STRATEGIES OPTIMIZER

**Программно-вычислительный комплекс для оптимизации конкурентной стратегии организации**

Версия 1.2.

(Modified 21 September 2014)

Москва

2014

Содержание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. ВВЕДЕНИЕ……………………………………………………………………………………………………………..... | | 3 |
|  | * 1. ЦЕЛЬ ДОКУМЕНТА………………………………………………………………………………………………. | 3 |
|  | * 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ………………………………………………………………………………………… | 3 |
|  | * 1. ОБЗОР РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ………………………………………………………………………………………………... | 4 |
| 2. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА………………………………………………….…….. | | 8 |
|  | 2.1. АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ СТРАТЕГИИ ОРГАНИЗАЦИИ…………………………. | 8 |
|  | 2.2. АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ОРГАНИЗАЦИИ……………………………………... | 10 |
| 3. ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА………………………………………………………………………. | | 14 |
|  | 3.1. ВЫСОКОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА (HIGH LEVEL ARCHITECTURE)…………………………………………….. | 14 |
|  | 3.2. МОДУЛЬНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ (SUBSYSTEM DECOMPOSITION)…………………………………………………... | 15 |
|  | 3.3. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ, РЕАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМЕ…………………………..……………………. | 15 |
| 4. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСА…………………………………...... | | 19 |
|  | 4.1. ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (USE CASES)……………………………………………………………………………. | 19 |
|  | 4.1. ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ И ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ОРГАНИЗАЦИИ…………………………………………. | 23 |
|  | 4.2. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ…………………………………………………………………………... | 26 |
| 5. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ…………………………………................................................. | | 30 |

# Введение

## Цель документа

Документ описывает архитектурные и алгоритмические решения, принятые при разработке программно-вычислительного комплекса (ПВК) Strategies Optimizer.

Данный ПВК предназначен для выбора оптимальной комплексной стратегии организации, а также оптимизации распределения ресурсов организации при реализации стратегических действий с целью достижения её основных целей за определенный заранее период планирования.

## Определения и сокращения

Этот раздел содержит список терминов и сокращений, используемых в документе, с их кратким описанием.

**БД** (База данных) – представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов (статей, расчётов, нормативных актов, судебных решений и иных подобных материалов), систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью компьютера.

**ЗЛП** – задача линейного программирования.

**Комплексная стратегия организации** – множество согласованных решений, оказывающих определяющее воздействие на деятельность организации и влекущих долгосрочные последствия.

**ЛПР** (Лицо, принимающее решения) – субъект решения (менеджер), наделенный определенными полномочиями и несущий ответственность за последствия принятого и реализованного управленческого решения.

**МАИ** (Метод анализа иерархий, англ. Analytic Hierarchy Process, AHP) – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений, предложенный Т. Саати. Анализ проблем принятия решений в МАИ состоит из нескольких этапов. На первом этапе строится иерархическая структура, включающая цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы. На втором этапе с помощью процедуры парных сравнений определяются приоритеты, представляющие относительную важность элементов построенной иерархической системы. На третьем этапе выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате чего вычисляются приоритеты альтернативных решений относительно главной цели.

**МСР** – модель стратегии развития.

**Парето-недоминируемый вектор** – вектор, для которого не существует другого вектора *не худшего* по всем рассматриваемым критериям и *лучшего* хотя-бы по одному критерию.

**Смешанная задача линейного программирования** – задача линейного программирования, содержащая как дискретные, так и непрерывные переменные.

**Стратегия развития организации** – система взаимосвязанных целей и действий, направленных на достижение желаемого состояния организации.

**GUI** –графический интерфейс пользователя.

**PSO** (англ. Particle Swarm Optimization, метод «частиц в стае») – метаэвристический численный метод оптимизации, имитирующей поведение группы животных при поиске пищи.

**SWOT-анализ** (от англ. Strength, Weakness, Opportunities, Threats – силы, слабости, возможности, угрозы) ***–*** [метод](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4" \o "Метод) стратегического анализа, используемый для оценки факторов, влияющих на организацию. SWOT-анализ предполагает сначала выявление сильных и слабых сторон организации, а также угроз и возможностей, а далее – установление цепочек связей между ними, которые в дальнейшем могут быть использованы для формулирования стратегии.

**TOWS-синтез** – техника стратегического менеджмента, которая служит для определения стратегических действий, направленных на достижение желаемого состояния организации. TOWS-синтез заключается в комбинировании SWOT-элементов.

**UML** – язык визуального моделирования, который разработан для спецификации, визуализации, проектирования и документирования компонентов программного обеспечения, бизнес-процессов и других систем.

## Обзор решаемых задач

Strategies Optimizer – программно-вычислительный комплекс, автоматизирующий работу специалистов и ЛПР при стратегическом управлении организацией. ПВК позволяет решить две основные задачи: 1) выбрать оптимальную комплексную стратегию организации, 2) оптимизировать распределение ресурсов организации при выполнении стратегических действий, а также прогнозировать уровни достижения стратегических целей.

1. **Выбор оптимальной комплексной стратегии организации.**

*Комплексная стратегия организации* представляет собой согласованную совокупность решений, оказывающих определяющее воздействие на экономическую деятельность организации и влекущих среднесрочные и/или долгосрочные последствия в условиях рыночной конкуренции [1]. Пусть комплексная стратегия охватывает подстратегий. В рамках *i*-й подстратегии выделяется альтернативных стратегических решений Введенная таким образом стратегическая иерархия представлена на рис. 1.



*Рис. 1. Стратегическая иерархия*

Кортеж называется *комплексной стратегией* организации.

Задача выбора оптимальной комплексной стратегии ставится следующим образом. Пусть каждое решение может быть оценено экспертами по ряду частных критериев ( где *t* – количество критериев) независимо от других решений. C использованием метода анализа иерархий (МАИ) решениям присваиваются приоритеты где – вес *q*-го частного критерия относительно *i*-й подстратегии; – оценка решения по *q*-му частному критерию [2]. Веса и оценки получаются с использованием процедуры парных сравнений МАИ. Без ограничения общности далее считаем, что для любого индекса выполняется условие: если , то

Обозначим множество всех возможных решений Пусть – множество сочетаний решений, присутствие которых в выбираемой стратегии по мнению ЛПР нежелательно ( – множество подмножеств , – мощность множества). Требовать от ЛПР прямого указания всех элементов множества 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 предъявив ЛПР конкретную стратегию и предложив указать нежелательные сочетания решений, которые принадлежат данной стратегии.

Определим вектор-функцию где функция а – антиприоритет решения , который показывает, во сколько раз решение хуже наилучшего решения в *i*-й подстратегии. Первый компонент вектор-функции равен количеству нежелательных сочетаний решений, принадлежащих , а второй компонент – максимальному среди антиприоритетов формирующих решений. Стратегия тем лучше, чем меньшие значения принимают компоненты критерия .

Обозначим векторную оценку, которую ЛПР выделит как наиболее предпочтительную при предъявлении ему множества оценок стратегий, Парето-недоминируемых при минимизации на множестве . Стратегию , на которой реализуется оценка назовем *оптимальной*.

