгоритма 1 (всего исполнено шесть циклов оценивания

согласованности стратегий) ЛПР были выделены нежелательные сочетания решений, представленные в табл. 18.

Таблица 18

Нежелательные сочетания решений для телекоммуникационной компании

| № | Сочетание решений ^{a)} | | | | | Вошло в S_C^* |
|----|---------------------------------|------|------|-----|-----|-----------------|
| 1 | 1.1 | 3.1 | | | | Нет |
| 2 | 2.1 | 9.1 | 13.1 | | | Нет |
| 3 | 12.1 | 13.1 | | | | Нет |
| 4 | 2.1 | 3.1 | 6.1 | 7.1 | | Нет |
| 5 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | 6.1 | 7.1 | Нет |
| 6 | 2.1 | 9.1 | 14.1 | | | Нет |
| 7 | 6.1 | 13.1 | | | | Нет |
| 8 | 1.2 | 3.1 | | | | Нет |
| 9 | 5.1 | 6.1 | 7.2 | | | Да |
| 10 | 9.1 | 11.1 | 13.2 | | | Да |
| 11 | 2.1 | 13.2 | | | | Да |
| 12 | 1.3 | 9.1 | | | | Да |
| 13 | 1.3 | 3.1 | 7.1 | | | Нет |

^{a)} Номера решений соответствуют номерам в Приложении В.

На рис. 33 показаны Парето-эффективные векторные оценки стратегий, предъявленные эксперту перед тем, как была выбрана оптимальная стратегия. Точка $\vec{F}^6(S_C^*) \triangleq (|E_6 \cap 2^{S_C^*}|, \tilde{w}_{\max}(S_C^*)) = (4, 1.52)$, соответствующая оценке оптимальной стратегии, закрашена. Вошедшие в S_C^* решения выделены серым цветом в Приложении В.

При генерации множества стратегий 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, предложенный алгоритм обеспечил более чем 43-кратный выигрыш по вычислительным затратам, что подтверждает его высокую эффективность.

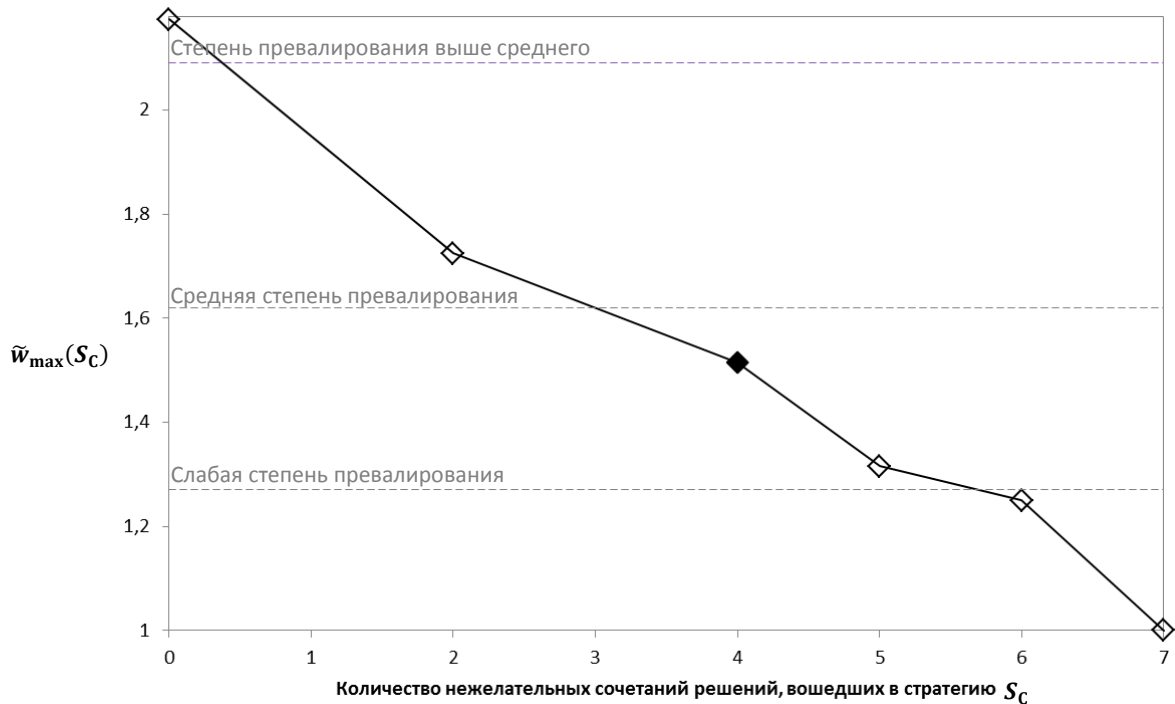


Рис. 33. Парето-эффективные оценки стратегий

3.5. Применение подсистемы оптимизации распределения ресурсов при планировании ИТ-стратегии факультета университета.

Подсистема оптимизации распределения ресурсов была использована при планировании ИТ-стратегии экономического факультета Университета г. Сплит (Хорватия)²⁰.

Базой для разработки стратегии послужило желаемое состояние, определяющее пять основных стратегических целей Университета.

Через два года Университет станет международно признанным образовательным и научно-исследовательским центром (ОЦ1), успех которого будет связан с научными разработками в области экономики, бизнеса и туризма (ОЦ2), их внедрением в практику планирования и управления (ОЦ3), а также использованием современных образовательных стандартов (ОЦ4) для выпуска востребованных специалистов (ОЦ5).

Карта стратегии представлена на рис. 34. Список целей с показателями эффективности приведен в Приложении Г. Величины доступных объемов ресурсов указаны в табл. 19.

²⁰ Работа проведена совместно с проф. экономического факультета Университета г. Сплит М. Хеллом (PhD).

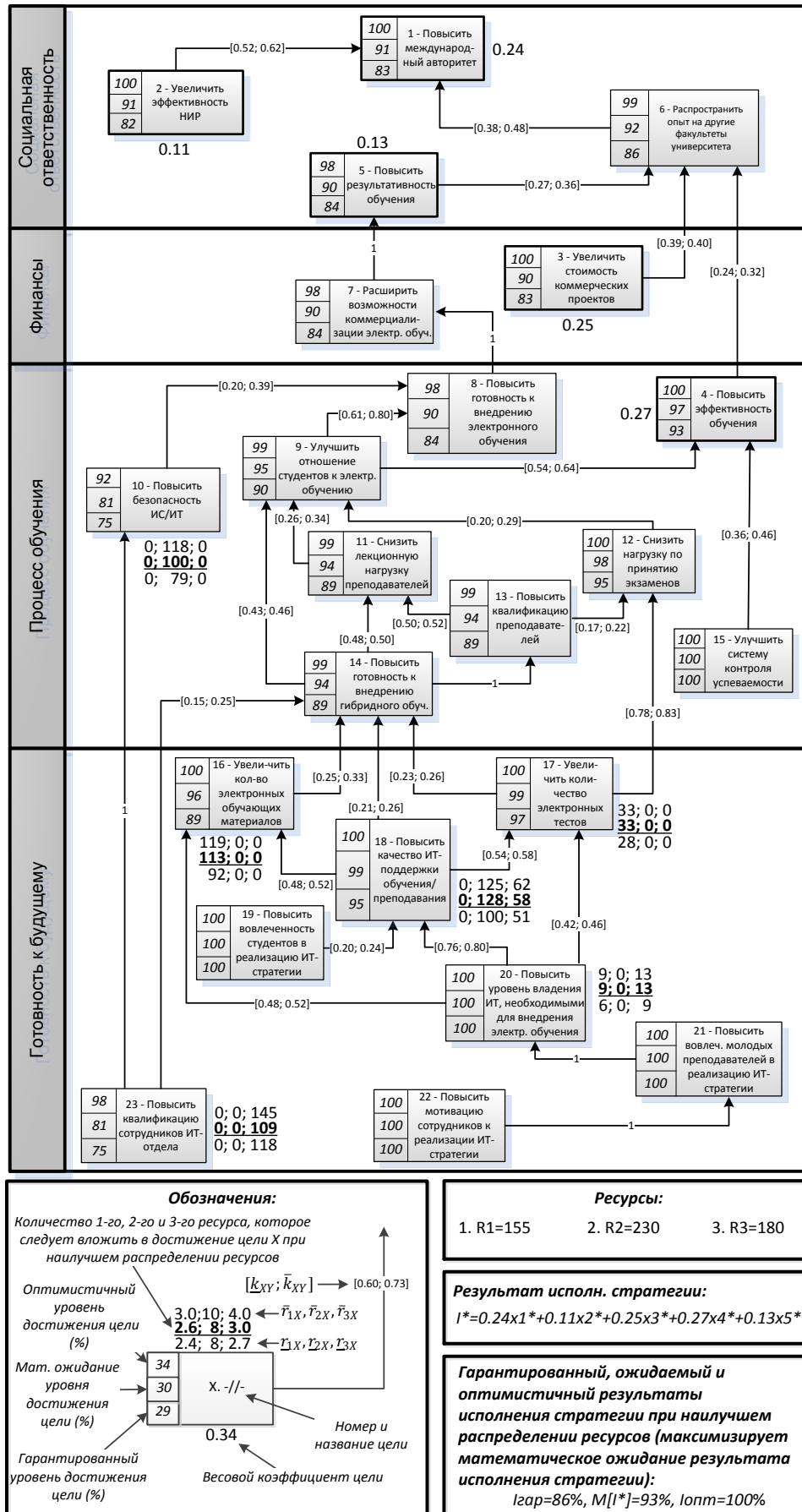


Рис. 34. Карта ИТ-стратегии экономического факультета Ун-та г. Сплит с наилучшим распределением ресурсов и прогнозами уровней достижения целей

Таблица 19

Доступные объемы ресурсов

| Труд преподавателей (чел.-час.×100) | Труд сотрудников ИТ-отдела (чел.-час.×10) | Финансы (тыс. кун) |
|--|--|-----------------------|
| 155 | 230 | 180 |

Основным целям были назначены следующие весовые коэффициенты (Табл. 20).

Таблица 20

Весовые коэффициенты основных целей

| ОЦ1 | ОЦ2 | ОЦ3 | ОЦ4 | ОЦ5 |
|------|------|------|------|------|
| 0.24 | 0.11 | 0.25 | 0.27 | 0.13 |

Параметры модели были оценены пятью экспертами, коэффициенты компетентности которых приведены в табл. 21.

Таблица 21

Коэффициенты компетентности экспертов

| 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.22 | 0.22 | 0.11 | 0.11 | 0.34 |

Оценки затрат представлены в табл. 22.

Таблица 22

Оценки затрат

| Ресурс | Цель | (Минимальное, наиболее вероятное, максимальное) значение затрат | | | | |
|--------|------|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 1 | 16 | (90; 110; 120) | (100;110;120) | (100;110;120) | (90; 110; 120) | (90; 110; 120) |
| | 17 | (30; 31; 34) | (28; 32; 35) | (25; 31; 33) | (30; 33; 34) | (28; 31; 33) |
| | 20 | (6; 8; 10) | (5; 8; 9) | (5; 6; 8) | (5; 9; 10) | (6; 7; 8) |
| 2 | 10 | (100; 110; 120) | (80; 100; 120) | (70; 100; 110) | (80; 110; 120) | (70; 110; 120) |
| | 18 | (100; 110; 130) | (90; 120;130) | (100;110;130) | (100; 120; 130) | (110; 115; 120) |
| 3 | 18 | (50; 55; 60) | (50; 55; 65) | (50; 52; 55) | (50; 55; 60) | (55; 60; 65) |
| | 20 | (9; 11; 13) | (9; 10; 11) | (10; 13; 14) | (11; 13; 14) | (9; 11; 13) |
| | 23 | (120; 140;150) | (120;130;140) | (100;130;140) | (130; 140; 150) | (120; 140; 150) |

Оценки уровней достижения внешних целей приведены в табл. 23.

Таблица 23

Оценки уровней достижения внешних целей

| Цель | (Минимальное, наиболее вероятное, максимальное) значение уровня достижения внешней цели | | | | |
|------|---|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 2 | (0.8; 0.9; 1) | (0.9; 0.95; 1) | (0.7; 0.8; 1) | (0.7; 0.90; 1) | (0.85; 0.95; 1) |
| 3 | (0.8; 0.9; 1) | (0.8; 0.85; 1) | (0.8; 0.9; 1) | (0.9; 0.95; 1) | (0.85; 0.90; 1) |

Интервальные оценки коэффициентов причинно-следственных связей представлены в табл. 24.

