

Министерство образования Российской Федерации
Научно-исследовательский институт
систем управления, волновых процессов и технологий

На правах рукописи

Моргунов Евгений Павлович

**МНОГОМЕРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ
НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА
ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент О.И. Антамошкина

Красноярск – 2003

Содержание

Введение	5
1 Анализ проблемы и постановка задачи исследования	12
1.1 Математические методы классификации, используемые в системах поддержки принятия решений	12
1.1.1 Индексный метод	13
1.1.2 Методы, основанные на использовании аппарата математической теории распознавания образов	15
1.1.2.1 Классификация без обучения (автоматическая классификация, или кластерный анализ)	15
1.1.2.2 Классификация с обучением (дискриминантный анализ)	19
1.1.3 Многомерная размытая обучаемая классификация	20
1.1.4 Сравнительный анализ математических методов классификации	24
1.2 Метод Data Envelopment Analysis в системах поддержки принятия решений	27
1.2.1 Описание метода Data Envelopment Analysis	27
1.2.1.1 Эффективность функционирования социально-экономических систем	27
1.2.1.2 Основные модели метода DEA	29
1.2.1.3 Учет влияния окружающей среды	35
1.2.1.4 Индекс Мальмквиста	38
1.2.2 Особенности применения метода DEA в системах поддержки принятия решений	41
1.2.3 Теоретические проблемы применения метода DEA в системах поддержки принятия решений	44
1.3 Выводы	46

2 Решение некоторых теоретических проблем использования метода Data Envelopment Analysis в системах поддержки принятия решений	48
2.1 Формирование искусственных эффективных объектов в методе DEA	48
2.1.1 Существующие подходы к формированию искусственных эффективных объектов	48
2.1.2 Предлагаемый алгоритм формирования искусственных эффективных объектов	54
2.2 Решение задачи классификация на основе искусственной границы эффективности	58
2.3 Критерий качества искусственной границы эффективности	63
2.4 Распознавание случаев взаимного пересечения искусственных границ эффективности	69
2.5 Выводы	72
3 Поддержка принятия решений на основе метода Data Envelopment Analysis по оценке эффективности функционирования сложных иерархических систем	73
3.1 Методика оценки эффективности функционирования сложных иерархических систем	73
3.2 Применение разработанной методики для оценки уровня экономической безопасности региона	76
3.2.1 Введение в проблему оценки уровня экономической безопасности региона	76
3.2.1.1 Понятие экономической безопасности	76
3.2.1.2 Региональные аспекты экономической безопасности	79
3.2.1.3 Подходы к определению пороговых значений показателей экономической безопасности региона	80
3.2.2 Методика оценки уровня экономической безопасности региона	82

3.3 Система поддержки принятия решений на основе метода DEA	89
3.3.1 Общие требования к системам поддержки принятия решений	89
3.3.2 Архитектура универсальной СППР, построенной на основе метода DEA	91
3.3.3 Подходы к построению СППР в сфере управления экономической безопасностью региона	93
3.3.4 Адаптация универсальной СППР для решения задач управления экономической безопасностью региона	98
3.4 Выводы	99
4 Программная реализация и апробация СППР	100
4.1 Требования к программному продукту	100
4.2 Архитектура программного продукта	103
4.2.1 Подходы к разработке программного обеспечения в сфере оценки эффективности функционирования систем	103
4.2.2 Структура программных модулей	105
4.2.3 Структура базы данных	111
4.3 Апробация СППР	113
4.4 Выводы	113
Заключение	114
Список использованных источников	115
Приложение А Фрагмент отчета об исследовании, проведенном по разработанной методике	129

Введение

Актуальность темы исследования. Проблема оценки эффективности функционирования систем очень остро встает в последние годы во всех сферах деятельности человека. Это касается экономики, социальной сферы, техники [2, 13, 27, 46, 49]. Значимость данной проблемы объясняется тем, что зачастую эффективность функционирования связана с эффективностью потребления дефицитных ресурсов, эффективностью их преобразования в результаты производства – выпускаемую продукцию того или иного вида: она может быть как материальной, так и нематериальной (например, в сфере образования или здравоохранения). Однако оценить эффективность функционирования сложной системы непросто [2, 5, 84]. В качестве примера можно привести социально-экономическую систему страны или ее отдельного региона. Зачастую оценка эффективности функционирования системы даже гораздо меньшего масштаба вызывает значительные трудности.