Задача выбора комплексной стратегии состоит в том, чтобы выбрать из множества оптимальную стратегию при условии, что взаимодействие с ЛПР ограничено двумя возможными действиями:

1. предложить ЛПР оценить согласованность стратегии , указав элементы множества
2. предложить ЛПР выбрать наиболее предпочтительный вектор среди заданного множества векторов как множества оценок стратегий по критерию
3. **Оптимизация распределения ресурсов и прогнозирование уровней достижения стратегических целей организации.**

После того, как выбрана комплексная стратегия организации, выбираются конкретные цели и действия, ведущие к достижению желаемого состояния организации. *Цель* представляет собой измеримый желаемый результат деятельности организации. Измеримость цели предполагает, что ей в соответствие поставлен количественный показатель. Определим вектор уровней достижения целей(*n* – количество целей организации)как вектор, компоненты которого вычисляются по формуле:

где – текущее значение соответствующего *j*-й цели показателя; – фактическое значение показателя, в момент времени *T*,равный периоду планирования; – желаемое значение показателя. В текущий момент времени значения не известны, поэтому возникаетзадача прогнозирования уровней достижения целей. Решить эту задачу позволяет модель стратегии развития (МСР). Вначале рассмотрим ее детерминированный вариант.

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

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

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

Карта стратегии должна удовлетворять следующим условиям:

1. если вершина то существует дуга ;
2. если вершина , то не существует дуги ;
3. если вершина , то существует дуга .



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

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

где ; – множество индексов целей, подчиненных *j*-й цели; ; – локальный номер *i*-й цели относительно *j*-й цели.

Для достижения поставленных целей выделяется *s* видов ресурсов, и вектор показывает их доступные объемы. МСР предполагает, что:

1. каждой ПЦ соответствует свое единственное действие, исполнение которого направлено на достижение данной цели;
2. определено множество оценок затрат где показывает, какое количество *i*-го вида ресурса необходимо вложить в исполнение действия, соответствующего *j*-й цели, чтобы уровень достижения этой цели мог стать равным 100%;

*Распределение ресурсов* между стратегическими действиями задается матрицей , элемент которой показывает долю *i*‑го ресурса, вкладываемую в исполнение действия, соответствующей *j*-й цели; элемент показывает неизрасходованную долю *i*-го ресурса; элемент , если .

Множество допустимых распределений ресурсов представляет собой множество матриц размерности  
 , удовлетворяющих условиям:

(1)

При заданном распределении ресурсов МСР позволяет получить прогнозы уровней достижения всех целей организации, кроме внешних, – для них прогнозируемые уровни достижения задаются экзогенно.

*Стратегией развития организации* назовем тройку Затраты коэффициенты причинно-следственных связей и уровни достижения внешних целей будем называть *параметрами* МСР.

*Прогнозируемый* *уровень достижения j-й цели* при заданной стратегии , векторе доступных объемов ресурсов и их распределении равен оптимальному значению в задаче при ограничениях:

(2)

*Прогнозируемый* *результат исполнения стратегии* при заданных и вычисляется как показатель

(3)

где – вектор весовых коэффициентов основных целей , – прогнозируемый уровень достижения *j*-й цели.

Распределение ресурсов считается *оптимальным*, если при данном распределении достигается максимальный прогнозируемый результат исполнения стратегии. Найти можно, решив задачу при ограничениях (1), (2).

Далее рассмотрим *стохастическую* и *интервальную* модели стратегии развития и поставим задачи оптимального распределения ресурсов организации в рамках данных моделей

Пусть параметры МСР оцениваются экспертно. Каждый эксперт напрямую оценивает минимальное, наиболее вероятное и максимальное значения параметров и в результате чего получаем множества трехточечных оценок и , , где *e* – общее количество экспертов. Двухточечные оценки коэффициентов причинно-следственных связей получаются при помощи интервального метода анализа иерархий со сбалансированной шкалой. Принимаем, что значения параметров МСР – это случайные величины, имеющие плотности распределения:

где – коэффициент компетентности *q*-го эксперта (), – плотность вероятности равномерного распределения точки на поверхности многоугольника   
 – плотность PERT-бета распределения величины на отрезке мода которого равняется ; – плотность PERT-бета распределения величины на отрезке , мода которого равняется . В данных условиях карта стратегии а собственно стратегия развития организации представляет собой тройку

Задача оптимизации распределения ресурсов в рамках построенной *стохастической модели стратегии развития* формулируется следующим образом: найти распределение ресурсов , где – оператор математического ожидания; – множество допустимых распределений ресурсов, задаваемое ограничениями (2); – прогнозируемый результат исполнения стратегии.

Далее рассмотрим *интервальную модель стратегии развития* организации. В отличие от стохастической МСР предположение о случайности параметров модели в ней заменено предположением об их неопределенности. Обозначим Аналогично введем обозначения для и . Считается, что допустимы следующие значения параметров модели:

Обозначим – вектор параметров модели, где – вектор затрат, – вектор прогнозируемых уровней достижения внешних целей, – вектор коэффициентов причинно-следственных связей; тогда множеством допустимых значений вектора является прямое произведение   
 Определим *гарантированный* и *оптимистичный* результаты исполнения стратегии как и соответственно.

Задача оптимизации распределения ресурсов в рамках интервальной МСР поставлена следующим образом: найти распределение ресурсов максимизирующее критерий Гурвица

На рис. 3 показаны основные роли пользователей системы Strategies Optimizer и возможности, предоставляемый системой каждой группе пользователей:

**ЛПР (менеджер)** назначает критерии оценки стратегических решений, выбирает наилучшее распределение ресурсов из распределений, являющихся решением поставленных задач оптимизации, и совершает другие действия.

**Владелец бизнеса** утверждает базовые компоненты стратегии организации (миссию и желаемое состояние – видение), а также получает отчеты по итоговым результатам оптимизации.

**Эксперт** оценивает стратегические решений по заданным критериям, а также участвует в оценивании параметров МСР.

**Администратор системы** поддерживает работоспособность ПВК, осуществляя администрирование БД, сбор статистики по использованию различных компонент системы, регистрацию замечаний и предложений от конечных пользователей.

**Аналитик** запускает выполнение различных расчетов (например, вычисление оптимального распределения ресурсов) и анализирует полученные результаты; он также помогает ЛПР и экспертам при работе с системой.



*Рис. 3. Основные роли пользователей системы Strategies Optimizer*

Более подробно функциональные возможности системы для каждой из ролей описаны в разделе 4.1.

# Алгоритмическое обеспечение программного комплекса Strategies Optimizer

## Алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии организации

Блок-схема алгоритма выбора комплексной стратегии представлена на рис. 4. Здесь *k* – счетчик итераций; – множество нежелательных сочетаний решений, информация о которых получена у ЛПР к *k-*й итерации; – мощность множества .



*Рис. 4. Блок-схема алгоритма выбора оптимальной комплексной стратегии*

Ниже представлено текстовое описание алгоритма.

**Алгоритм 1.** Выбор оптимальной комплексной стратегии организации

**Вход:**  – множества альтернативных решений; – антиприоритеты решений

**Выход:**  – оптимальная комплексная стратегия

**ШАГ 1.** Присвоить .

**ШАГ 2.** Использовать алгоритм 2 дляпостроения множества стратегий такого, что где – множество векторных оценок стратегий ; – множество Парето-недоминируемых на стратегий при минимизации .

**ШАГ 3.** Предъявить ЛПР множество векторных оценок соответствующих полученным стратегиям. После того, как ЛПР была указана наиболее предпочтительная оценка , предъявить ему стратегию , на которой получена данная оценка (если таких стратегий несколько, то предъявить ЛПР любую из них).