Таблица 24

Оценки коэффициентов причинно-следственных связей

| Родительская цель | Подчиненная цель | Интервальная оценка коэффициента причинно-следственной связи | | | | |
|-------------------|------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 эксперт | 2 эксперт | 3 эксперт | 4 эксперт | 5 эксперт |
| 1 | 2 | [0.50; 0.68] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.62] | [0.50; 0.68] | [0.56; 0.62] |
| | 6 | [0.32; 0.50] | [0.50; 0.50] | [0.38; 0.50] | [0.32; 0.50] | [0.38; 0.44] |
| 4 | 9 | [0.62; 0.79] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.62] | [0.56; 0.68] | [0.50; 0.62] |
| | 15 | [0.21; 0.38] | [0.50; 0.50] | [0.38; 0.50] | [0.32; 0.44] | [0.38; 0.50] |
| 6 | 3 | [0.42; 0.42] | [0.33; 0.33] | [0.38; 0.43] | [0.42; 0.42] | [0.42; 0.43] |
| | 4 | [0.22; 0.33] | [0.33; 0.33] | [0.18; 0.30] | [0.22; 0.33] | [0.22; 0.33] |
| | 5 | [0.26; 0.36] | [0.33; 0.33] | [0.27; 0.38] | [0.26; 0.36] | [0.26; 0.38] |
| 8 | 9 | [0.68; 0.85] | [0.56; 0.79] | [0.74; 0.74] | [0.68; 0.68] | [0.56; 0.85] |
| | 10 | [0.15; 0.32] | [0.21; 0.44] | [0.26; 0.26] | [0.32; 0.32] | [0.15; 0.44] |
| 9 | 11 | [0.20; 0.34] | [0.25; 0.31] | [0.25; 0.36] | [0.25; 0.36] | [0.32; 0.36] |
| | 12 | [0.12; 0.26] | [0.18; 0.25] | [0.18; 0.32] | [0.18; 0.32] | [0.28; 0.32] |
| | 14 | [0.54; 0.54] | [0.51; 0.51] | [0.36; 0.51] | [0.36; 0.51] | [0.36; 0.36] |
| 11 | 13 | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.50] | [0.44; 0.50] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.56] |
| | 14 | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.56] | [0.50; 0.50] | [0.44; 0.50] |
| 12 | 13 | [0.21; 0.26] | [0.15; 0.21] | [0.21; 0.21] | [0.15; 0.26] | [0.15; 0.21] |
| | 17 | [0.74; 0.79] | [0.79; 0.85] | [0.79; 0.79] | [0.74; 0.85] | [0.79; 0.85] |
| 14 | 16 | [0.26; 0.26] | [0.25; 0.25] | [0.28; 0.40] | [0.23; 0.38] | [0.25; 0.40] |
| | 17 | [0.26; 0.26] | [0.25; 0.25] | [0.22; 0.22] | [0.18; 0.30] | [0.22; 0.26] |
| | 18 | [0.20; 0.26] | [0.25; 0.25] | [0.19; 0.28] | [0.23; 0.23] | [0.19; 0.28] |
| | 23 | [0.16; 0.26] | [0.25; 0.25] | [0.10; 0.22] | [0.18; 0.23] | [0.10; 0.26] |
| 16 | 18 | [0.50; 0.56] | [0.50; 0.50] | [0.38; 0.50] | [0.50; 0.56] | [0.50; 0.50] |
| | 20 | [0.44; 0.50] | [0.50; 0.50] | [0.50; 0.62] | [0.44; 0.50] | [0.50; 0.50] |
| 17 | 18 | [0.62; 0.62] | [0.50; 0.62] | [0.56; 0.62] | [0.56; 0.56] | [0.50; 0.50] |
| | 20 | [0.38; 0.38] | [0.38; 0.50] | [0.38; 0.44] | [0.44; 0.44] | [0.50; 0.50] |
| 18 | 19 | [0.21; 0.32] | [0.21; 0.21] | [0.09; 0.21] | [0.15; 0.21] | [0.21; 0.21] |
| | 20 | [0.68; 0.79] | [0.79; 0.79] | [0.79; 0.91] | [0.79; 0.85] | [0.79; 0.79] |

В процессе исполнения процедуры №13 (см. схему алгоритма использования комплекса программ на рис. 25) было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии. Параметры метода Монте-Карло взяты такими же, как и при оптимизации распределения ресурсов конструкторского бюро (см. предыдущий раздел). При вычисленном оптимальном распределении ресурсов U^* математическое ожидание результата исполнения стратегии равно 93% (среднеквадратическое отклонение – 2.6%). Эмпирическая функция распределения результата исполнения стратегии и гистограмма частот представлены на рис. 35.

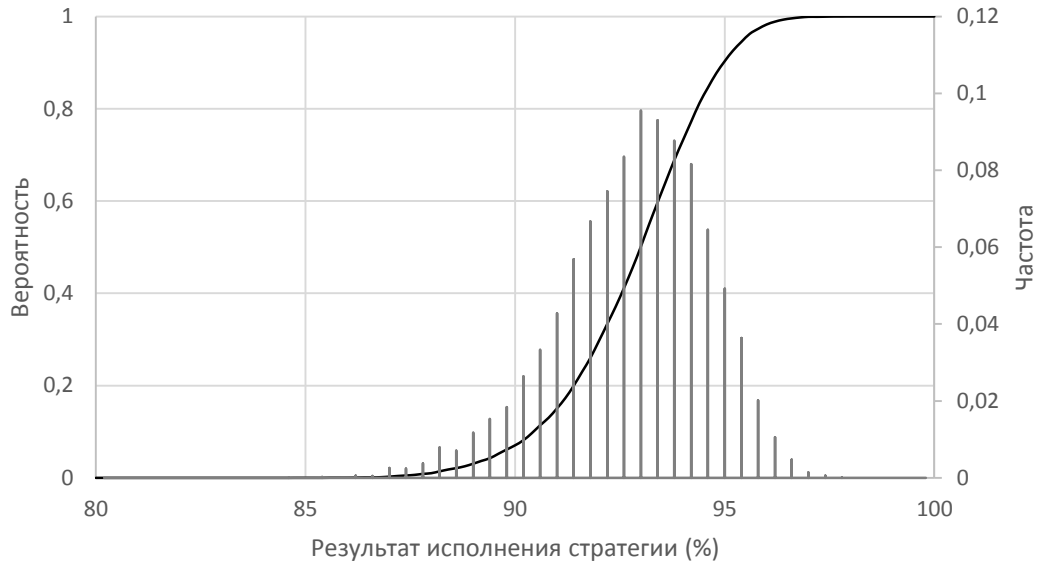


Рис. 35. Эмпирическая функция распределения и гистограмма частот для результата исполнения стратегии при распределении ресурсов U^*

Ящичковая диаграмма, на которой показаны интервалы варьирования, медианы, первый и третий квартили прогнозируемых уровней достижения целей, представлена на рис. 36.

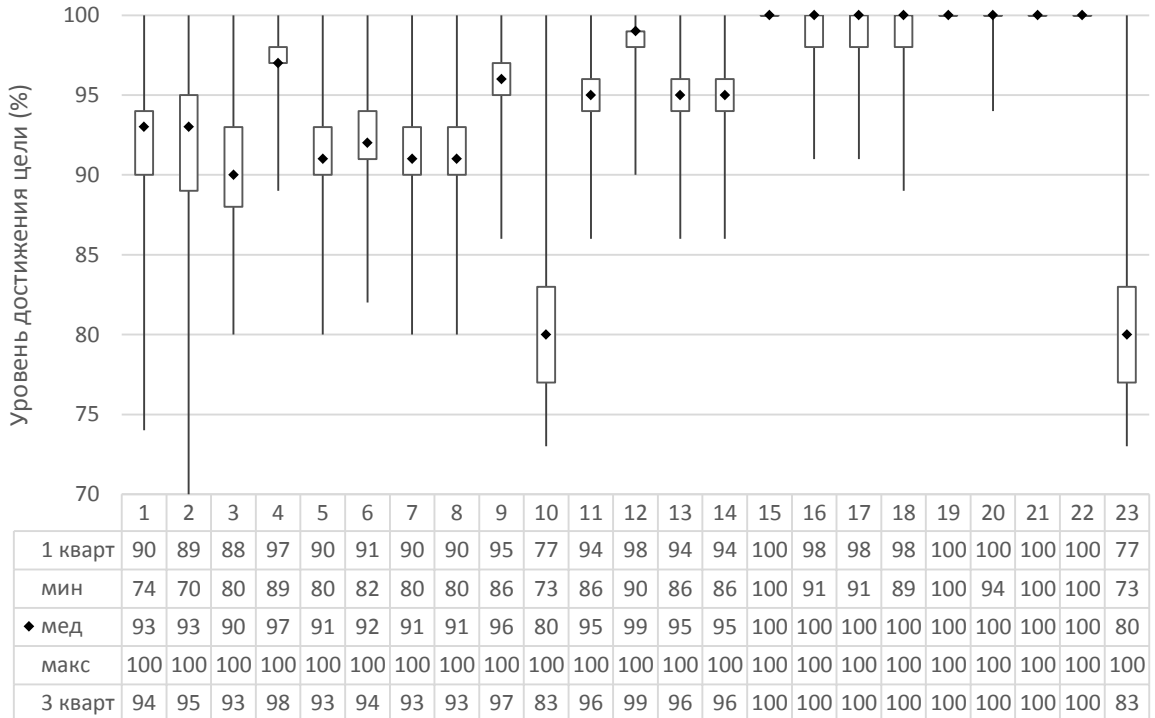


Рис. 36. Ящичковая диаграмма для уровней достижения целей при распределении ресурсов U^*

Далее было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее крите-

рий Гурвица $I^\alpha(U) \triangleq \alpha I^G(U) + (1 - \alpha)I^O(U)$ при различных значениях параметра α (напомним, что $I^G(U)$ – гарантированный результат исполнения стратегии, $I^O(U)$ – оптимистичный результат исполнения стратегии). Результаты представлены в табл. 25.

Таблица 25

Результаты исполнения стратегии для распределений ресурсов U_α^* , максимизирующих критерий Гурвица при различных значениях параметра α

| α | $I^G(U_\alpha^*), \%$ | $I^M(U_\alpha^*), \%$ | $I^O(U_\alpha^*), \%$ |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.0 | 84 | 92 | 100 |
| 0.1 | 85 | 92 | 100 |
| 0.2 | 85 | 92 | 100 |
| 0.3 | 86 | 92 | 100 |
| 0.4 | 86 | 92 | 100 |
| 0.5 | 87 | 92 | 99 |
| 0.6 | 87 | 92 | 99 |
| 0.7 | 87 | 92 | 99 |
| 0.8 | 87 | 92 | 99 |
| 0.9 | 87 | 92 | 99 |
| 1.0 | 87 | 92 | 99 |

Третий столбец в табл. 25 ($I^M(U_\alpha^*)$) представляет собой математическое ожидание результата исполнения стратегии. 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 алгоритма оптимизации, построенного на базе метода частиц в стае.

Также были вычислены гарантированный и оптимистичный результаты для распределения ресурсов U^* (Табл. 26).

Таблица 26

Результаты исполнения стратегии для распределения ресурсов U^* ,
максимизирующего критерий $I^M(U)$

| $I^G(U^*), \%$ | $I^M(U^*), \%$ | $I^O(U^*), \%$ |
|----------------|----------------|----------------|
| 86 | 93 | 100 |

Распределения ресурсов U_α^* , полученные при $\alpha \in \{0.5 + 0.1i \mid i = \overline{0,5}\}$, «проиграли» 1% по критерию $I^M(U)$ и $I^O(U)$, в сравнении с распределением ресурсов U^* , «выиграв» 1% по критерию $I^G(U)$. Поэтому после анализа результатов (Рис. 25 – Процедура 14) в качестве наилучшего распределения ресурсов было выбрано распределение U^* (Рис. 25 – Процедура 15). Для него с использованием алгоритма 7 (см. разд. 2.4) были вычислены остатки ресурсов. Полученное в результате наилучшее распределение ресурсов, а также прогнозируемые уровни достижения целей при данном распределении представлены на рис. 34.