С другой стороны, эффективным средством исследования сложных объектов являются математические методы классификации. Применение этих методов позволяет на основе накопленной информации прогнозировать закономерности изучаемых явлений и процессов без предварительного построения их детальных математических моделей [62, с. 7].

На практике часто возникают задачи сравнения между собой и упорядочивания сложных систем по некоторому интегральному свойству, не поддающемуся непосредственному измерению. Речь может идти, в частности, о сравнении стран по уровню или качеству жизни, предприятий отрасли по эффективности их функционирования, сложных изделий – по обобщенной характеристике их качества, специалистов – по эффективности их участия в выполнении поставленной задачи и т.д. При этом общее представление о степени проявления анализируемого латентного (т.е. не поддающегося непосредственному измерению) свойства складывается как результат определенного суммирования

целого ряда частных (и поддающихся измерению) характеристик, от которых зависит, в конечном счете, это свойство [68, с. 580].

Стремлением преодолеть трудности, возникающие при оценке эффективности систем, был вызван к жизни подход, называемый Efficiency and Productivity Analysis (EPA) [104, 111]. Значительный вклад в развитие этого направления внесли A. Charnes, W.W. Cooper, R. Färe, C.A. Knox Lovell, S. Grosskopf, R.R. Russell, R.D. Banker, T. Coelli, F. Førsund, L. Hjalmarsson и др. На русский язык этот термин можно перевести как "анализ эффективности и производительности". К сожалению, русскоязычная терминология в этой сфере еще практически нет. Поэтому приводимый перевод данного термина не является устоявшимся. В рамках EPA существует несколько методов, в том числе Data Envelopment Analysis (DEA). Данный метод был разработан в 1978 г. американскими учеными A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes [103]. За это время он стал широко распространенным инструментом для оценки эффективности функционирования сложных систем в самых различных сферах (см., например, [93, 100, 102, 105–107, 109–111, 115–121, 124, 125, 127]). При оценке сложных систем зачастую возникает сопутствующая проблема определения относительной важности разнородных показателей, описывающих функционирование системы. Также имеют место сложности с получением единственного – интегрального – показателя эффективности. Метод DEA позволяет избежать этих сложностей и дает возможность получить интегральный показатель эффективности для каждого из объектов, включенных в рассматриваемую систему, не требуя при этом априорного задания весовых коэффициентов для переменных. Таким образом, метод DEA может быть очень полезным в системах поддержки принятия решений (СППР), когда требуется классифицировать какие-либо объекты на основе оценки их эффективности. Однако метод не свободен от ограничений. В частности, он позволяет оценивать только *относительную* эффективность однородных объектов, включенных в выборку. Это означает, что объекты сравниваются между собой. Данное ограничение может быть преодолено с помощью формирования искусственных эффективных (эталонных) объектов и включения их в

выборку наряду с реальными объектами. Однако известный алгоритм формирования искусственных эффективных (эталонных) объектов [128, 129] имеет ряд недостатков и нуждается в улучшении. Важной задачей является также разработка такой архитектуры СППР, которая позволяла бы проводить оценку эффективности сложных иерархических систем, используя на каждом уровне иерархии метод DEA и учитывая показатели эффективности подсистем при принятии решения об эффективности всей системы. Поскольку значительное количество реальных систем являются иерархическими или могут быть сведены к системам этого типа [5, 12, 27, 48, 60], то такая СППР могла бы применяться в весьма широком спектре областей, в частности, в сфере оценки экономической безопасности региона. Это новое направление в экономической науке, которое сейчас активно развивается [17, 61, 73, 88, 89].

Цель работы состоит в повышении эффективности управления сложными иерархическими системами посредством адаптации метода DEA к задачам классификации и разработки на его основе автоматизированной системы поддержки принятия решений при многомерной классификации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Показать на основе анализа существующих методов классификации, что метод DEA может эффективно применяться для проведения многомерной классификации объектов.
2. Разработать процедуры и алгоритмы многомерной классификации объектов на основе искусственной границы эффективности.
3. Разработать основанную на методе DEA методику оценки эффективности функционирования сложных иерархических систем.
4. Разработать архитектуру СППР, позволяющую реализовывать предложенную методику оценки эффективности сложных иерархических систем.
5. Разработать программный продукт, реализующий вышеперечисленные методики, процедуры и алгоритмы в виде СППР, которая предназначена для использования в органах управления региона.