**ШАГ 4.** Предложить ЛПР выделить в стратегии новые нежелательные сочетания решений являющиеся подмножествами (слово «новые» здесь означает, что ). ЕСЛИ новых нежелательных сочетаний не выделено, ТО {присвоить завершить исполнение алгоритма}, ИНАЧЕ {присвоить перейти к шагу 2}.

Построение множества стратегий связано с необходимостью перебора стратегий с целью анализа их Парето-оптимальности. Предлагается следующий алгоритм построения множества стратегий (метод ветвей и границ).

**Алгоритм 2.** Построение множества стратегий такого, что где – множество стратегий, Парето-недоминируемых на при минимизации

**Вход:**  – множества альтернативных решений; – антиприоритеты решений; – множество известных нежелательных сочетаний решений; – множество стратегий, полученное на предыдущей итерации алгоритма 1 ()

**Выход:**  – требуемое множество стратегий

**ШАГ 1.**Принять множество ДЛЯ КАЖДОЙ стратегии осуществить попытку включения в множество , выполнив Процедуру 1.

**ШАГ 2.** Присвоить

ДЛЯ КАЖДОГО : {

присвоить

ЕСЛИ , ТО присвоить };

инициализировать дерево метода ветвей и границ, добавив в него корневую вершину с потомками …,

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

**ШАГ 4.** Построить кортеж из решений, соответствующих вершинам дерева, через которые проходит путь от корня до включительно;

ЕСЛИ , ТО {

осуществить попытку включения в множество , выполнив Процедуру 1}.

ИНАЧЕ {

ЕСЛИ не существует стратегии такой, что , ТО к вершине добавить потомков };

перейти к шагу 3.

**Процедура 1.** Попытка включения стратегии в множество

ЕСЛИ не существует стратегии такой, что , ТО {

ДЛЯ КАЖДОЙ стратегии {

ЕСЛИ , ТО исключить стратегию из множества };

включить стратегию в множество }.

Блок-схема алгоритма 2 представлена на рис. 5.



*Рис. 5. Блок-схема алгоритма построения множества стратегий*

Блок-схема процедуры включения стратегии в множество приведена на рис. 6.



*Рис. 6. Блок-схема Процедуры 1*

## Алгоритмы оптимизации распределения ресурсов организации

Задача вычисления распределения ресурсов, максимизирующего математическое ожидание результата исполнения стратегии, представляет собой двухэтапную задачу стохастического программирования. Распределение ресурсов можно вычислить с помощью метода Монте-Карло [3, с. 390]. Согласно данному методу приближается решением задачи линейного программирования при множестве ограничений (1), (4), где ограничения (4) имеют вид:

(4)

Здесь , – *q-*я реализация соответствующего параметра модели, – число реализаций, достаточное для достижения заданной точности при фиксированном уровне доверия .

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

где – допустимое отклонение среднего арифметического от истинного значения математического ожидания; – стандартное отклонение; – величина, определяемая по специальным таблицам (см., например, [4, с. 469]), , которая зависит от уровня доверия, показывающего, с какой вероятностью гарантируется, что математическое ожидание случайной величины отклонится от среднего выборочного не более чем на. При достаточно большом числе испытаний () данная формула может использоваться и для случайной величины, распределенной по закону, отличному от нормального [5].

После того как оптимальное распределение ресурсов найдено, может быть применен алгоритм вычисления остатков ресурсов описанный в конце данного раздела.

Задача вычисления распределения ресурсов, максимизирующего критерий Гурвица, сводится к смешанной ЗЛП. Очевидно, что она эквивалентна задаче при ограничениях (1), (5), где ограничения (5) имеют вид:

(5)

Здесь– множество вершин многоугольникаЭта задача, в свою очередь, сводится к смешанной ЗЛП с применением предложенной в работе [6] замены произведений переменных , где:

Для построения множества вершин многоугольника предлагается использовать следующий алгоритм.

**Алгоритм 4.** Построение множества вершин многоугольника

**Вход:**– многоугольник

**Выход:**  – множество вершин

**ШАГ 1.** Построить множество точек

**ШАГ 2.** Для каждого индекса построить множество точек

**ШАГ 3.** Построить требуемое множество .

Полученная смешанная ЗЛП может быть решена методом ветвей и границ или каким-либо методом, специально приспособленным для решения задач данного класса. В случае если точное решение задачи не удается получить стандартными методами за приемлемое время, предлагается использовать алгоритм, построенный на базе классического *метода «частиц в стае»* (англ. Particle Swarm Optimization, PSO, см., например, [7]). Рассмотрим данный алгоритм подробно.

Пусть цели карты стратегии перенумерованы так, что выполняется *условие поуровневой нумерации*: если индекс , то не существует пути из *i*-й вершины карты стратегии в *j*-ю*.*

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

**Выход:** поуровневая нумерация целей

**ШАГ 1.** Принять .

**ШАГ 2.** ЕСЛИсуществует 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. Перейти к Шагу 2.

**ШАГ 4.** ЕСЛИ множество вершин графа не пусто, ТО удалить из графа 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 при фиксированной стратегии , реализациях значений параметров модели и векторе гарантированный и оптимистичный уровни достижения каждой цели можно вычислить, используя формулы:

(6)

(7)

Вычисление ведется в порядке возрастания индекса *j.* Неопределенность , которая может возникнуть в члене  
 считается равной . Если какое либо значение во внешней функции не определено, то содержащий его член исключается из рассмотрения. Например, если *j*-я цель – промежуточная, и ей не подчинено ни одной цели, то выражение (6) следует читать как .

Критерий можно вычислить, подставив уровни достижения целей в формулу

, (8)

где – множество индексов основных целей, полученных после перенумерации с использованием алгоритма 5.

Таким образом, известно как получить значение целевой функции при заданном аргументе и, чтобы решить задачу оптимизации , можно использовать какой-либо метод оптимизации нулевого порядка. Предлагается использовать классический метод «частиц в стае» с кольцевой топологией связей частиц.

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 частиц максимизирует заданную целевую функцию . В *t*-й момент времени (, где *T* – продолжительность «полета» частиц) *i*-я частица () занимает позицию . Частица «помнит» лучшее значение целевой функции , которе она смогла достичь до текущего момента времени *t*, а также позицию , в которой оно достигается:

Кроме того каждая частица «помнит» лучшее значение целевой функции среди тех, которого до текущего момента времени смогла достичь она и ее ближайшие соседи , и положение , на котором оно было достигнуто[[1]](#footnote-1):

Каждая частица передвигается согласно своему вектору скорости. В *t*-й момент времени скорость *i*-й частицы меняется на скорость :

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

Новая позиция частицы вычисляется по формуле:

Пусть частицы и их скорости представлены матрицами Будем считать, что ресурсы распределяются между действиями без остатков, и доля *i*-го ресурса, направляемая на достижение *j*-й цели,

(9)

Если *j*-я цель не требует для своего достижения расходования *i*-го вида ресурса (то есть ), то при инициализации частиц принимается . Если на какой либо итерации алгоритма , то принимается, что . Предложенный подход обеспечивает удовлетворение линейных ограничений (), что позволяет использовать классический метод частиц в стае, подразумевающий наличие ограничений лишь в форме отрезков.

Значение целевой функции для заданной частицы вычисляется следующим образом. Вначале по формуле (9) вычисляется распределение ресурсов . При распределении ресурсов c использованием формул (6)–(8) вычисляется значение

Cи-подобный псевдокод численного метода оптимизации распределения ресурсовпредставлен ниже.