Дополнительное исследование позволило выявить некоторые особенности разработанной ИТ-стратегии.

1. Было определено, на сколько оценивание различных групп параметров интервальной МСР снижает неопределенность результата исполнения стратегии (Табл. 27).

Таблица 27

Снижение неопределенности после оценивания различных групп параметров
интервальной МСР

| Группа параметров (g) | Снижение неопределенности после оценивания группы g ($\Delta I(g), \%$) при распределении ресурсов U^* |
|--|--|
| Уровни достижения внешних целей (x^{ext}) | 42 |
| Затраты (r) | 35 |
| Карта стратегии (G) | 9 |
| Коэффициенты причинно-следственных связей (k) | 5 |

В отличие от предыдущего примера оказалось, что сама по себе структуризация карты стратегии снижает неопределенность результата, хотя и незначительно.

2. При генерации значений затрат и уровней достижения внешних целей были использованы следующие альтернативные законы распределения вероят-

ностей (напомним, что при вычислении распределения ресурсов U^* использовалось PERT-бета распределение с параметрами α и β подобранными так, чтобы мода распределения равнялась заданному числу): PERT-бета с параметрами $\alpha = 2, \beta = 3$ для генерации значений затрат и PERT-бета с параметрами $\alpha = 3, \beta = 2$ для генерации значений уровней достижения внешних целей (такие параметры иногда используются для описания поведения случайной величины, характеризуемой интервальной оценкой; они соответствуют распределению, мода которого немного смещена в сторону оптимистичной оценки [136]); равномерное распределение; треугольное распределение. Результаты, полученные при вычисленных оптимальных распределениях ресурсов U_{β}^* , U_R^* и U_{Δ}^* , соответственно, представлены в табл. 28.

Таблица 28

Результаты исполнения стратегии, полученные при различных законах распределения параметров модели (для каждого закона взято распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии)

| | При законе PERT-бета для интервальных оценок и U_{β}^* | При равномерном законе и U_R^* | При треугольном законе и U_{Δ}^* |
|--------------|--|----------------------------------|---|
| $I^G(U), \%$ | 86 | 86 | 86 |
| $I^M(U), \%$ | 94 | 93 | 93 |
| $I^O(U), \%$ | 100 | 100 | 100 |

Интересно отметить, что для всех трех альтернативных законов распределения вероятностей при распределении ресурсов U^* будут получены математические ожидания, совпадающие (с точностью $\pm 0.5\%$) с математическими ожиданиями, представленными в табл. 28. Это говорит об устойчивости распределения ресурсов U^* при изменении законов распределения вероятностей, характеризующих поведение затрат и уровней достижения внешних целей. Графики эмпирических функций распределения результата исполнения стратегии для четырех законов распределения значений затрат и уровней достижения внешних целей представлены на рис. 37. Из графиков видно, что использование равномерного и треугольного распределений вероятностей дало более «пессимистичные» результаты, чем использование распределения PERT-бета.

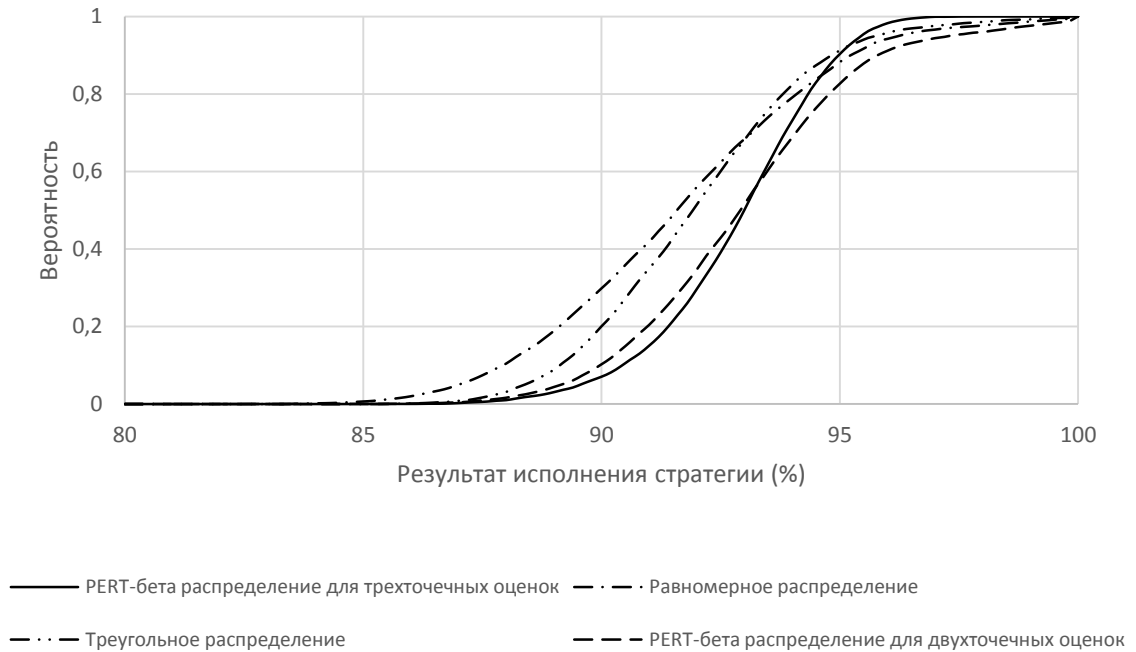


Рис. 37. Эмпирические функции распределения результата исполнения стратегии при различных законах распределения значений параметров модели (для каждого закона взято распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии)

3. Оптимальное распределение ресурсов U_0^* было вычислено при следующих допущениях: 1) все параметры модели заданы точно, 2) весовые коэффициенты основных целей равны друг другу, 3) коэффициенты причинно-следственных связей с одинаковым вторым индексом равны друг другу, 4) каждая оценка затрат равна среднему взвешенному соответствующих наиболее ожидаемых значений, полученных от экспертов (в качестве весовых коэффициентов выступают коэффициенты компетентности экспертов). Эти допущения (за исключением допущения №4) были приняты в рамках исходной модели стратегии развития, предложенной в работе [56]. При распределениях ресурсов U_0^* и U^* (напомним, что данное распределение выбрано менеджментом как наилучшее) были вычислены:

1) математическое ожидание прогнозируемого результата исполнения стратегии в условиях стохастической МСР: $I^M(U^*) = 93\%$; $I^M(U_0^*) = 92\%$;

2) гарантированный и оптимистичный результаты в условиях интервальной МСР: $I^G(U^*) = 86\%$, $I^O(U^*) = 100\%$; $I^G(U_0^*) = 87\%$, $I^O(U_0^*) = 100\%$.

Видно, что распределение ресурсов U^* и оптимальное распределение, полученное при допущениях, сделанных в работе [51], дают очень близкие результаты. Тем не менее, в общем случае такая близость может не иметь места, поэтому на практике рекомендуется оптимизировать распределение ресурсов организации, используя стохастическую и интервальную МСР.

3.6. Применение подсистемы оптимизации распределения ресурсов при планировании стратегии развития компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики.

Подсистема оптимизации распределения ресурсов была использована в процессе стратегического управления предприятием, входящим в зеленоградский микроэлектронный кластер. Данное предприятие является проектно-ориентированным и занимается разработкой, выпуском и эксплуатацией автоматизированного вакуумно-технологического оборудования для напыления, травления и осаждения различных материалов. Одно из основных направлений деятельности компании – создание оборудования для изготовления элементной базы авионики, а также нанесение защитных покрытий на лопатки турбин ракетных двигателей. Описание компании с использованием методики матрицы бизнес-модели, предложенной в работе [137], приведено в Приложении Д.

Вначале было определено желаемое состояние предприятия.

Через два года компания повысит прибыльность (ОЦ1), обеспечив диверсифицированное предложение (ОЦ2) и существенно улучшив качество управления (ОЦ3).

Желаемое состояние определяет три основные цели. Весовой коэффициент каждой из этих целей был принят равным 1/3.

Карта стратегии развития предприятия (Рис. 38), включает в себя 23 стратегических цели: две, относящихся к перспективе «Финансы» (F1–F2); семь – к перспективе «Рынки и клиенты» (M1–M7); десять – к перспективе «Внутренние бизнес-процессы» (P1–P10); четыре – к перспективе «Обучение и развитие» (L1–L4). В оценивании границ варьирования коэффициентов-причинно-следственных связей участвовало три эксперта.

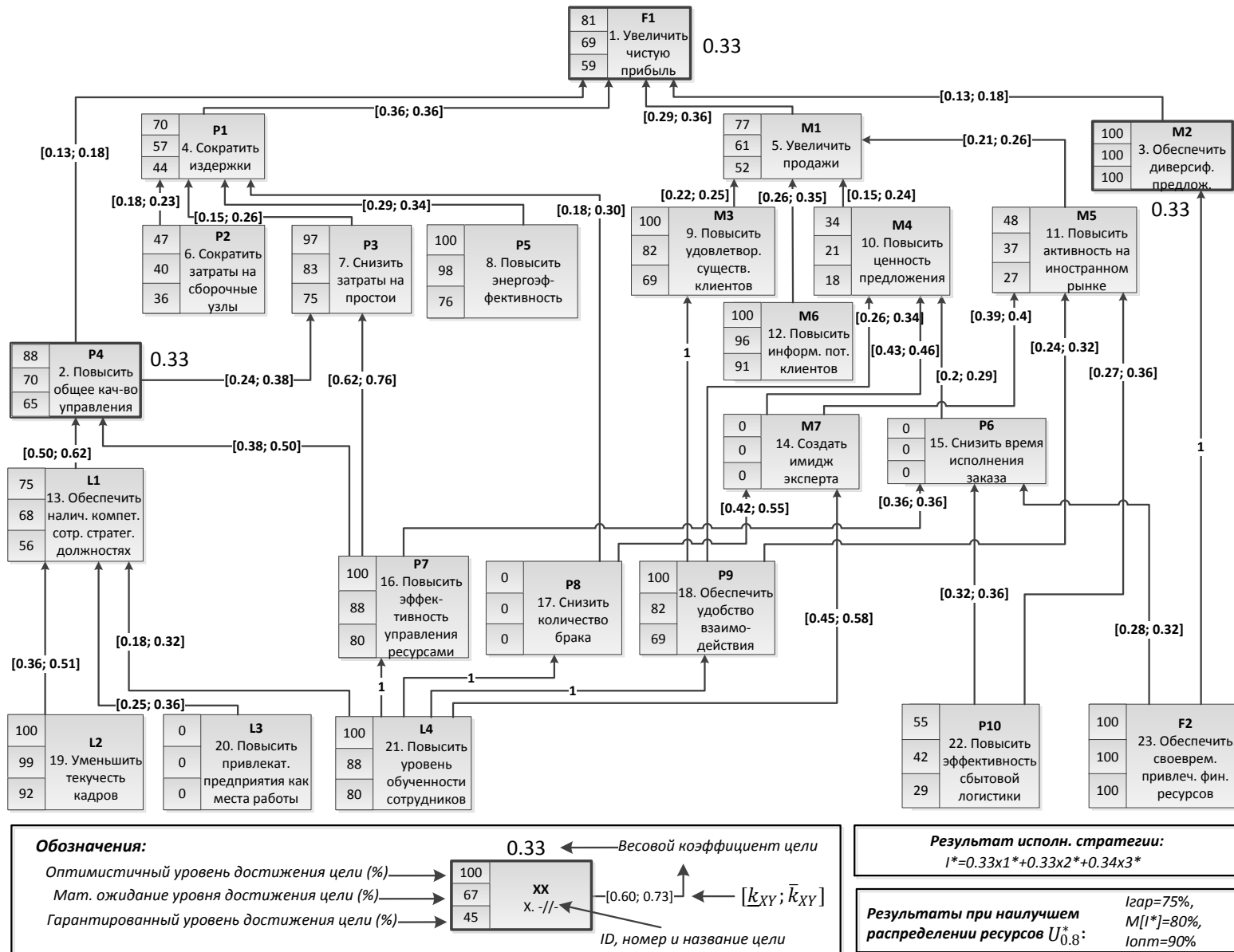


Рис. 38. Карта стратегии компании, производящей вакуумное оборудование

Выделено шесть видов ресурсов, необходимых для реализации стратегии и определены их доступные объемы (Табл. 29).