6. Провести апробацию разработанного программного продукта на примере оценки уровня экономической безопасности Красноярского края и эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" г. Красноярска и Красноярского края.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовались методы системного анализа, метод DEA, методы оптимизации, теория принятия решений, теория баз данных.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Метод DEA впервые использован для многомерной классификации объектов. Показана эффективность данного метода при решении этой задачи.

2. Разработан новый алгоритм формирования искусственных эффективных (эталонных) объектов для использования их в моделях метода DEA. Алгоритм построен на основе пошагового повышения размерности задачи и задания диапазонов допустимых изменений значений переменных. Предложенный алгоритм облегчает построение многомерной искусственной границы эффективности.

3. Разработан алгоритм классификации объектов на основе вложенных искусственных границ эффективности. Алгоритм позволяет упростить интерпретацию результатов классификации.

4. Впервые предложен векторный критерий качества границы эффективности в методе DEA. Критерий строится на основе информации о значениях дополнительных переменных в задаче оптимизации. Использование критерия позволяет повысить степень обоснованности решений по оценке эффективности объектов. Предложен способ скаляризации векторного критерия, основанный на использовании моделей DEA и позволяющий представить оценку качества границы эффективности в наглядной форме.

5. Разработана методика оценки эффективности функционирования сложных иерархических систем, основанная на методе DEA. Решение об эффективности системы принимается с учетом эффективности подсистем.

б. Предложена и обоснована эффективная архитектура СППР, а также методика ее применения при управлении экономической безопасностью региона. Оценка эффективности многоуровневых иерархических систем облегчается за счет наличия в СППР специального модуля описаний иерархических взаимосвязей в системе, которые представлены в форме реляционных таблиц базы данных.

Практическая ценность работы и реализация полученных результатов. Разработанная СППР, а также предложенные в диссертационной работе алгоритмы и методики ориентированы на практическое применение в реальных ситуациях в различных сферах, в том числе и для решения задач по управлению экономической безопасностью региона. На основе созданных алгоритмов разработано программное обеспечение, позволяющее решать практические задачи, связанные с анализом текущего состояния уровня экономической безопасности региона. Разработанная СППР позволяет повысить обоснованность принимаемых решений по управлению экономической безопасностью на региональном уровне. Разработанное программное обеспечение используется также при решении практических задач по управлению отраслью "Здравоохранение" г. Красноярска, что подтверждается соответствующими документами.

Результаты диссертационной работы и разработанная СППР используются при проведении научных исследований в рамках гранта Министерства образования РФ № ГО2-3.2-268 от 2003 г. "Региональная экономическая безопасность: современные теоретические подходы и проблемы реализации в условиях Красноярского края". Руководитель гранта – доктор экономических наук, профессор В.И. Лячин, Красноярская государственная академия цветных металлов и золота (КГАЦМиЗ). Результаты работы использованы также в ходе курсового и дипломного проектирования в КГАЦМиЗ и Сибирском государственном аэрокосмическом университете (СибГАУ). Материалы диссертационной работы введены в учебный курс "Проектирование сложных систем" в СибГАУ.

Достоверность полученных результатов исследования обусловлена корректным применением аппарата системного анализа, математических методов оптимизации и метода DEA, а также теории алгоритмов и баз данных.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод DEA является эффективным средством решения задачи многомерной классификации объектов при оценке эффективности сложных иерархических систем.

2. Искусственная граница эффективности, построенная на основе разработанного алгоритма формирования искусственных эффективных (эталонных) объектов, позволяет выполнять более точную оценку эффективности функционирования систем.

3. Предложенный векторный критерий качества границы эффективности в методе DEA дает возможность более обоснованно интерпретировать результаты оценки эффективности функционирования систем.

4. Разработанная на основе метода DEA методика оценки эффективности функционирования сложных иерархических систем позволяет оценивать систему с учетом эффективности функционирования ее подсистем.

5. СППР, реализованная в виде программного продукта с предложенной архитектурой, является инструментом повышения обоснованности и оперативности принятия решений по управлению экономической безопасностью региона.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Всероссийская научно-практическая конференция "Проблемы и перспективы российской экономики" (г. Пенза, Приволжский дом знаний, 2002 г.);
- II Научно-практическая конференция "Информационные недра Кузбасса – 2003" (г. Кемерово, Кемеровский государственный университет, 2003 г.);
- Всероссийская научно-методическая конференции "Совершенствование систем управления качеством подготовки специалистов" (г. Красноярск, Красноярский государственный технический университет, 2003 г.);

– Всероссийская научно-методическая конференция "Актуальные проблемы и перспективы развития университетских комплексов инженерного профиля" (г. Красноярск, Сибирский государственный аэрокосмический университет, 2003 г.);

– III межвузовская научная конференция аспирантов "Актуальные проблемы современной науки и пути их решения" (г. Красноярск, Красноярский государственный торгово-экономический институт, 2003 г.);

– Международная научно-методическая конференция "Развитие системы образования в России XXI века" (г. Красноярск, Красноярский государственный университет, 2003 г.).