**Алгоритм 6.** Вычисление распределения ресурсов, максимизирующего критерий Гурвица

**Вход:** стратегия развития ; вектор объемов ресурсов ; вектор весовых коэффициентов основных целей ; – параметр критерия Гурвица

**Выход:** оптимальное распределение ресурсов

Initialize

for () {

for (each particle *i* in ) {

if {

if

if

if

}

}

}

for () {

for () {

}

}

return

В приведенном алгоритме функция служит для инициализации популяции частиц и их скоростей. Элементы матриц, соответствующих частицам, генерируются как реализации случайной величины, равномерно распределенной на отрезке (если , то ); начальные скорости, – как реализации случайной величины, равномерно распределенной на отрезке (если , то ). Функция служит для того, чтобы скорректировать компоненты матрицы *Y*: если , то .

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 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 ; вектор объемов ресурсов ; вектор весовых коэффициентов основных целей наилучшеераспределение ресурсов

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

for () {

for () {

while () {

if (() or () or ()) {; break};

}

}

}

return

После того как получено распределение ресурсов с использованием формул (6) и (7) вычисляются гарантированные и оптимистичные уровни достижения стратегических целей. Метод Монте-Карло позволяет вычислить математическое ожидание, медиану, первый и третий квартили уровня достижения каждой цели.

# Внутренняя структура приложения

## Высокоуровневая архитектура (High Level Architecture)

Высокоуровневая архитектура системы Strategies Optimizer представлена на рис. 7.



*Рис. 7. Высокоуровневая архитектура программного комплекса Strategies Optimizer*

Пользователь имеет возможность работы с системой, располагая лишь web-браузером (MS Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera). Для реализации интерфейса пользователя используется технология Microsoft Silverlight 5.0 (на клиенте должна быть установлена соответствующая браузерная надстройка), предназначенная для представления «богатых» пользовательских интерфейсов в окне web-браузера. В основе данной технологии лежит язык разметки XAML.

Клиентская часть «общается» с серверной посредством технологии вызова удаленных процедур (Remote Procedure Call, RPC), базирующейся на протоколе обмена структурированными сообщениями SOAP (Simple Object Access Protocol). В основе протокола SOAP лежит язык разметки XML. Для обеспечения безопасности при передаче данных используется расширение протокола http – https с поддержкой шифрования (протокол шифрования ssl).

Для реализации серверной логики используется технология создания web-сервисов Windows Communication Foundation (WCF). В качестве хоста для Silverlight приложения выступает сайт ASP. NET.

Пользовательские данные сохраняются в реляционной БД, а также в excel-файлах. В качестве СУБД используется MS SQL Server 2014 (технология доступа к данным ADO .NET). Excel-файлы сохраняются в файловом хранилище.

В качестве web-сервера для обслуживания клиентских запросов используется Microsoft Internet Information Services 7.5 (платформа Windows Azure).

Логика клиентской и серверной частей реализуется на языке программирования C# (Microsoft .NET Framework 4.5).

## Модульная декомпозиция (Subsystem Decomposition)

Структура комплекса программ Strategies Optimizer представлена на рис. 8.



*Рис. 8. Структура разработанного комплекса программ*

В комплекс входят 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.

Функциональное назначение каждой из подсистем описано в следующем разделе.

## Описание основных методов, реализованных в системе

В данном разделе приведено описание основных методов, реализованных в коде демо-прототипа системы.

Таблица 1.

Методы, реализованные в подсистеме общего стратегического анализа

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | | Сигнатура метода | Описание метода |
| Серверная часть (WCF сервис) – внешние (доступные для вызова) методы | | | |
| 1 | public string load\_desired\_state() | | Возвращает желаемое состояние организации, загруженное из БД. |
| 2 | public void save\_desired\_state(string new\_state) | | Сохраняет новое желаемое состояние организации new\_state в БД. |
| 3 | public void save\_threat(string new\_threat) | | Сохраняет новую «Угрозу» организации new\_threat в БД. |
| 4 | public string[] load\_threats() | | Возвращает список «Угроз» организации, загруженных из БД. |
| 5 | public void save\_strength(string new\_strength) | | Сохраняет новую «Силу» организации new\_threat в БД. |
| 6 | public string[] load\_strengths() | | Возвращает список «Сил» организации, загруженных из БД. |
| 7 | public void save\_opportunity(string new\_opportunity) | | Сохраняет новую «Возможность» организации new\_opportunity в БД. |
| 8 | public string[] load\_opportunities() | | Возвращает список «Возможностей» организации, загруженных из БД. |
| 9 | public void save\_weakness(string new\_weakness) | | Сохраняет новую «Слабость» организации new\_weakness в БД. |
| 10 | public string[] load\_weaknesses() | | Возвращает список «Слабостей» организации, загруженных из БД. |
| Клиентская часть (Silverlight) | | | |
| 11 | private void load\_threats\_completed(object sender, ServiceReference1.load\_threatsCompletedEventArgs e) | | Запускается после загрузки «Угроз» с сервера и обеспечивает их сохранение в списке и вывод на экран. |
| 12 | private void load\_opportunities\_completed(object sender, ServiceReference1.load\_opportunitiesCompletedEventArgs e) | | Запускается после загрузки «Возможностей» с сервера и обеспечивает их сохранение в списке и вывод на экран. |
| 13 | private void load\_weakness\_completed(object sender, ServiceReference1.load\_weaknessCompletedEventArgs e) | | Запускается после загрузки «Слабостей» с сервера и обеспечивает их сохранение в списке и вывод на экран. |
| 14 | private void load\_strengths\_completed(object sender, ServiceReference1.load\_strengthCompletedEventArgs e) | | Запускается после загрузки «Сил» с сервера и обеспечивает их сохранение в списке и вывод на экран. |

Продолжение таблицы 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 15 | private void load\_desired\_state\_completed(object sender, ServiceReference1.load\_desired\_stateCompletedEventArgs e) | Запускается после загрузки желаемого состояния организации с сервера и обеспечивает его сохранение в строковой переменной и вывод на экран. |
| 16 | void save\_desired\_state() | Запускает асинхронно функцию №3 для сохранения желаемого состояния организации. |
| 17 | private void Button\_EditSaveDesiredState\_Click(object sender, RoutedEventArgs e) | Обработчик нажатия на кнопку на панели «Желаемое состояние организации». Если кнопка находится в состоянии «Редактировать», то запускается режим редактирования, иначе запускается режим сохранения и вызывается метод №16. |
| 18 | private void Button\_AddSWOT\_Click(object sender, RoutedEventArgs e) | Обработчик нажатия на кнопку «Отправить». Запускает один из методов №3, №5, №7 или №9 в зависимости от того, какой элемент SWOT-матрицы добавил пользователь. |

Таблица 2.