Таблица 29

Доступные объемы ресурсов

| Финансы (млн. руб.) | Труд (чел.-час.×1000) | | | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| | Деп. проектиров. | Деп. производства | Деп. исследований | Маркетинг. отдел | HR отдел |
| 120 | 14.25 | 20.58 | 7.34 | 13.67 | 6.58 |

Затраты на реализацию стратегических действий оценивались четырьмя экспертами. В табл. 30 показаны верхние и нижние границы варьирования затрат, полученные путем взвешивания экспертных оценок с коэффициентами компетентности экспертов.

Таблица 30

Границы варьирования затрат и наилучшее распределение ресурсов

| № цели | [Нижняя оценка затрат (r_{ij}); объем ресурса, который следует вложить в достижение цели при наилучшем распределении ресурсов; верхняя оценка затрат (\bar{r}_{ij})] | | | | | |
|-----------|--|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Финансы (млн. руб.) | Труд (чел.-час.×1000) | | | | |
| | | Деп. проектиров. | Деп. производства | Деп. исследований | Маркетинг. отдел | HR отдел |
| 2 | [5; 4.6 ; 6.6] | [1.5 ; 1.5 ; 2.3] | [1.7; 1.6 ; 2.4] | [1.1; 1.0 ; 1.3] | [1.0; 1.0 ; 1.3] | [0.9; 1.02 ; 1.55] |
| 3 | [10; 50 ; 50] | [9.0 ; 1.7 ; 1.7] | [1.8; 3.5 ; 3.5] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0.3; 1.0 ; 1.0] |
| 6 | [1; 1.1 ; 3] | [0 ; 0 ; 0] | [2.7; 1.3 ; 3.5] | [0; 0 ; 0] | [0.6; 0.6 ; 1.6] | [0; 0 ; 0] |
| 8 | [5; 9.2 ; 12] | [0.07 ; 0.25 ; 0.3] | [0.3; 0.8 ; 1.0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0.1; 0.3 ; 0.4] |
| 10 | [0; 0 ; 0] | [0.3; 0.2 ; 1.0] | [0.4; 0.2 ; 1.0] | [0.07; 0.1 ; 0.4] | [0.6; 0.3 ; 1.2] | [0; 0 ; 0] |
| 12 | [9; 15.5 ; 17] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [3.2; 3.6 ; 3.9] | [0; 0 ; 0] |
| 14 | [4; 0 ; 8] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [2.8; 0 ; 3.4] | [0; 0 ; 0] |
| 15 | [15; 0 ; 18] | [1.0; 0 ; 1.8] | [3.2; 0 ; 5.0] | [0.1; 0 ; 0.8] | [0; 0 ; 0] | [0.15; 0 ; 0.3] |
| 16 | [3; 4.8 ; 6] | [0.0; 0.4 ; 0.6] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] |
| 17 | [2; 0 ; 9] | [0.9; 0 ; 2.0] | [4.0; 0 ; 7.0] | [0.6; 0 ; 1.2] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] |
| 18 | [1; 6.3 ; 9] | [0; 0 ; 0] | [1.2; 1.2 ; 1.75] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] |
| 19 | [13; 13 ; 14] | [1.3; 1.7 ; 1.7] | [1.5; 1.8 ; 2.0] | [0.7; 1.2 ; 1.3] | [0.9; 1.09 ; 1.1] | [0.6; 1.4 ; 1.5] |
| 20 | [17; 0 ; 20] | [3.2; 0 ; 4.0] | [3.0; 0 ; 3.7] | [1.0; 0 ; 1.7] | [1.2; 0 ; 1.7] | [2.2; 0 ; 3.1] |
| 21 | [6; 10.4 ; 13] | [6.0; 6.6 ; 8.0] | [7.2; 7.2 ; 9.0] | [3.1; 3.2 ; 3.7] | [3.2; 3.3 ; 3.75] | [2.5; 2.5 ; 2.8] |
| 22 | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0.9; 0.5 ; 1.7] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] | [0; 0 ; 0] |
| 23 | [1; 4.5 ; 4.5] | [0.09; 0.4 ; 0.4] | [1.1; 2.5 ; 2.5] | [0.05; 0.4 ; 0.4] | [0.09; 0.7 ; 0.7] | [0.1; 0.3 ; 0.3] |

Заметим, что в данном примере основные цели также как и промежуточные являются потребителями ресурсов. Это позволило упростить структуру карты стратегии.

В процессе исполнения процедуры №13 (см. схему алгоритма использования комплекса программ на рис. 25) было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии.

Параметры метода Монте-Карло взяты такими же, как и при оптимизации распределения ресурсов конструкторского бюро (см. раздел 3.3).

При вычисленном оптимальном распределении ресурсов U^* математическое ожидание результата исполнения стратегии равно 81% (среднеквадратическое отклонение – 2.3%).

Далее было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее критерий Гурвица $I^\alpha(U) \triangleq \alpha I^G(U) + (1 - \alpha)I^O(U)$ при различных значениях параметра α (напомним, что $I^G(U)$ – гарантированный результат исполнения стратегии, $I^O(U)$ – оптимистичный результат исполнения стратегии). Параметры метода частиц в стае приняты следующими: количество частиц – 100, количество итераций – 2500, «когнитивный» параметр – 0.9, «социальный» параметр – 0.7, начальное значение параметра инерции – 1, конечное значение параметра инерции – 0. Результаты оптимизации представлены в табл. 31.

Таблица 31

Результаты исполнения стратегии для распределений ресурсов U_α^* , максимизирующих критерий Гурвица при различных значениях параметра α

| α | $I^G(U_\alpha^*), \%$ | $I^M(U_\alpha^*), \%$ | $I^O(U_\alpha^*), \%$ |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.0 | 39 | 53 | 95 |
| 0.1 | 59 | 67 | 94 |
| 0.2 | 64 | 70 | 92 |
| 0.3 | 68 | 74 | 91 |
| 0.4 | 70 | 76 | 91 |
| 0.5 | 72 | 80 | 90 |
| 0.6 | 73 | 80 | 90 |
| 0.7 | 74 | 80 | 90 |
| 0.8 | 75 | 80 | 90 |
| 0.9 | 75 | 80 | 90 |
| 1.0 | 75 | 78 | 86 |

Третий столбец в табл. 31 ($I^M(U_\alpha^*)$) представляет собой математическое ожидание результата исполнения стратегии.

Также были вычислены гарантированный и оптимистичный результаты для

распределения ресурсов U^* (Табл. 32).

Таблица 32

Результаты исполнения стратегии для распределения ресурсов U^* ,
максимизирующего критерий $I^M(U)$

| $I^G(U^*), \%$ | $I^M(U^*), \%$ | $I^O(U^*), \%$ |
|----------------|----------------|----------------|
| 56 | 81 | 89 |

Распределение ресурсов $U_{0.8}^*$ было выбрано ЛПР как наилучшее. Для данного распределения с использованием алгоритма 7 (см. разд. 2.4) были вычислены остатки ресурсов. Полученное в результате наилучшее распределение ресурсов представлено в таблице 30. Прогнозируемые уровни достижения целей при данном распределении показаны на рис. 38.

3.7. Выводы по третьей главе.

В третьей главе был описан комплекс программ, который представляет собой систему поддержки принятия решений (СППР), реализующую предложенные модели и алгоритмы. Применение комплекса продемонстрировано на ряде практических примеров. Таким образом, решена пятая задача исследования.

В начале главы была описана архитектура СППР, приведены UML-диаграммы вариантов использования отдельных подсистем, представлены фрагменты пользовательского интерфейса. Общий алгоритм применения предложенного комплекса в процессе стратегического управления организацией представлен в виде диаграммы потоков активностей, демонстрирующей действия лиц, работающих с СППР и информационные потоки, задающие их последовательность.

Применение разработанного комплекса программ показано на примере конструкторского бюро, проектирующего и производящего легкую авиационную технику. Используемая в процессе выбора оптимальной комплексной стратегии процедура генерации Парето-недоминируемых стратегий, основанная на идее метода ветвей и границ, оказалась высокоэффективной – с ее помощью удалось сократить перебор более чем в 40 раз. С использованием метода Монте-Карло было вычислено распределение ресурсов, максимизирующее математическое

ожидание результата исполнения стратегии развития; продемонстрирована его устойчивость при изменении законов распределения затрат. Вычислено множество распределений ресурсов, максимизирующих критерий Гурвица при различных значениях параметра критерия, и одно из них выбрано в качестве наилучшего. Процедура оптимизации распределения ресурсов, базирующаяся на использовании классического метода частиц в стае, показала свою пригодность для решения задачи, имеющей большую размерность (48 переменных). Использование данной процедуры позволило получить значительный выигрыш в сравнении с алгоритмами α PSO и Binary α PSO.

Установлено, что сама по себе структуризация карты стратегии интервальной МСР не сокращает неопределенность результата исполнения стратегии при наилучшем распределении ресурсов. Показано, что распределение ресурсов, вычисленное при допущениях, принятых в рамках исходной МСР, обеспечивает меньший гарантированный и ожидаемый результаты, чем выбранное наилучшее распределение ресурсов.

Также было рассмотрено применение отдельных подсистем СППР в процессе стратегического управления различными организациями.

С помощью подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии выбрана стратегия телекоммуникационной компании. Применение процедуры вычисления Парето-недоминируемых стратегий, использующей идею метода ветвей и границ, позволило сократить перебор более чем в 43 раза, что еще раз доказало ее высокую эффективность.

Использование подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей было также продемонстрировано на примере ИТ-стратегии факультета университета. Как и в случае со стратегией конструкторского бюро, распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии, оказалось устойчивым при изменении законов распределения затрат и прогнозируемых уровней достижения внешних целей. Оптимальное распределение ресурсов, максимизирующее критерий Гурвица, удалось вычислить точно, решая смешанную ЗЛП. Сравне-

ние данного распределения с распределениями, вычисленными с помощью алгоритма, основанного на классическом методе частиц в стае, позволило заключить, что данный алгоритм является стабильным и эффективным. Наилучшим было признано распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии.

Распределение ресурсов, полученное при допущениях, принятых в рамках исходной МСР дало результаты, сходные с результатами, полученными при наилучшем распределении ресурсов. Таким образом, если требуется быстро получить предварительную оценку эффективности стратегии развития организации и оптимизировать распределение ресурсов между стратегическими действиями, то можно использовать исходную МСР – она не требует оценивания коэффициентов причинно-следственных связей и уровней достижения внешних целей, а оптимизация распределения ресурсов сводится к решению ЗЛП с непрерывными переменными. Тем не менее, при наличии достаточного количества времени и средств рекомендуется использовать стохастическую и интервальную МСР как более совершенные инструменты оптимизации распределения ресурсов и анализа эффективности стратегии развития организации.

Что касается влияния оценивания различных групп параметров интервальной МСР на снижение неопределенности результата исполнения стратегии, то в отличие от предыдущего примера, оказалось, что сама по себе структуризация карты стратегии снижает неопределенность результата, хотя и незначительно. В наибольшей степени неопределенность результата сократило оценивание уровней достижения внешних целей (интересно отметить, что согласно утверждению 1, доказанному в разделе 1.2, полученные оценки не повлияли на оптимальное распределение ресурсов).

Наконец, применение подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей было продемонстрировано на примере стратегии развития компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные итоги работы заключаются в совершенствовании математического аппарата теории стратегического управления организацией. Разработаны новые подходы к моделированию стратегии организации. На их основе предложены эффективные вычислительные процедуры, служащие для выбора стратегии и повышения эффективности достижения желаемого состояния организации. Алгоритмы реализованы в виде комплекса компьютерных приложений (системы поддержки принятия решений), что позволило применить их для решения практических задач и показать преимущества по сравнению с методами, предложенными ранее. Результаты работы могут быть использованы в организациях для формирования научного подхода при принятии управленческих решений.

Анализ требований, которые предъявляют современные организации к информационным системам для стратегического управления, выявил потребность в разработке новых эффективных моделей и методов поддержки принятия управленческих решений. Было установлено, что стратегическое управление – это деятельность, в которой занято множество лиц – менеджеры, аналитики, эксперты, владельцы организации. В процессе управления эти лица могут использовать информационные системы для совместной работы с данными, организации процедур экспертного оценивания, диалога при принятии решений, то есть системы класса Social BI.