Основные положения диссертационной работы и работа в целом обсуждались на научных семинарах кафедр "Системного анализа и исследования операций" и "Информатики и вычислительной техники" Сибирского государственного аэрокосмического университета (2000–2003 гг.), а также на заседаниях Научно-технического совета Научно-исследовательского института систем управления, волновых процессов и технологий (2001–2003 гг.).

Публикации. По результатам работы опубликовано 15 статей и докладов [19, 20, 31, 50–59, 75, 91]. Написан раздел 3.1 (с. 128–141) и принято участие в написании раздела 3.2 (с. 142–167) в коллективной монографии [70].

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы (132 наименования) и приложения. Содержание работы изложено на 128 страницах основного текста, проиллюстрировано 11 рисунками и 1 таблицей. В приложении представлены материалы, свидетельствующие о практической реализации результатов исследований и разработок автора.

1 Анализ проблемы и постановка задачи исследования

Компьютерная поддержка принятия решений играет важную роль в современных технологиях управления [22, 24, 79, 80]. В качестве рабочих инструментов такой поддержки используются разнообразные математические методы [4, 11, 22, 24, 38, 71, 84, 85]. Состав применяемых методов зависит от предметной области, в которой осуществляется поддержка принятия решений, а также от задач, решаемых с помощью этой поддержки. Одной из таких задач является задача классификации объектов [17, 38, 62, 68, 69, 89].

1.1 Математические методы классификации, используемые в системах поддержки принятия решений

Анализ литературы, посвященной решению задачи классификации, позволяет выделить несколько подходов, основанных на применении различных математических методов [17, 28, 45, 47, 68]:

- индексный подход;
- подход, основанный на использовании аппарата математической теории распознавания образов, в том числе:
 - – распознавание без обучения (автоматическая классификация, или кластерный анализ);
 - – распознавание с обучением (дискриминантный анализ);
 - подход, построенный на основе многомерной размытой обучаемой классификации.

Рассмотрим эти подходы, а затем проведем их сравнительный анализ.

1.1.1 Индексный метод

Описание этого подхода, предложенного в работе [32], приведем по источнику [17, с. 89–90].

При расчете индексов на основе набора показателей задаются (фиксируются) стандарты максимального и минимального значений, с которыми сравниваются фактические показатели. Таким образом, принцип расчета индекса заключается в оценке относительного расстояния между фактическим значением показателя и максимальным (минимальным), являющимся конечной целью развития системы. Для расчета индексов используется две формулы, поскольку показатели могут иметь разную направленность. Имеется в виду тот факт, что по одним показателям благоприятная ситуация будет выражаться в более высоком значении показателя (чем выше значение показателя, тем лучше – положительная направленность), по другим – в более низком (чем ниже, тем лучше – отрицательная направленность). Например, такой показатель экономического развития, как уровень ВВП на душу населения, имеет положительную направленность, а уровень безработицы или бедности населения – отрицательную. Ниже приведены формулы расчета индексов:

$$J^+ = \frac{X_{\text{факт}} - X_{\text{мин}}}{X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}} 100$$

или

$$J^- = 100 - \frac{X_{\text{факт}} - X_{\text{мин}}}{X_{\text{макс}} - X_{\text{мин}}} 100,$$

где J^+ – индекс положительной направленности; J^- – индекс отрицательной направленности; $X_{\text{факт}}$ – фактическое значение показателя; $X_{\text{макс}}$, $X_{\text{мин}}$ – установленные стандарты (соответственно максимальный и минимальный).

Интегральный индекс для системы представляется в виде аддитивной свертки нормированных индексов по отдельным показателям, весовые коэффициенты которых находятся экспертным путем:

$$J = \sum J_i W_i ,$$

где J – интегральный индекс системы; J_i – индекс по i -му показателю; W_i – весовой коэффициент i -го индекса.

Таким образом, алгоритм данного метода выглядит так:

1. Вычисление нормированных индексов по отдельным показателям.
2. Ранжирование и экспертная оценка весовых коэффициентов для частных индексов развития системы.
3. Расчет интегрального индекса развития системы.
4. Экспертная оценка уровня развития (состояния) системы.