Методы, реализованные в подсистеме выбора оптимальной комплексной стратегии организации

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Сигнатура метода | Описание метода |
| Клиентская часть (Silverlight) | | |
| 1 | void build\_tree() | Осуществляет построение дерева метода «ветвей и границ», создавая корень и вызывая процедуру №2 для него. |
| 2 | bool find\_left\_and\_branch(Node node) | Находит самую левую по отношению к вершине node вершину, которая может быть разветвлена, и разветвляет ее. |
| 3 | public void add\_Pareto(double[] evaluation, int[] strategy) | Осуществляет попытку добавления стратегии, заданной вектором strategy и имеющей векторную оценку evaluation, в множество |
| 4 | bool can\_be\_branched(double[] vector) | Проверяет, может ли вершина, которой соответствует векторная оценка vector, быть разветвлена. |
| 5 | void branch(Node node) | Если глубина вершины соответствует количеству подстратегий, то осуществляет попытку добавления соответствующей ей стратегии в множество (посредством вызова метода №3), иначе, если вершина может быть разветвлена (проверятся посредством вызова метода №4), то осуществляет разветвление вершины node. |
| 6 | int number\_bad\_combinations(int[] x) | Возвращает количество нежелательных сочетаний решений, принадлежащих стратегии, задаваемой вектором x. |
| 7 | private void Button\_GenerateStrategies\_Click(object sender, RoutedEventArgs e) | Обработчик нажатия на кнопку «Сгенерировать стратегии». Запускает считывание новых нежелательных сочетаний решений и построение множества Парето-недоминиремых стратегий. |
| 8 | private void Button\_SelectStrategy\_Click(object sender, RoutedEventArgs e) | Обработчик нажатия на кнопку «Выбрать стратегию». Делает текущей выбранную стратегию и выводит ее на экран. |

Таблица 3.

Методы, реализованные в подсистеме оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения основных целей организации

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | | Сигнатура | Описание |
| Серверная часть (WCF сервис) – внешние (доступные для внешнего вызова) методы | | | |
| 1 | public Status\_Information status\_information() | | Возвращает текущее состояние процесса выполнения расчетов. |
| 2 | public Resource\_allocations load\_data(Data data) | | Загружает все необходимые для расчетов данные из файлов и БД в оперативную память сервера. Возвращает сохраненные ранее распределения ресурсов, которые были загружены из файлов. |
| 3 | public Level[] calculate\_levels(double[][] allocation, double alfa, bool result) | | Возвращает прогнозируемые уровни достижения целей организации при заданном распределении ресурсов allocation. Если only\_result==true, то возвращается прогнозируемый результат исполнения стратегии (в первой ячейке массива). Значение критерия Гурвица вычисляется при заданном параметре alfa. |

Продолжение таблицы 3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 4 | public Output optimizeHurvitz(double alfa, int Nindividuals, int Titer, int NumOfIter) | Вычисляет оптимальное по критерию Гурвица распределение ресурсов посредством метода «частиц в стае». Значение критерия Гурвица вычисляется при заданном параметре alfa. Алгоритм оптимизации использует Nindividuals частиц, время «полета» которых равно Titer. Параметр NumOfIter равняется номеру запуска алгоритма. |
| 5 | void save\_allocation(double[][] allocation) | Сохраняет распределение ресурсов allocation в файле на сервере. |
| 6 | public double[][] CalculateDistanceIndices(double[][] base\_distr, double[][] second\_distr) | Вычисляет индекс расстояния для распределения second\_distr. Базовым при этом является распределение ресурсов base\_distr. |
| 7 | public Output OptimizeMath(double alfa) | Вычисляет распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии. Значение критерия Гурвица для полученного распределения вычисляется для заданного значения alfa параметра . |
| Серверная часть (WCF сервис) – внутренние (недоступные для внешнего вызова) методы | | |
| 8 | int nomer\_peremennoj(String name, int[] indices) | Вычисляет номер переменной в ЗЛП по имени переменной name и множеству ее индексов indices. |
| 9 | void add\_var\_to\_constr(String new\_or\_old, String name, int[] indices, double coefficient) | Добавляет переменную с именем name, множеством индексов indices и коэффициентом coefficient в текущее формируемое ограничение ЗЛП. |
| 10 | void insert\_objective() | Вводит целевую функцию в ЗЛП. |
| 11 | void insert\_constraint() | Вводит текущее ограничение в ЗЛП. |
| 12 | void form\_constraint(String sign, double bound) | Добавляет знак sign (‘=’,’<=’ или ’>=’) и правую часть bound в текущее формируемое ограничение ЗЛП |
| 13 | int generate\_number\_exp(double rand) | Выдает номер эксперта по сгенерированному случайному числу на отрезке [0, 1] в соответствии с компетентностями экспертов. |
| 14 | double pert\_number(double a, double m, double b) | Выдает реализацию случайного числа, распределенного в соответствии с законом PERT-бета на отрезке [*a*, *b*] и имеющего моду *m*. |
| 15 | void form\_Q1(int k, int j, double[] Q1\_help) | Формирует множество векторов, необходимое для построения множества вершин многоугольника, определяющего допустимые значения коэффициентов дуг, ведущих в j-ю цель. Переменные k и Q1\_help – вспомогательные. |
| 16 | void form\_Q2(int j) | Формирует множество векторов, необходимое для построения множества вершин многоугольника, определяющего допустимые значения коэффициентов дуг, ведущих в j-ю цель. |
| 17 | void form\_Q3(int j) | Формирует множество вершин многоугольника, определяющего допустимые значения коэффициентов дуг, ведущих в j-ю цель. |
| 18 | bool proverka\_indeksa\_dochernej\_celi(int a, int j) | Вспомогательный метод, используемый в методе №17. |
| 19 | bool proverka\_povtorenija(double[] point) | Проверяет, содержит ли множество вершин точку point. |
| 20 | string GetColName(int index) | Возвращает имя столбца в документе excel по его индексу. |
| 21 | void expected\_levels(double[][] allocation, Level[] output) | Возвращает математические ожидания уровней достижения целей организации при распределении ресурсов allocation. Вывод производится в массив Level[]. |
| 22 | double criter(int index, int option, bool calc\_math) | Вычисляет результат исполнения стратегии (гарантированный, оптимистичный, взвешенный – в зависимости от параметра option) для частицы с номером index. Если значение параметра calc\_math==true, то вычисляет ожидаемый результат. |
| 23 | private int i\_minus\_one(int i) | Выдает индекс левого соседа для частицы с номером i. |
| 24 | private double expected\_result(int index) | Выдает математическое ожидание результата исполнения стратегии для частицы с номером index. |
| 25 | private int i\_plus\_one(int i) | Выдает индекс правого соседа для частицы с номером i. |
| 26 | public double[] CalculateDistanceIndicesAlt(double[][] base\_distr, double[][] second\_distr) | Вычисляет альтернативные индексы расстояния для распределения second\_distr. Базовым при этом является распределение ресурсов base\_distr. |
| Клиентская часть (Silverlight) | | |
| 27 | private void add\_dataCompleted(object sender, CalcService.add\_dataCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры №2 на сервере. Выводит на экран сохраненные ранее распределения ресурсов, которые были загружены с сервера. |
| 28 | private void save\_allocationCompleted(object sender, AsyncCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры №5 на сервере. Дополняет список распределений ресурсов сохраненным распределением. |