Реализация подобных информационных систем связана с необходимостью разработки новых и совершенствования существующих математических моделей стратегии организации. Предложенные ранее подходы к моделированию стратегии организации с целью разработки алгоритмов принятия управленческих решений делятся на две группы. Согласно первой группе подходов стратегия организации понимается как множество решений, оказывающих определяющее воздействие на деятельность организации и влекущих (при условии их реализации) долгосрочные и/или труднообратимые последствия. Чл.-корр. РАН

Г.Б. Клейнер предложил декомпозировать стратегию организации на ряд подстратегий и определил множество альтернативных решений в рамках каждой из них. Совокупность решений, в которую входит по одному решению из каждой подстратегии, он предложил называть комплексной стратегией организации.

Согласно второй группе подходов стратегия – это система взаимосвязанных целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации. Стратегию, понимаемую в данном смысле, было предложено называть стратегией развития организации.

Приведенные подходы гармонично дополняют друг друга, поэтому в диссертации было уделено внимание, как комплексной стратегии, так и стратегии развития организации. Основной упор в исследовании сделан на процедуры выбора оптимальной комплексной стратегии и оптимизации распределения ресурсов между стратегическими действиями, входящими в стратегию развития организации. Данные процедуры относятся к этапу стратегического планирования. Дальнейшие исследования могут быть связаны с разработкой алгоритмов принятия решений, поддерживающих непосредственно исполнение стратегии. Здесь возникают такие задачи, как измерение и анализ текущей эффективности организации, апостериорное оценивание параметров модели стратегии развития, корректировка стратегии. Эти задачи остались за рамками диссертационного исследования, однако их решение важно для обеспечения замкнутости цикла стратегического управления.

С целью постановки задачи выбора оптимальной комплексной стратегии была предложена математическая модель комплексной стратегии организации. На основании полученной математической модели разработан новый подход к оцениванию качества комплексной стратегии. В отличие от подходов, описанных в литературе ранее, этот подход учитывает сочетаемость формирующих стратегию решений. Было предложено оценивать приоритеты стратегических решений с помощью метода анализа иерархий и оптимальной считать стратегию, на которой достигается наиболее предпочтительная с точки зрения ЛПР пара значений двух критериев – а) количества нежелательных сочетаний фор-

мирующей стратегии решений и б) максимального среди анти-приоритетов формирующих стратегию решений. Для построения Парето-недоминируемых стратегий разработана вычислительная процедура, использующая оригинальный способ ветвлений и отсечений. Дальнейшие исследования, касающиеся улучшения алгоритма выбора комплексной стратегии, следует связать с совершенствованием критерия качества стратегии: вместо Парето-оптимальности могут быть использованы более «тонкие» подходы теории многокритериальной оптимизации, например, качественная и количественная теории важности критериев В.В. Подиновского. Также дальнейшие исследования могут быть связаны с разработкой подходов к групповому оцениванию сочетаемости стратегических решений.

Анализ литературы по стратегическому управлению показал, что выбор оптимальной комплексной стратегии – лишь первый шаг на пути к достижению желаемого состояния организации. Далее необходимо сформировать стратегию развития, оценить ее эффективность и разработать план реализации. Оценку эффективности стратегии развития организации, а также оптимизацию распределения ресурсов между стратегическими действиями позволяет осуществить модель стратегии развития (МСР) организации М. Хелла, С. Видачича и З. Гарачи. Описание модели, предложенное ее авторами, носит преимущественно вербальный характер. В рамках диссертационной работы посылки модели были формализованы и представлены в виде набора определений и предположений. Это позволило провести критический анализ модели и выделить ряд искусственных допущений, ограничивающих ее практическое применение. Данные допущения были сняты, в результате чего получено две новые модели стратегии развития – стохастическая и интервальная.

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 двухточеч-

ными экспертными оценками.

Для предложенных моделей были предложены эффективные вычислительные процедуры, позволяющие оптимизировать распределение ресурсов организации между стратегическими действиями. Также решены такие вспомогательные задачи, как конструирование индексов расстояния, служащих для измерения степени различия между двумя заданными распределениями ресурсов, и разработка подхода к вычислению показателя, характеризующего снижение неопределенности прогнозируемого результата исполнения стратегии после оценивания различных групп параметров интервальной МСР.

Дальнейшие исследования, связанные с совершенствованием модели стратегии развития организации, могут быть направлены на:

1) преобразование модели из статической в динамическую (использование системно-динамического подхода Дж. Форрестера для моделирования реализации стратегических действий с целью календарного планирования исполнения стратегии);

2) использование квантильного критерия при оптимизации распределения ресурсов в рамках стохастической МСР;

3) использование критерия Сэвиджа при оптимизации распределения ресурсов в рамках интервальной МСР.

Предложенные в диссертации алгоритмы были реализованы в составе системы поддержки принятия решений, апробированы на ряде примеров и показали свою пригодность для решения практических задач.

Теоретическое значение полученных научных результатов состоит в разработке новых подходов к моделированию и оптимизации организационных систем, которые вносят вклад в развитие теории принятия управленческих решений.

В прикладном аспекте ценность работы заключается в том, что внедрение авторских разработок в действующих организациях позволяет более рационально подойти к вопросу стратегического управления. Использование новых методов поддержки принятия решений особенно актуально для предприятий

авиационной промышленности. Это связано с такими особенностями их функционирования, как длительный производственный цикл, высокая ресурсоемкость и относительно низкая рентабельность производства, необходимость эффективного расходования ресурсов в условиях их дефицита.

Таким образом, можно сделать вывод, что основная цель исследования – разработка моделей, алгоритмов и программного обеспечения для повышения эффективности принятия решений при стратегическом управлении организацией – достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Schlegel K., Sallam R.L., Yuen D., Tapadinhas J. Magic Quadrant for Business Intelligence and Analytics Platforms, Gartner, 5 Feb, 2013. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/iBtJgo> (14.05.2012)
2. Акинфиев В.К., Цвиркун А.Д. Проблемы управления инвестициями. Программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ» // Проблемы управления, №4, 2013. – С. 32 – 40
3. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Ситуационные центры: информация–процессы–организация // Электросвязь, №6, 2011. – с. 42–46
4. Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Ионенков Ю.С. Стенд главного конструктора – организационно-техническая основа разработки крупномасштабных информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики, Т. 20, №3, 2010. – с. 174–190
5. Колесников А.В., Кириков И.А. Концептуальная модель двунаправленной гибридизации при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений // Системы и средства информатики, Т. 18, №2, 2008. – с. 21–53
6. Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В. Моделирование систем поддержки принятия решений синергетическим искусственным интеллектом // Информатика и ее применения, Т. 7, №3, 2013. – с. 62–69
7. Исаев Д.В. Корпоративное управление и стратегический менеджмент: информационный аспект. – М.: Из. Дом Гос. Ун-та – Высшей школы экономики, 2010. – 219 с.
8. Исаев Д.В. Комплексная информационная система стратегического университетского управления // Бизнес-информатика, Т.11, №1, 2010. – с. 38–44
9. Исаев Д.В. Развитие систем информационной поддержки корпоративного управления и стратегического менеджмента // Бизнес-информатика, Т. 26, №2, 2011. – с. 56–62
10. Калянов Г.Н. Консалтинг. От бизнес-стратегии к корпоративной информационно-управляющей системе. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2011. – 210 с.

- 11.Петровский А.Б. Теория и методы принятия решений. – Таганрог: Издательство ЮФУ, 2013
- 12.Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике. – М.: СИНТЕГ, 2002. – 316 с.
- 13.Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. – М., 2003. – 181 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/sWj5kc> (11.09.2013)
- 14.A Buyer's Guide to Strategic Analytics. Five Critical Criteria for Analytics Success, White paper, Alteryx, 2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/cgdfwu> (11.09.2013)
- 15.Schläpke M., Silvi R., Möller K. A framework for business analytics in performance management // International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 62, No. 1, 2012. – p. 110–122
- 16.Кочнев А.Ф. Системы стратегического управления для бизнеса: сегодня и завтра [Электронный ресурс] // Портал iTeam – технологии корпоративного управления, 2010. – Режим доступа: <http://goo.gl/XqOHhm> (28.08.2013)
- 17.Стратегии бизнеса: Аналитический справочник / Под ред. Г.Б. Клейнера. – М.: КОНСЭКО, 1998. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aup.ru/books/m71/> (11.09.2013)
- 18.Клейнер Г.Б. Стратегия предприятия. – М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. – 568 с.
- 19.Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
- 20.Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
- 21.Шмерлинг Д.С., Кожуховская Е.И. Разработка современной модели государственного и корпоративного стратегического планирования // XIII Международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества. / Отв. ред.: Е. Г. Ясин, Кн. 4. – М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2012. – с . 226–229

- 22.Картвелишвили В.М., Лебедюк Э.А. Метод анализа иерархий: критерии и практика // Вестник РЭА, №6, Т. 60, 2013. – с. 97–112
- 23.Wickramasinghe V., Takano S. Application of Combined SWOT and Analytic Hierarchy Process (AHP) for Tourism Revival Strategic Marketing Planning: A Case of Sri Lanka Tourism [Электронный ресурс] // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 8, 2009. – Режим доступа: <http://goo.gl/Eq72Db> (26.08.2013)
- 24.Anisseh M., Dodangeh J., Yusuff R.B.M. Group analytic hierarchy process method and best selection of the strategic plans in balanced scorecard model [Электронный ресурс] // International Conference in Business Management and Information, 2008. – p. 210–220. – Режим доступа: <http://goo.gl/z1W0RT> (02.09.2013)
- 25.Saen R.F. A Mathematical Programming Approach for Strategy Ranking [Электронный ресурс] // Asia Pacific Management Review, Vol. 14, No. 2, 2009. – p. 109–120. – Режим доступа: <http://goo.gl/3M2fLo> (14.05.2013)
- 26.Продюсерство. Управленческие решения. Учебное пособие / Под ред. Малышева В.С., Криволицкого Ю.В. – М.: Юнити-Дана, 2012. – 377 с.
- 27.Кондратьева М.Н. Организация и управление жилищно-коммунальным хозяйством: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 160 с.
- 28.Шамгунов Р.М. Стратегия и стратегическое управление в российских предприятиях [Электронный ресурс] // Справочник экономиста, №4, 2010. – Режим доступа: <http://goo.gl/FNe0hO> (28.08.2013)
- 29.Huang H., Lai M., Lin L. Developing strategic measurement and improvement for the biopharmaceutical firm: Using the BSC hierarchy // Expert Systems with Applications, Vol. 38, 2011. – p. 4875–4881
- 30.Глушков В.М. О прогнозировании на основе экспертных оценок // Кибернетика, № 2, 1969. – с. 2–14
- 31.Самохвалов Ю.Я., Буточнов А.Н., Науменко Е.М., Бурба О.И. Использование нечетких оценок в методе прогнозного графа [Электронный ресурс] // Регистрация, хранение и обработка данных, №4, 2010. – с. 22–30. – Режим доступа: <http://goo.gl/8kI4P5> (30.08.2013)

32. Carlucci D. Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model // *Measuring Business Excellence*, Vol. 14, No. 2, 2010. – p. 66–76
33. Brauer K. KPI: reduction the correlation way // *DM Review*, Feb, 2005. – p. 1–3
34. Jassbi J., Mohamadnejad F., Nasrollahzadeh H. A Fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map // *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, 2011. – p. 5967–5973
35. Suwignjo P., Bititci U.S., Carrie A.S. Quantitative models for performance measurement system // *International Journal of Production Economics*, Vol. 64, 2000. – p. 231–241
36. Cardona S.D., Dilia M., Garcia A. Modelo de Indicadores para el despliegue de la Estrategia de Calidad, 2005. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/JZRkvo> [на испанском языке] (11.09.2013)
37. Rodrigues R.R., Alfaro J.J., Ortiz A. Quantitative relationships between key performance indicators for supporting decision-making process // *Computers in Industry*, Vol. 60, 2009. – p. 104–113
38. Акопов А. С. Системно-динамическое моделирование стратегии банковской группы // *Бизнес-информатика*, 2012, № 2. – с. 10–19
39. Barnabè F. A “system dynamics-based Balanced scorecard” to support strategic decision making // *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 60, No. 5, 2011. – p. 446–473
40. Akkerman H., Oorschot van K. Developing a Balanced Scorecard with System Dynamics // *Proceeding of 2002 International System Dynamics Conference*, Palermo, Italy, 2002
41. Warren K. *Strategy Dynamics Essentials*. Strategy Dynamics Ltd., 2012. – 146 p.
42. Масалович А.И., Шебеко Ю.А. Моделирование и анализ поведения бизнес-процессов. – М.: ТОРА, 2002. – 219 с.
43. Amirteimoori A., Tabar M.M. Resource allocation and target setting in data envelopment analysis // *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, 2010. – p. 3036–3039