Продолжение таблицы 3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 29 | private void printDistances(object sender, CalcService.CalculateDistanceIndicesCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры № 6 на сервере. Выводит в таблицу вычисленные индексы расстояния. |
| 30 | private void optimizeMathCompleted(object sender, CalcService.OptimizeCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры №7 на сервере. Выводит в таблицу результаты при вычисленном оптимальном распределении ресурсов. |
| 31 | private void print\_levels(object sender, CalcService.calculate\_levelsCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры №3 на сервере. Выводит в таблицу прогнозируемые уровни достижения целей. |
| 32 | private void load\_ButtonClick(object sender, RoutedEventArgs e) | Обрабатывает нажатие кнопки «Ввести данные», запуская метод №2 на сервере. |
| 33 | private async void optimize\_ButtonClick(object sender, RoutedEventArgs e) | Обрабатывает нажатие кнопки «Оптимизировать», запуская либо метод №4, либо метод №7 на сервере. |
| 34 | private void optimizeHurvitzCompleted(object sender, CalcService.optimizeHurvitzCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры №4 на сервере. Выводит в таблицу результаты при вычисленном оптимальном распределении ресурсов. |
| 35 | private void stop\_ButtonClick(object sender, RoutedEventArgs e) | Обрабатывает нажатие кнопки «Стоп», останавливая вычисление оптимальных по критерию Гурвица распределений ресурсов. |
| 36 | private void save\_ButtonClick(object sender, RoutedEventArgs e) | Обрабатывает нажатие кнопки «Сохранить распределение», запуская процедуру №5 на сервере. |
| 37 | private void calculate\_levelsButtonClick(object sender, RoutedEventArgs e) | Обрабатывает нажатие кнопки «Выбрать распределение», запуская процедуру №3 на сервере. |
| 38 | public void Each\_Tick(object o, EventArgs sender) | Срабатывает по таймеру и запрашивает состояние процесса вычисления на сервере посредством вызова метода №1. |
| 39 | private void refresh\_status(object sender, CalcService.status\_informationCompletedEventArgs e) | Запускается по завершении исполнения процедуры №1 на сервере. Обновляет прогресс-бар и строку состояния. |
| 40 | private void rbHurvitz\_Checked(object sender, RoutedEventArgs e) | Вызывается при выборе опции «Ialphamax». Делает доступными поля ввода параметров метода «частиц в стае». |
| 41 | private void rbMath\_Checked(object sender, RoutedEventArgs e) | Вызывается при выборе опции «M[I\*]max». Делает недоступными поля ввода параметров метода «частиц в стае». |
| 42 | private void calculate\_DistanceButtonClick(object sender, RoutedEventArgs e) | Обрабатывает нажатие кнопки «Вычислить индексы расстояния», запуская метод №6 на сервере. |

# Описание функциональных возможностей комплекса

## Варианты использования (Use cases)

Перейдем к подробному рассмотрению взаимодействия нашей системы с экторами, опираясь на диаграммы прецедентов.

*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, входящих 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. Администратор занимается обслуживанием системы, осуществляя администрирование БД, сбор статистики по использованию различных компонент системы, регистрацию замечаний и предложений от конечных пользователей.

UML-диаграмма вариантов использования рассматриваемого модуля представлена на рис. 9.



*Рис. 9. 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. ***S***trength) – преимущества организации перед конкурентами, 2) «Слабости» (англ. ***W***eakness) – недостатки организации в сравнении с конкурентами, 3) «Возможности» (англ. ***O***pportunities) – благоприятные факторы внешней среды, 4) «Угрозы» (англ. ***T***hreats) – неблагоприятные факторы внешней среды [8]. UML-диаграмма вариантов использования модуля SWOT-анализа представлена на рис. 10.



*Рис. 10. 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 [9]. UML-диаграмма вариантов использования модуля TOWS-синтеза представлена на рис. 11.



*Рис. 11. UML-диаграмма вариантов использования модуля TOWS-синтеза*

*Подсистема выбора оптимальной комплексной стратегии организации* реализует процесс выбора стратегии, представленный на рис. 12 (нотация IDEF0).



*Рис. 12. 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. Результатом его использования является множество антиприоритетов стратегических решений.

Второй модуль реализует алгоритм выбора оптимальной комплексной стратегии. UML-диаграмма вариантов использования подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии представлена на рис. 13.



*Рис. 13. UML-диаграмма вариантов использования подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии*

*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.

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-оптимизатор – 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. 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. 14.

Для сравнения двух заданных распределений ресурсов в обоих модулях реализована функция, вычисляющая индексы расстояния.



*Рис. 14. UML-диаграмма вариантов использования подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей*

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 программно-аппаратный комплекс «Competition», разработанный специально для конкурентного анализа рынка [10].

## Процесс разработки и оптимизации стратегии организации

Для разработанного комплекса программ предлагается следующий алгоритм, предписывающий, кем и в каком порядке используются различные подсистемы в процессе стратегического управления организацией. Диаграмма, наглядно представляющая алгоритм, представлена на рис. 15.

Диаграмма состоит из следующих элементов: ***областей***, описывающих функциональные роли (владелец, менеджер, аналитик) лиц, использующих предлагаемый комплекс программ[[2]](#footnote-2); ***активностей*** (процедур), представляющих собой действия лиц, исполняющих различные функциональные роли; ***информационных потоков***, устанавливающих связи между активностями[[3]](#footnote-3). Процедуры 1–6 поддерживаются первой подсистемой комплекса, 7 – второй, а 8–17 – третьей.



*Рис. 15. Алгоритм использования комплекса Strategies Optimizer в процессе стратегического управления организацией*

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 фактическоеи 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* – сильныхи 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***, 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 карты.

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-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***,сравниваяреальные 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 стратеги дополнительно могут быть построены выборочные функции распределения и гистограммы частот, вычислены среднеквадратическое отклонение, медиана, первый и третий квартили*.*

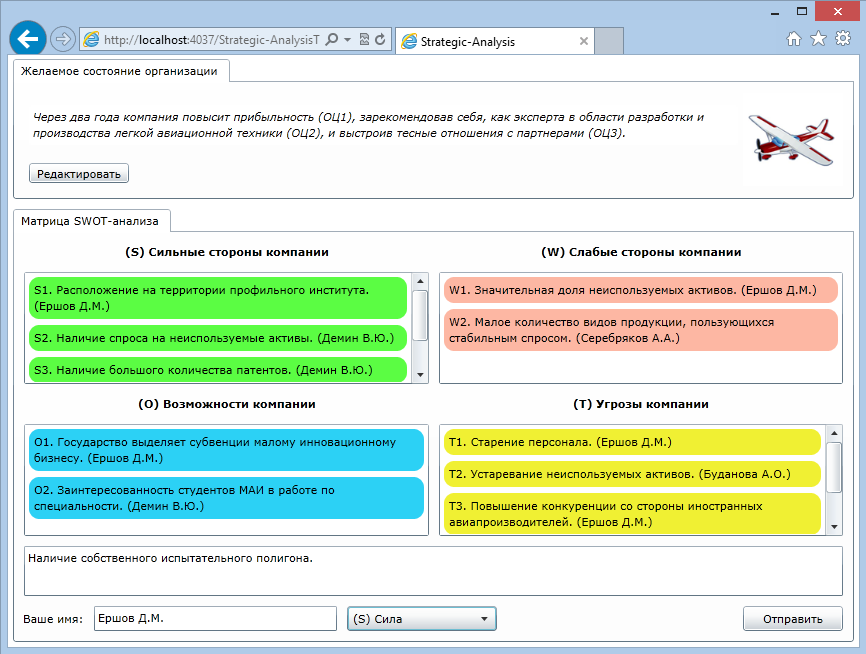
*Результаты план-факт анализа* представляют собой *рекомендации по оцениванию параметров модели и структуризации целей,* а также *рекомендации по определению желаемого состояния,* которые используются на следующей итерации цикла стратегического управления организацией.

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.

## Описание интерфейсов пользователя

В данном разделе представлено краткое описание ключевых элементов пользовательского интерфейса (GUI) демо-прототипа системы Strategies Optimizer.

На рис. 16 представлен фрагмент интерфейса подсистемы общего стратегического анализа.



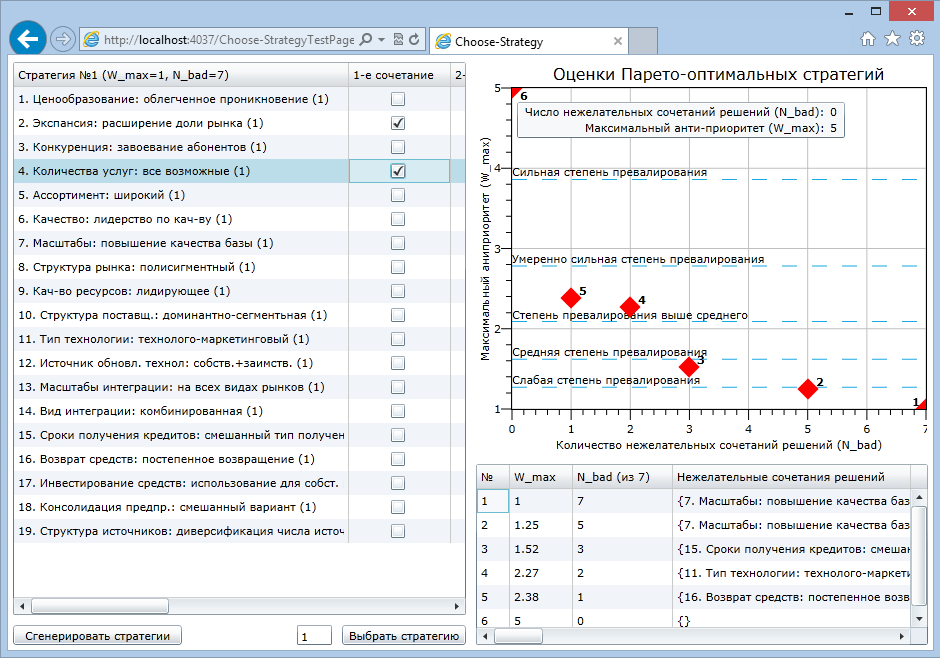
*Рис. 16. GUI подсистемы общего стратегического анализа*

Сверху здесь располагается панель с заголовком «Желаемое состояние организации». Нажав кнопку «Редактировать» (надпись на кнопке при этом изменится на «Сохранить») на данной панели, можно изменить описание желаемого состояния организации. Для подтверждения изменения необходимо нажать кнопку «Сохранить» (надпись на кнопке при этом изменится на «Редактировать»).

В середине окна располагается панель «Матрица SWOT-анализа», в которой отображаются списки введенных ранее сил, слабостей, возможностей и угроз. Элемент каждого списка имеет следующий формат: тип элемента (S,W,O или T) – № элемента – описание элемента – имя лица, которое ввело данное описание.

Чтобы ввести очередную силу, слабость, возможность или угрозу, пользователь вводит ее описание в текстовое поле под панелью «Матрица SWOT-анализа», указывает свое имя, выбирает тип элемента в выпадающем списке и нажимает кнопку «Отправить» в правом нижнем углу окна. Новый элемент немедленно появляется в соответствующем сегменте SWOT-матрицы.

Теперь рассмотрим фрагмент интерфейса подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии организации, представленный на рис. 17.



*Рис. 17. GUI подсистемы выбора оптимальной комплексной стратегии организации*

Слева располагается таблица с текущей стратегией, в которой ЛПР выделяет нежелательные сочетания решений. Справа же на графике показаны векторные оценки Парето-недоминируемых стратегий , сгенерированных до текущего шага, а под ним – таблица с оценками. Рассмотрим данные элементы подробнее.

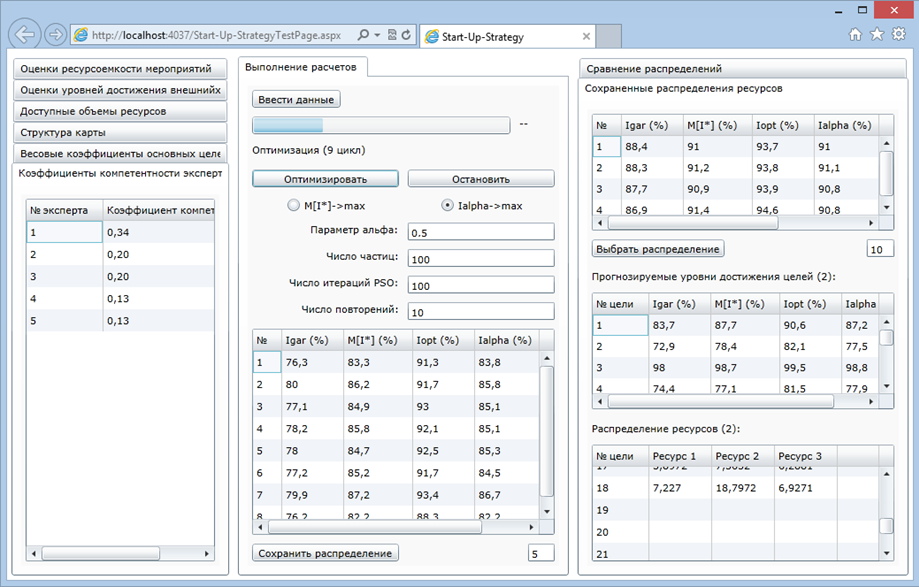
В первом столбце таблицы с текущей стратегией представлены решения, входящие в стратегию , которая была выбрана на последнем шаге как наиболее предпочтительная. Напротив каждого решения в скобках указан его антиприоритет. В заголовке столбца указан максимальный антиприоритет среди антиприоритетов формирующих текущую стратегию решений (W\_max), а также количество нежелательных сочетаний решений, принадлежащих данной стратегии (N\_bad). Используя ChechBox’ы во втором, третьем, четвертом и последующих столбцах ЛПР выделяет новые нежелательные сочетания решений, принадлежащие стратегии . Так, например, на скриншоте видно, что ЛПР выделил в качестве нежелательного сочетание решений («Экспансия: расширение сектора рынка», «Количество услуг: все возможные»). Нажав на кнопку «Сгенерировать стратегии» в левом нижнем углу окна, ЛПР подтверждает, что он закончил ввод новых нежелательных сочетаний решений.

Справа вверху окна представлен график с векторными оценками Парето-недоминируемых стратегий, сгенерированных на последнем шаге исполнения алгоритма выбора оптимальной комплексной стратегии. По оси абсцисс здесь откладывается количество нежелательных сочетаний решений, принадлежащих стратегиям, а по оси ординат – максимальный среди антиприоритетов принадлежащих стратегиям решений. Каждой оценке соответствует красный ромбик. Стратегии (ромбики) занумерованы по порядку. Если навести мышку на ромбик, то появится подсказка с векторной оценкой стратегии, соответствующей данному ромбику (т.е. с координатами данного ромбика). На скриншоте указатель наведен на ромбик, соответствующей стратегии №6.