44. Кибзун А.И., Кан Ю.С. Задачи стохастического программирования с вероятностными критериями. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 372 с.
45. Наумов А.В. Учет риска в двухэтапных задачах оптимального распределения ресурсов // Труды международной научной школы МАБР-2002. – СПб, 2006. – с. 438–441
46. Наумов А.В. Целочисленная двухэтапная задача оптимального распределения ресурсов при случайно возникающем спросе // Тезисы II международной конференции по проблемам управления. – Россия: Москва, ИПУ, 2003
47. Наумов А.В., Иванов С.В. Задача распределения инвестиций, выделяемых на реструктуризацию наземного космического комплекса // Тезисы 10-й международной конференции «Авиация и космонавтика 2011». – Россия: Москва, 20–23 октября 2011. – с. 272–273
48. Наумов А.В., Иванов С.В. Задача распределения инвестиций в развитие отраслей наземного космического комплекса [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Труды МАИ», №50, 2012. – Режим доступа: <http://goo.gl/obmIaT> (14.05.2013)
49. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.
50. Кетова К.В. Разработка методов исследования и оптимизация стратегии развития экономической системы региона. Дис. ... докт. физ.-мат. наук. – Ижевск, 2018. – 285 с.
51. Афраймович Л.Г., Прилуцкий М.Х. Многоиндексные задачи распределения ресурсов в иерархических системах // Автоматика и телемеханика, №6, 2006. – с. 194–205
52. Ильин А. В. Экспертное планирование ресурсов. – М.: ИПИ РАН, 2013. – 58 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/6q1KcA> (26.08.2013)
53. Punniyamoorthy M., Murali R. Balanced score for the balanced scorecard: a benchmarking tool // Benchmarking. An International Journal, Vol. 15, No. 4, 2008. – p. 420–443

54. El-Baz M.A. Fuzzy performance measurement of a supply chain in manufacturing companies // *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, 2011. – p. 6681–6688
55. Каплан Р., Нортон Д. Награда за блестящую реализацию стратегии. Связь стратегии и оперативной деятельности – гарантия конкурентного преимущества / Пер. с англ. М. Павловой. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2010
56. Hell M., Vidačić S., Garača Z. Methodological approach to strategic performance optimization [Электронный ресурс] // *Management*, Vol. 14, No. 2, 2009. – p. 21–42. – Режим доступа: <http://goo.gl/va6dJP> (30.08.2013)
57. Мантуров Д.В., Клочков В.В. Методологические проблемы стратегического планирования развития авиационной промышленности [Электронный ресурс] // *Электронный журнал «Труды МАИ»*, №53, 2012. – Режим доступа: <http://goo.gl/NbR90A> (11.09.2013)
58. Развитие авиационной промышленности России на 2013–2025 годы, Государственная программа, Министерство промышленности и торговли России, 2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/8TmAfY> (11.09.2013)
59. Новиков А.Н. Инструментарий управления финансированием производственной деятельности предприятий авиационной промышленности. Дис. ... канд. экон. наук. – М.: МАИ, 2008
60. Кобылко А.А. Согласование стратегических решений при формировании комплексной стратегии предприятия (на примере компаний сотовой связи): Дис. ... канд. экон. наук. – М.: ЦЭМИ РАН, 2011. – 158 с.
61. Salo A.A., Hämmäläinen R.P. On the Measurement of Preferences in the Analytic Hierarchy Process [Электронный ресурс] // *Journal of multi-criteria decision analysis*, Vol. 6, 1997. – p. 309–319. – Режим доступа: <http://goo.gl/bMzpi0> (26.08.2013)
62. Entani T. Interval AHP for a group decision makers [Электронный ресурс] // *Proceedings of the Joint 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society of Fuzzy Logic and Technology Conference*, Lisbon, Portugal, 20-24 Jul, 2009. – p. 155–160. – Режим доступа: <http://goo.gl/3vobs0> (30.08.2013)
63. Marr B., Schiuma G. Business performance measurement – past, present and

- future // Management Decision, Vol. 41, No. 8, 2003. – p. 680–687
64. Chandler A.D. Strategy and Structure: A Chapter in the History of Industrial Enterprises. Cambridge, Mass, MIT Press, 1962. – 480 p.
65. Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance [Электронный ресурс] // Harvard Business Review, Vol. 70, Jan–Feb, 1992. – p. 71–79. – Режим доступа: <http://goo.gl/sNBfB> (30.08.2013)
66. Kaplan R.S., Norton D.P. Putting the Balanced Scorecard to Work // Harvard Business Review, Sep–Oct, 1993. – p. 2–16
67. Kaplan R.S., Norton D.P. Linking the Balanced Scorecard to Strategy [Электронный ресурс] // California Management Review, Vol. 39, No. 1, 1996. – p. 53–79. – Режим доступа: <http://goo.gl/PwWHdz> (30.08.2013)
68. Kaplan R. S., Norton D.P. Translating Strategy into Action, HBS Press, USA, 1996
69. Lawrie G., Cobbold I. Development of the 3rd Generation Balanced Scorecard. Evolution of the Balanced Scorecard into an effective strategic performance management tool, White paper, 2GC Limited, 2004. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/wWraJf> (30.08.2013)
70. Каплан Р., Нортон Д. Стратегическое единство. Создание синергии организации с помощью сбалансированной системы показателей / Пер. с англ. О. Пелявского, А. Рыбьянец. – М.: Вильямс, 2006
71. Каплан Р., Нортон Д. Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты. – М.: ЗАО Олимп–Бизнес, 2007
72. Каплан Р., Нортон Д. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Пер. с англ. М. Павловой. – М.: Олимп–Бизнес, 2010
73. Каплан Р., Нортон Д. Организация, ориентированная на стратегию. Как в новой бизнес-среде преуспевают организации, применяющие сбалансированную систему показателей / Пер. с англ. М. Павловой. – М.: Олимп–Бизнес, 2010
74. Hsu C., Hu A.H., Chiou C., Chen T. Using the FDM and ANP to construct a sustainability balanced scorecard for the semiconductor industry // Expert Systems with Applications, Vol. 38, 2011. – p. 12891–12899

75. Citroen C.L. Strategic decision-making process: the role of information, PhD thesis, University of Twente, the Netherlands, 2009. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/TzP9Xv> (28.08.2013)
76. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. – 408 с.
77. The Mission Driven Strategy Map, White paper, Ascendant Strategy Management Group, 2008.
78. Marr B. How to Design a Strategy Map, White paper, Advanced Performance Institute, Jan, 2011. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/bzEjqD> (30.08.2013)
79. Scholey C. Strategy maps: a step-by-step guide to measuring, managing and communicating the plan // Journal of Business Strategy, Vol. 26, No. 3, 2005. – p. 12–19
80. Anagnostopoulos K.P. Strategic Plan in a Greek Manufacturing Company: A Balanced Scorecard and Strategy Map Implementation [Электронный ресурс] // International Journal of Business and Management, Vol. 5, No. 2, Feb, 2010. – p. 12–25. – Режим доступа: <http://goo.gl/dDmRnd> (30.08.2013)
81. Зятяжнова Н.М., Верещагина Л.В., Войчишина Н.И. Сбалансированная система показателей как инструмент управления стратегическим развитием бизнеса [Электронный ресурс] // Ползуновский вестник, №3, 2006. – с. 210–213. – Режим доступа: <http://goo.gl/I8Spj5> (30.08.2013)
82. Taghi Amini M., Khabbaz Babil S. Codification of the strategy map in small, auto-parts manufacturing companies (case study: Sahand Khordo Company of Tabriz) [Электронный ресурс] // International conference on management (ICM 2011) Proceeding, 2011. – p. 220–228. – Режим доступа: <http://goo.gl/wrb9gE> (30.08.2013)
83. Introduction to Strategy Maps. White paper, May, 2004. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/jMQokC> (30.08.2013)
84. Best Practice Strategy Maps, Palladium Group Inc., 2009. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/tFrMre> (26.08.2013)
85. Brown T., Bush P., Norberg L. Building Executive Alignment, Bui-In, and Fo-

- cus with the Balanced Scorecard SWOT [Электронный ресурс] // Harvard Business School Publishing Newsletters, 2001. – Режим доступа: <http://goo.gl/Bri5NK> (30.08.2013)
86. Lee S.F., Sai On Ko A. Building balanced scorecard with SWOT analysis, and implementing “Sun Tzu’s The Art of Business Management Strategies” on QFD methodology // *Managerial Auditing Journal*, Vol. 15, 2000. – p. 68–76
87. Hell M. Dinamicki aspekti metodike strateskog planiranja informacijskih sustava: doktorska disertacija, Varazdin, 2008. [на хорватском языке]
88. Учитель М.Ю., Учитель Ю.Г. SWOT-анализ и синтез – основа формирования стратегии организации. – М.: Либроком, 2010
89. Weihhich H. The TOWS matrix – A tool for situational analysis // *Long Range Planning*, Vol. 15, No. 2, 1982. – p. 54–66
90. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. Пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.: ил.
91. Pekka F. Work motivation through a balanced scorecard approach – motivational leadership for the 21st century, Otaniemi, 2010. – 32 p. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/eRjL3N> (11.09.2013)
92. Fu C., Yang S. The combination of dependence-based interval-valued evidential reasoning approach with balanced scorecard for performance assessment // *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 3, 2012. – p. 3717–3730
93. Patel B., Chausalet T.J., Millard P.H. Balancing the NHS balanced scorecard // *European Journal of Operational Research*, Vol. 185, 2008. – p. 905–914
94. Youngblood A.D., Collins T.R. Addressing balanced scorecard trade-off issues between performance metrics using multi-attribute utility theory // *Engineering Management Journal*, Vol. 15, No. 2, 2003. – p. 11–18
95. Fraser J. Beyond KPIs: impacting supply chain performance // *Manufacturing Business Technology*, May, 2005. – p. 34–35
96. Lange I., Schneider O., Schnetzler M., Jones L. Understanding the interdependences among performance indicators in the domain of industrial services [Электронный ресурс] // IFIP International Federation for Information Processing, Vol. 246, *Advances in Production Management Systems*, 2007. – p.

- 379–386. – Режим доступа: <http://goo.gl/MrwIfr> (30.08.2013)
97. Kwak N.K., Lee C. A multicriteria decision-making approach to university resource allocations and information infrastructure planning // *European Journal of Operational Research*, Vol. 110, 1998. – p. 234–242
98. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
99. Шелупанова П.А. Формирование системы ключевых показателей при планировании деятельности проектно-ориентированных предприятий приборостроения [Электронный ресурс] // *Электронный журнал «Управление экономическими системами»*, №35, 2011. – Режим доступа: <http://goo.gl/tx6u61> (11.09.2013)
100. Тарасова Е.В., Сапфиров А.О. Вопросы переоценки стоимости нематериальных активов авиационного предприятия // *Вестник Московского авиационного института*, Т. 17, №6, 2010
101. Самардак А.С. Корпоративные информационные системы. – Владивосток, 2003. – 262 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/T4EOGJ> (14.05.2013)
102. Hedelin L., Allwood C.M. IT and strategic decision making // *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 102, No. 2, 2002. – p. 125–139
103. Макаров С.В. Социально-экономические аспекты облачных вычислений // *Препринт #WP/2010/275*. – М.: ЦЭМИ РАН, 2010
104. Schlegel K., Sallam R.L., Austin T., Rozwell C. The Rise of Collaborative Decision Making, Gartner, 9 April 2009
105. Борщев А. Применение имитационного моделирования в России – состояние на 2007 г. // *Бизнес-информатика*, Т. 6, №4, 2008. – с. 64–68
106. Булышева Т.С., Милорадов К.А., Халиков М.А. Моделирование рыночной стратегии предприятия / Под общ. ред. Н.П. Тихомирова. – М.: Издательство «Экзамен», 2009. – 286 с.
107. Чеботарев П.Ю., Чуркин Э.П., Кузнецова Т.Ю., Шмерлинг Д.С. Применение экспертных оценок для задач стратегического планирования. – М.: МШЭ МГУ, 2008. – 36 с.

108. Azadeh A., Sharifi S., Saberi M. Design and Implementation of a Human Centered Expert System for Improvement of Strategic Planning in a Manufacturer of Construction Products [Электронный ресурс] // Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 3, No. 3, 2009. – p. 2447–2458. – Режим доступа: <http://goo.gl/TZkOPu> (14.05.2013)
109. Huang H. Designing a knowledge-based system for strategic planning: A balanced scorecard perspective // Expert Systems with Applications, Vol. 36, 2009. – p. 209–218
110. Subramoniam S., Krishnankutty K.V. An expert system for the selection of strategic planning technique // Kybernetes, Vol. 31, No. 3, 2002. – p. 550–560
111. Milett B., Togamau T., Rhodes D., Clarke J., Carswell S. SharePoint Portal as a Strategic Management and Planning Tool: University of Southern Queensland (USQ) as a case study [Электронный ресурс] // Refereed Proceedings of 2005 Forum of the Australian Association for Institutional Research, 2005. – p. 7–16. – Режим доступа: <http://goo.gl/hh6LD9> (14.05.2013)
112. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
113. Ершов Д.М., Качалов Р.М. Системы поддержки принятия решений в процедурах формирования комплексной стратегии предприятия [Электронный ресурс] // Препринт #WP/2013/299. – М.: ЦЭМИ АРН, 2013. – 60 с. – Режим доступа: <http://goo.gl/3IirRG> (14.05.2012)
114. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
115. Vose D. Risk Analysis: A Quantitative Guide, John Wiley & Sons, 2008. – 752 p.
116. Davis R. Teaching Project Simulation in Excel Using PERT-Beta Distributions [Электронный ресурс] // INFORMS Transactions on Education, Vol. 8, No. 3, May 2008. – p. 139–148. – Режим доступа: <http://goo.gl/VU6BNk> (28.08.2013)
117. Чернова Н.И. Теория вероятностей: Учеб. пособие / Новосиб. Гос. Ун-т. – Новосибирск, 2007. – 160 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/2RJRnV> (14.05.2013)

118. Lieb E., Loss M. Analysis (Graduate Studies in Mathematics), American Mathematical Society, 2001. – 346 p.
119. Martin D.H. On the continuity of the maximum in parametric linear programming // Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 17, No. 3, 1975. – p. 205–210
120. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
121. Birge J.R., Louveaux F. Introduction to Stochastic Programing. N.Y.: Springer. – 485 p.
122. Черненко В.Д. Высшая математика в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. В 3 т.: Т. 3. – СПб.: Политехника, 2003
123. Афонин В., Федосин С. Моделирование систем. Лекция 4: Выборочный метод Монте-Карло [Электронный ресурс] // Образовательный портал ИНТУИТ, 2010. – Режим доступа: <http://goo.gl/BCCVhZ> (28.08.2013)
124. Glover F. Improved linear integer programming formulations of nonlinear integer problems [Электронный ресурс] // Management Science, Vol. 22, No. 4, 1975. – p. 455–460. – Режим доступа: <http://goo.gl/NEVKt5> (30.08.2013)
125. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. Пособие. – 2-е изд., исправл. – М.: Высш. Шк., 2005. – 544 с.
126. Wilbaut C., Hanafi S. New convergent heuristics for 0-1 mixed integer programming // European Journal of Operation Research, Vol. 195, No. 1, 2009. – p. 62–74
127. Eckstein J., Nediak M. Pivot, Cut, and Dive: a heuristic for 0-1 mixed integer programming // Journal of Heuristics, Vol. 13, No. 5, 2007. – p. 471–503
128. Нефедов В.Н., Осипова В.А. Курс дискретной математики: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1992. – 264 с.
129. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009
130. Bratton D., Kennedy J. Defining a Standard for Particle Swarm Optimization [Электронный ресурс] // Proceedings of the 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium, SIS, 2007. – p. 120–127. – Режим доступа: <http://goo.gl/ZrFko7>

(02.09.2013)

131. Горячев Л.В. Выпуклые функции и их свойства. Учебно-методическое пособие по курсу «Методы Оптимизации». – Владивосток, 1996. – 10 с.
132. Дюков И.И. Стратегия развития бизнеса. Практический подход. – СПб.: Питер, 2008. – 236 с.
133. Омаэ К. Мышление стратега: Искусство бизнеса по-японски / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 215 с.
134. Takahama T., Sakai S. Constrained Optimization by Combining the α Constrained Method with Particle Swarm Optimization [Электронный ресурс] // Proc. of Joint 2nd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 5th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2004. – Режим доступа: <http://goo.gl/YIyfQl> (02.09.2013)
135. Kennedy J., Eberhart R.C. A discrete binary version of the particle swarm algorithm // Proceedings of the Congress of Evolutionary Computation, Piscataway, NJ, USA, 1999. – p. 1931–1938
136. Golenko-Ginzburg D.I. On the distribution of activity time in PERT // Journal of the Operations Research Society, № 39, 1988. – p. 767–771
137. Остервальдер А., Пинье И. Построение бизнес моделей. Настольная книга стратега и новатора. – М.: Альпина Паблишер, 2011
138. Ромашов А.В., Баранов В.В. Стратегии развития научно-производственных предприятий аэрокосмического комплекса. – М.: Альпина Паблишер, 2009. – 224 с.
139. Гершун А. Полный курс по сбалансированной системе показателей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://goo.gl/vekgwT> (01.06.2014)

Анти-приоритеты стратегических решений компании, проектирующей и
производящей легкую авиационную технику

| Подстратегия | Решение ^{а)} | Анти-приоритет |
|--|--|----------------|
| 1 Ценообразова- вания | 1.1 Облегченное проникновение | 1.00 |
| | 1.2 Гонка за лидером | 1.15 |
| | 1.3 Дифференциация по сегментам рынка | 1.35 |
| | 1.4 Снятие сливок | 1.63 |
| 2 Рыночной экспансии | 2.1 Расширение доли рынка | 1.00 |
| | 2.2 Сохранение доли рынка | 1.30 |
| | 2.3 Сокращение доли рынка | 7.14 |
| 3 Конкуренции | 3.1 Завоевание клиентов | 1.00 |
| | 3.2 Реклама товаров | 1.47 |
| | 3.3 Выстраивание отношений с конкурентами | 4.17 |
| 4 Количества товаров | 4.1 Полипродуктовое производство | 1.00 |
| | 4.2 Доминантно-продуктовое производство | 1.16 |
| | 4.3 Монопродуктовое производство | 6.25 |
| 5 Ассортимента | 5.1 Широкий | 1.00 |
| | 5.2 Средний | 1.22 |
| | 5.3 Узкий | 1.54 |
| 6 Качества товаров | 6.1 Лидирующее | 1.00 |
| | 6.2 Среднеотраслевое | 1.47 |
| | 6.3 Минимальное | 4.35 |
| 7 Масштабов производства | 7.1 Расширение клиентской базы | 1.00 |
| | 7.2 Повышение качества клиентской базы | 1.39 |
| | 7.3 Сохранение клиентской базы | 1.85 |
| | 7.4 Сужение клиентской базы | 14.3 |
| 8 Структуры рынка | 8.1 Полисегментный | 1.00 |
| | 8.2 Доминантно-сегментный | 1.22 |
| | 8.3 Моносегментный | 3.23 |
| 9 Качества ресурсов | 9.1 Лидирующее | 1.00 |
| | 9.2 Среднее | 1.43 |
| | 9.3 Минимальное | 6.25 |
| 10 Структуры поставщиков | 10.1 Полисегментная | 1.00 |
| | 10.2 Доминантно-сегментная | 1.18 |
| | 10.3 Моносегментная | 1.47 |
| 11 Технологиче- ского типа | 11.1 Технолого-маркетинговый | 1.00 |
| | 11.2 Технологический | 1.59 |
| | 11.3 Маркетинговый | 2.22 |
| | 11.4 Конъюнктурный | 16.7 |
| 12 Источников обновления технологии | 12.1 Собственные + заимствованные результаты НИОКР | 1.00 |
| | 12.2 Собственные результаты НИОКР | 1.28 |
| | 12.3 Заимствованные результаты НИОКР | 14.3 |
| 13 Масштаб интеграции | 13.1 На всех рынках | 1.00 |
| | 13.2 На некоторых рынках | 1.25 |
| | 13.3 Отсутствие интеграции | 10.0 |

^{а)} Решения, вошедшие в оптимальную стратегию, выделены серым.

Продолжение таблицы

| | | |
|--|---|------|
| 14 Вида интеграции | 14.1 Комбинированная | 1.00 |
| | 14.2 Вертикальная | 1.12 |
| | 14.3 Диагональная | 1.39 |
| | 14.4 Горизонтальная | 1.56 |
| 15 Сроков получения кредитов | 15.1 Смешанный тип получения | 1.00 |
| | 15.2 Постепенное получение | 1.33 |
| | 15.3 Концентрация получения | 1.47 |
| 16 Возврата средств | 16.1 Постепенный возврат | 1.00 |
| | 16.2 Концентрация возврата | 4.35 |
| 17 Инвестиро- вания средств | 17.1 Использование средств для собственного развития | 1.00 |
| | 17.2 Выбор типа портфеля ценных бумаг | 1.85 |
| | 17.3 Минимальное участие в спекуляциях | 3.12 |
| | 17.4 Активное участие в спекуляциях | 8.33 |
| 18 Консоли- дации предприятий | 18.1 Смешанный вариант | 1.00 |
| | 18.2 Создание консорциума | 1.32 |
| | 18.3 Самостоятельная реализация инвестиционных проектов | 1.39 |
| 19 Структуры источников | 19.1 Увеличение числа источников | 1.00 |
| | 19.2 Диверсификация источников | 1.19 |
| | 19.3 Уменьшение числа источников | 4.00 |

Ключевые показатели эффективности компании, проектирующей и производящей легкую авиационную технику ^{а)}

| № | Цель | Показатель | Измерение ^{б)} |
|----|---|--|-------------------------|
| 1 | Увеличить чистую прибыль | Размер чистой прибыли | руб. |
| 2 | Создать имидж компании-эксперта | Средняя оценка качества восприятия компании (определяется по анкете, заполняемой клиентами и партнерами) | балл |
| 3 | Увеличить количество контрактов с партнерами | Количество контрактов с КБ, заводами | шт. |
| 4 | Сократить издержки | Средняя себестоимость единицы техники | руб./шт. |
| 5 | Увеличить объемы собственного производства | Количество единиц техники | шт. |
| 6 | Увеличить прямые продажи | Объем прямых продаж | руб. |
| 7 | Сократить производственный цикл | Среднее время производства одной единицы техники | мес. |
| 8 | Реализовать неиспользуемые активы | Доля активов, не используемых компанией, в общем имуществе | % |
| 9 | Повысить энергоэффективность | Расход электроэнергии | кВт*ч |
| 10 | Восстановить законсервированные производственные мощности | Доля восстановленных производственных мощностей | % |
| 11 | Увеличить количество новых разработок | Количество полученных патентов | шт. |
| 12 | Развить систему аутсорсинга | Количество непрофильных видов деятельности, осуществляемых аутсорсерами | шт. |
| 13 | Привлечь инвестиции в собственное производство | Объем внешних инвестиций | руб. |
| 14 | Обеспечить поставки материалов и комплектующих | Доля материалов и комплектующих со стабильными поставками (задержка не более недели) | % |
| 15 | Наладить отношения с поставщиками | Среднее количество поставщиков, приходящееся на один материал/комплектующее | шт. |
| 16 | Повысить информированность студентов и сотрудников МАИ | Количество обращений в компанию по поводу трудоустройства/сотрудничества студентов и сотрудников МАИ | шт./мес. |
| 17 | Развить и оптимизировать портфель продуктов и услуг | Доля продуктов с высокой добавленной стоимостью в общем объеме реализации | % |

^{а)} В таблице должны присутствовать столбцы «As-Is» (действительное значение показателя) и «To-Be» (желаемое значение показателя), однако они исключены в целях сохранения коммерческой тайны.