Под графиком расположена таблица с оценками Парето-недоминируемых стратегий. В первом столбце содержится номер стратегии; во втором – максимальный среди антиприоритетов формирующих стратегию решений; в третьем – количество нежелательных сочетаний решений, принадлежащих стратегии; в четвертом – перечислены нежелательные сочетания решений, принадлежащие стратегии.

Анализируя оценки стратегий на графике и в таблице, ЛПР выбирает наиболее предпочтительную из них. Чтобы сделать текущей стратегию, соответствующую выбранной наиболее предпочтительной оценке, ЛПР вводит ее номер в поле слева внизу от таблицы с оценками и нажимает кнопку «Выбрать стратегию».

Наконец рассмотрим фрагмент интерфейса подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения целей организации (см. рис. 18).



*Рис. 18. GUI подсистемы оптимизации распределения ресурсов и прогнозирования уровней достижения стратегических целей организации*

Слева здесь располагаются панели для ввода параметров моделей стратегии развития организации. Посередине располагается панель для управления выполнением расчетов. Слева – панели «Сохраненные распределения ресурсов» и «Сравнение распределений». Рассмотрим каждую из них подробнее.

Начнем с блока панелей, которые располагаются слева. На панелях «Оценки ресурсоемкости мероприятий», «Оценки уровней достижения целей» и «Структура карты» располагаются кнопки, позволяющие выбрать excel-файлы с экспертными оценками затрат, уровней достижения внешних целей и коэффициентов причинно-следственных связей у себя на компьютере. Здесь также предусмотрена возможность импорта экспертных оценок из базы данных системы. На вкладках «Доступные объемы ресурсов» и «Коэффициенты компетентности экспертов» находятся таблички, редактируя ячейки которых, можно непосредственно ввести соответствующие параметры моделей.

Вверху панели «Выполнение расчетов» (находится посередине окна) располагается кнопка «Ввести данные». Нажав на эту кнопку, аналитик подтверждает, что выбраны все необходимые источники данных, и можно приступить к их загрузке в оперативную память и генерации промежуточных данных для выполнения последующих расчетов. О ходе загрузки данных после нажатия кнопки информирует располагающаяся ниже полоса прогресса и индикатор состояния под ней. Процесс загрузки данных проходит через следующие состояния: «Чтение из файлов», «Генерация значений затрат», «Генерация уровней достижения внешних целей», «Генерация коэффициентов причинно-следственных связей». По завершении загрузки слева от полосы прогресса появляется надпись «ОК».

После того как загрузка выполнена, можно приступить к вычислению оптимальных распределений ресурсов. Используя переключатель, аналитик выбирает один из двух вариантов: «M[I\*]max» – будет вычислено распределение ресурсов, максимизирующее математическое ожидание результата исполнения стратегии; «Ialphamax» – будет вычислено распределение ресурсов, максимизирующее критерий Гурвица. Рассмотрим представленные возможности отдельно.

Пусть аналитик выбрал вариант «M[I\*]max». Далее ему следует нажать кнопку «Оптимизировать» и ждать получения результатов. О ходе процесса оптимизации его будет информировать полоса прогресса. В процессе вычислений индикатор под полосой прогресса показывает следующие состояния: «Ввод ограничений 0<=x<=1», «Ввод структурных ограничений», «Ввод ограничений на уровни достижения внешних целей», «Ввод ресурсных ограничений», «Расчеты». По завершении расчетов справа от полосы прогресса появится надпись «ОК», и в табличке внизу центральной панели высветятся результаты исполнения стратегии, достижимые при полученном распределении ресурсов: в столбце «Igar(%)» – гарантированный результат исполнения стратегии, «M[I\*](%)» – математическое ожидание результата исполнения стратегии, «Iopt(%)» – оптимистичный результат исполнения стратегии; «Ialpha(%)» – значение критерия Гурвица; «alpha» – значение параметра , при котором был вычислен критерий Гурвица.

Если же аналитик выбрал вариант «Ialphamax», то ему необходимо ввести значения параметров в полях «Число частиц», «Число итераций» и «Число повторений», которые будут использоваться при вычислении оптимального распределения ресурсов методом «частиц в стае». Также следует ввести значение параметра в поле «Параметр альфа». После этого аналитик нажимает кнопку «Оптимизировать», запуская алгоритм оптимизации. Полоса прогресса информирует о ходе выполнения оптимизации. Так как метод «частиц в стае» – стохастический, то он будет запущен множество раз (число запусков равно значению, введенному в поле «Число повторений»), после чего можно будет выбрать одно из полученных распределений ресурсов. Номер запуска алгоритма высвечивается под полосой прогресса. На каждой итерации исполнение алгоритма можно прервать, нажав кнопку «Остановить». По завершении расчетов справа от полосы прогресса появится надпись «ОК», и в табличке внизу центральной панели высветятся результаты исполнения стратегии, достижимые при полученных распределениях ресурсов.

Чтобы сохранить одно из полученных распределений ресурсов, нужно ввести его номер в поле справа внизу панели «Выполнение расчетов» и нажать кнопку «Сохранить распределение», после чего будут вычислены остатки ресурсов, и сохраненное распределение ресурсов появится в табличке вверху панели «Сохраненные распределения ресурсов» (располагается в правой части окна). Получить информацию о прогнозируемых уровнях достижения целей организации и оптимальных объемах инвестиций в различные действия можно, нажав на кнопку «Выбрать распределение» (предварительно нужно ввести номер распределения справа от кнопки). Прогнозируемые уровни достижения целей отображаются в таблице в середине панели, а само распределение – в таблице внизу панели. Например, в случае, представленном на рис. 18, видно, что при избранном распределении ресурсов (№10) гарантированный уровень достижения первой цели равен 83.7%, оптимистичный – 90.6%, ожидаемый – 87.7%, а значение критерия Гурвица равно 87.2%. При этом выбранное распределение предписывает вложить 7.2 единицы первого ресурса, 18.8 единиц второго ресурса и 6.9 единиц третьего ресурса в исполнение действия, соответствующего 18-й цели.

Панель «Сравнение распределений» служит для вычисления различных индексов, показывающих, на сколько одно избранное распределение ресурсов отличается от другого. Такое сравнение может быть полезно при анализе устойчивости вычисленных распределений при изменении значений параметров МСР.

# Список использованных источников

1. Клейнер Г.Б. Стратегия предприятия. – М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. – 568 с.
2. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий*.* – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
3. Birge J.R., Louveaux F. Introduction to Stochastic Programing. N.Y.: Springer. – 485 p.
4. Черненко В.Д. Высшая математика в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. В 3 т.: Т. 3. – СПб.: Политехника, 2003
5. 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)
6. 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)
7. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009
8. Учитель М.Ю., Учитель Ю.Г. SWOT-анализ и синтез – основа формирования стратегии организации. – М.: Либроком, 2010
9. Weihhich H. The TOWS matrix – A tool for situational analysis // Long Range Planning, Vol. 15, No. 2, 1982. – p. 54–66
10. Бабенко Е.А., Клёнов Е.А., Ершов Д.М., Скородумов В.С. Программно-аппаратный комплекс Competition конкурентного анализа сегмента рынка High Level Architecture COMPEITION. Авторское свидетельство №12-416, 25.12.2012.

1. Ввиду кольцевой топологии связей частиц предполагается, что, если то ; если , то . [↑](#footnote-ref-1)
2. 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. [↑](#footnote-ref-2)
3. Здесь информационные потоки выделены *курсивом*, а активности ***полужирным курсивом.*** [↑](#footnote-ref-3)