^{б)} Все показатели измеряются ежегодно. Значения показателей, для которых указан меньший период измерения (например, «Количество обращений в компанию по поводу трудоустройства/сотрудничества студентов и сотрудников МАИ»), усредняются в пределах года.

Продолжение таблицы

| № | Цель | Показатель | Измерение |
|----|--|---|-----------|
| 18 | Повысить информированность потенциальных партнеров | Количество обращений в компанию по поводу сотрудничества | шт./мес. |
| 19 | Обеспечить удобство взаимодействия партнеров с компанией | Средняя оценка удобства взаимодействия с компанией (определяется по анкете, заполняемой партнерами) | балл |
| 20 | Улучшить понимание потребностей рынка | Адекватность портфеля продуктов и услуг потребностям клиентов (определяется посредством опроса) | балл |
| 21 | Повысить эффективность принятия решений | Доля своевременно и правильно принятых решений | % |
| 22 | Повысить квалификацию сотрудников | Доля сотрудников, прошедших аттестацию с первого раза | % |
| 23 | Повысить информатизацию | Средний уровень удовлетворенности пользователей ИТ-поддержкой | балл |
| 24 | Повысить привлекательность работы для выпускников МАИ | Количество выпускников МАИ, устроившихся на работу в компании | шт. |
| 25 | Развить лидерство | Процент лидеров на стратегических позициях | % |
| 26 | Снизить текучесть кадров | Коэффициент текучести кадров | % |

Анти-приоритеты стратегических решений телекоммуникационной компании

| <i>Подстратегия</i> | <i>Решение^{a)}</i> | <i>Анти-приоритет</i> |
|--|--|-----------------------|
| 1 Ценообразования | 1.1 Облегченное проникновение | 1.00 |
| | 1.2 Снятие сливок | 1.16 |
| | 1.3 Гонка за лидером | 1.20 |
| | 1.4 Дифференциация по сегментам рынка | 1.32 |
| 2 Рыночной экспансии | 2.1 Расширение доли | 1.00 |
| | 2.2 Сохранение доли | 4.00 |
| | 2.3 Сокращение доли | 14.3 |
| 3 Конкуренции | 3.1 Завоевание абонентов | 1.00 |
| | 3.2 Реклама услуг | 3.12 |
| | 3.3 Выстраивание отношений с конкурентами | 7.69 |
| 4 Количества услуг | 4.1 Все возможные | 1.00 |
| | 4.2 Несколько | 1.59 |
| | 4.3 Одна | 8.33 |
| 5 Ассортимента | 5.1 Широкий | 1.00 |
| | 5.2 Средний | 4.17 |
| | 5.3 Узкий | 11.1 |
| 6 Качества услуг | 6.1 Лидирующее | 1.00 |
| | 6.2 Среднеотраслевое | 2.17 |
| | 6.3 Минимальное | 12.5 |
| 7 Масштабов производства | 7.1 Повышение качества абонентской базы | 1.00 |
| | 7.2 Расширение абонентской базы | 1.52 |
| | 7.3 Сохранение абонентской базы | 5.88 |
| | 7.4 Сужение абонентской базы | 14.3 |
| 8 Структуры рынка | 8.1 Полисегментный | 1.00 |
| | 8.2 Доминантно-сегментный | 2.86 |
| | 8.3 Моносегментный | 10.0 |
| 9 Качества ресурсов | 9.1 Лидирующее | 1.00 |
| | 9.2 Среднее | 1.72 |
| | 9.3 Минимальное | 5.56 |
| 10 Структуры поставщиков | 10.1 Доминантно-сегментная | 1.00 |
| | 10.2 Полисегментная | 2.70 |
| | 10.3 Моносегментная | 5.88 |
| 11 Технологического типа | 11.1 Технологоло-маркетинговый | 1.00 |
| | 11.2 Технологический | 2.38 |
| | 11.3 Маркетинговый | 2.50 |
| | 11.4 Конъюнктурный | 10.0 |
| 12 Источников обновления технологии | 12.1 Собственные + заимствованные результаты НИОКР | 1.00 |
| | 12.2 Заимствованные результаты НИОКР | 2.13 |
| | 12.3 Собственные результаты НИОКР | 4.55 |
| 13 Масштабов интеграции | 13.1 На всех рынках | 1.00 |
| | 13.2 На некоторых рынках | 1.25 |
| | 13.3 Избирательная интеграция | 5.00 |

^{a)} Решения, вошедшие в оптимальную стратегию, выделены серым.

Продолжение таблицы

| | | |
|--|---|------|
| 14 Вида интеграции | 14.1 Комбинированная | 1.00 |
| | 14.2 Горизонтальная | 2.63 |
| | 14.3 Диагональная | 2.63 |
| | 14.4 Вертикальная | 3.12 |
| 15 Сроков получения кредитов | 15.1 Смешанный тип получения | 1.00 |
| | 15.2 Постепенное получение | 2.27 |
| | 15.3 Концентрация получения | 5.00 |
| 16 Возврата средств | 16.1 Постепенный возврат | 1.00 |
| | 16.2 Концентрация возврата | 5.00 |
| 17 Инвестиро- вания средств | 17.1 Использование средств для собственного развития | 1.00 |
| | 17.2 Выбор типа портфеля ценных бумаг | 3.57 |
| | 17.3 Минимальное участие в спекуляциях | 5.00 |
| | 17.4 Активное участие в спекуляциях | 12.5 |
| 18 Консоли- дации предприятий | 18.1 Смешанный вариант | 1.00 |
| | 18.2 Создание консорциума | 2.44 |
| | 18.3 Самостоятельная реализация инвестиционных проектов | 6.25 |
| 19 Структуры источников | 19.1 Диверсификация источников | 1.00 |
| | 19.2 Уменьшение числа источников | 1.00 |
| | 19.3 Увеличение числа источников | 2.00 |

Ключевые показатели эффективности факультета университета ^{a)}

| № | Цель | Показатель | Измерение ^{b)} |
|----|--|--|-------------------------|
| 1 | Повысить международный авторитет | Общее количество международных сертификатов | шт. |
| 2 | Увеличить эффективность НИР | Среднее количество публикаций на одного преподавателя | шт. |
| 3 | Увеличить стоимость коммерческих проектов | Выручка от коммерческих проектов | куна |
| 4 | Повысить эффективность обучения | Стоимость обучения одного студента | куна |
| 5 | Повысить результативность обучения | Среднее время поиска работы выпускником | мес. |
| 6 | Распространить опыт на другие факультеты | Количество договоров с другими факультетами | шт. |
| 7 | Расширить возможности коммерциализации электронного обучения | Выручка от электронного обучения | куна |
| 8 | Повысить готовность к внедрению электронного обучения | Доля электронных курсов в общем объеме курсов | % |
| 9 | Улучшить отношение студентов к электронному обучению | Время, которое студенты проводят, работая с электронными материалами | час |
| 10 | Повысить безопасность ИС/ИТ | Общее количество стандартизированных процедур | шт. |
| 11 | Снизить лекционную нагрузку преподавателей | Количество часов лекционной нагрузки | час. |
| 12 | Снизить нагрузку по принятию экзаменов | Среднее количество попыток сдачи экзамена одним студентом | шт. |
| 13 | Повысить квалификацию преподавателей | Доля преподавателей, прошедших курсы повышения квалификации | % |
| 14 | Повысить готовность к внедрению гибридного обучения | Доля гибридных курсов в общем объеме курсов | % |
| 15 | Улучшить систему контроля успеваемости | Количество тестирующих материалов | шт. |
| 16 | Увеличить количество электронных обучающих материалов | Количество электронных обучающих материалов | шт. |
| 17 | Увеличить количество электронных тестирующих материалов | Количество электронных тестирующих материалов | шт. |
| 18 | Повысить качество ИТ-поддержки обучения/преподавания | Средний уровень удовлетворенности пользователей ИТ-поддержкой | балл |

^{a)} В таблице должны присутствовать столбцы «As-Is» (действительное значение показателя) и «To-Be» (желаемое значение показателя), однако они исключены в целях сохранения коммерческой тайны.

^{b)} Все показатели измеряются ежегодно.

Продолжение таблицы

| № | Цель | Показатель | Измерение ^{б)} |
|----|--|--|-------------------------|
| 19 | Повысить вовлеченность студентов в реализацию ИТ-стратегии | Доля студентов, участвующих в реализацию ИТ-стратегии | % |
| 20 | Повысить уровень владения ИТ, необходимыми для внедрения электронного обучения | Доля преподавателей, владеющих инструментами, необходимыми для внедрения электронного обучения | % |
| 21 | Повысить вовлеченность молодых преподавателей в реализацию ИТ-стратегии | Доля молодых преподавателей, участвующих в реализации ИТ-стратегии | % |
| 22 | Повысить мотивацию сотрудников к реализации ИТ-стратегии | Доля процедур, охватываемых мотивирующими процедурами | % |
| 23 | Повысить квалификацию сотрудников ИТ-отдела | Число жалоб на ИТ-отдел | шт. |

Список ключевых показателей эффективности компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики ^{а)}

| № | Цель | Показатель | Измерение ^{б)} |
|----|--|---|-------------------------|
| 1 | Увеличить чистую прибыль | Размер чистой прибыли | руб. |
| 2 | Повысить общее качество управления | Доля своевременно и правильно принятых решений | % |
| 3 | Обеспечить диверсифицированное предложение | Возможность производства заданного объема <i>каждого</i> вида продукции | шт. |
| 4 | Сократить издержки | Средняя себестоимость единицы техники | руб./шт. |
| 5 | Увеличить продажи | Объем продаж | руб. |
| 6 | Снизить затраты на сборочные узлы | Средние затраты на сборочные узлы, необходимые для производства одной единицы техники | руб./шт. |
| 7 | Снизить затраты на простои | Затраты, связанные с простоями | руб. |
| 8 | Повысить энергоэффективность | Среднее количество электроэнергии, потраченное на производство одной единицы техники | кВт*ч/шт. |
| 9 | Повысить удовлетворенность существующих клиентов | Средняя оценка удовлетворенности клиентов (определяется посредством анализа анкет, заполняемых клиентами) | балл |
| 10 | Повысить ценность предложения для потенциальных клиентов | Доля реализованных пожеланий клиентов | % |
| 11 | Повысить активность на иностранном рынке | Количество установок, поставленных за рубеж | шт. |
| 12 | Повысить информированность потенциальных клиентов о предложении компании | Количество обращений от новых клиентов | шт./мес. |
| 13 | Обеспечить наличие компетентных сотрудников на стратегических должностях | Средний уровень компетентности директоров департаментов (определяется посредством аттестации) | балл |
| 14 | Создать имидж компании-эксперта | Средняя оценка качества восприятия компании (определяется по анкете, заполняемой клиентами и партнерами) | балл |

^{а)} В таблице должны присутствовать столбцы «As-Is» (действительное значение показателя) и «To-Be» (желаемое значение показателя), однако они исключены в целях сохранения коммерческой тайны.

^{б)} Все показатели измеряются ежегодно. Значения показателей, для которых указан меньший период измерения (например, «Количество обращений от новых клиентов»), усредняются в пределах года.

Продолжение таблицы

| № | Цель | Показатель | Измерение |
|----|--|---|-----------|
| 15 | Снизить время исполнения заказа | Среднее время производства одной единицы техники | мес./шт. |
| 16 | Повысить эффективность управления ресурсами | Время простоя из-за ошибок ресурсного планирования | мес. |
| 17 | Снизить количество брака | Доля бракованных изделий в общем годовом объеме продукции | шт. |
| 18 | Обеспечить удобство взаимодействия с компаний | Средняя оценка удобства взаимодействия с компанией (определяется по анкете, заполняемой клиентами и партнерами) | балл |
| 19 | Уменьшить текучесть кадров | Коэффициент текучести кадров | % |
| 20 | Повысить привлекательность предприятия как места работы | Доля реализованных пожеланий сотрудников (кандидатов) | % |
| 21 | Повысить уровень обученности сотрудников | Доля сотрудников, прошедших аттестацию с первого раза | % |
| 22 | Повысить эффективность сбытовой логистики | Доля заказов, доставленных в срок | % |
| 23 | Обеспечить своевременное привлечение финансовых ресурсов | Время простоя из-за несвоевременного финансирования | мес. |

Матрица бизнес-модели компании, выпускающей оборудование для производства элементной базы авионики