Индексный метод применяется довольно широко благодаря своей простоте. Однако, например, в работе [17] отмечаются следующие основные недостатки данного метода, применительно к задаче оценки уровня экономической безопасности региона:

"1. Применяемые в данном методе линейные свертки отдельных показателей социально-экономического развития региона, а также их номенклатура математически не обоснованы и являются предметом субъективного выбора. Реализуемые при этом процедуры частичного упорядочения кроме ограничений, налагаемых на них субъективным фактором, ограничены возможностью разного рода политических спекуляций.

2. Метод в значительной степени зависит от квалификации экспертов, от их субъективных (возможно, ошибочных) представлений.

3. Метод ориентирован только на количественные индикаторы социально-экономического развития. В действительности же они могут иметь количественно-качественную природу, а, следовательно, обработка таких данных тре-

бует применения иных математических методов, реализуемых в рамках теории размытых множеств и многомерной размытой классификации.

4. Он не учитывает целостный характер представления образов социально-экономического развития региона, в соответствии с которым анализу подвергаются не только отдельные показатели, но и их взаимосвязи и которые к тому же различны." [17, с. 90–91].

1.1.2 Методы, основанные на использовании аппарата математической теории распознавания образов

В самой общей формулировке под классификацией понимается разделение рассматриваемой совокупности объектов или явлений на однородные, в определенном смысле, группы либо отнесение каждого объекта из заданного множества объектов к одному из заранее известных классов. Задача классификации может решаться при наличии обучающих выборок ("классификация с обучением") или только при наличии классифицируемых данных ("классификация без обучения") [68, с. 459–460].

1.1.2.1 Классификация без обучения (автоматическая классификация, или кластерный анализ)

В общей (нестрогой) постановке проблема автоматической классификации объектов заключается в том, чтобы всю анализируемую совокупность объектов разбить на сравнительно небольшое число (заранее известное или нет) однородных, в определенном смысле, групп или классов таким образом, чтобы объекты, принадлежащие одному классу, находились бы на сравнительно небольших расстояниях друг от друга в пространстве признаков, которыми описываются эти объекты. Предполагается, что геометрическая близость двух или

нескольких точек в этом пространстве означает близость "физических" состояний соответствующих объектов, их однородность. Полученные в результате разбиения классы часто называют *кластерами* (таксонами, образами), а методы их нахождения соответственно кластер-анализом (распознаванием образов с самообучением) [68, с. 489–490].

Кластерный анализ – это многомерная статистическая процедура, упорядочивающая исходные данные (объекты) в сравнительно однородные группы. Особенностью кластерного анализа является то, что различия между единицами, входящими в выделенную группу, незначительны, а различия между группами существенны [47].

Наиболее трудным считается определение однородности объектов. Для этого вводится понятие расстояния $d(X_i, X_j)$ между объектами X_i и X_j . Объекты будут считаться однородными в случае $d(X_i, X_j) \leq d_{nop}$, где d_{nop} – заданное пороговое значение, определяемое в каждом конкретном случае по-своему.

Выбор метрики (меры близости) d является узловым моментом исследования, от которого решающим образом зависит окончательный вариант разбиения объектов на группы при заданном алгоритме разбиения. В задачах кластерного анализа часто используют обычное евклидово расстояние:

$$d_E(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2},$$

где X_i, X_j – точки в признаковом пространстве размерности p .

Существуют и другие способы определения расстояния в признаковом пространстве, например, хеммингово расстояние, которое используется как мера различия объектов, задаваемых дихотомическими признаками. Выбор метрики-расстояния определяется структурой признакового пространства и целью классификации [68, с. 491–493].

При использовании процедур кластерного анализа расчленение объектов совокупности на качественно однородные группы производится одновременно по большому числу признаков, но при соблюдении условия, что ни один признак не выделяется по своей значимости так, что группировка на его основе является главной.

Другой важной величиной в кластерном анализе является расстояние между целыми группами объектов. Используются такие подходы [68, с. 495]:

– расстояние, измеряемое по принципу "ближайшего соседа", есть расстояние между ближайшими объектами кластеров S_l и S_m :

$$\rho_{\min}(S_l, S_m) = \min_{X_i \in S_l, X_j \in S_m} d(X_i, X_j);$$

– расстояние, измеряемое по принципу "дальнего соседа", есть расстояние между самыми дальними объектами кластеров S_l и S_m :

$$\rho_{\max}(S_l, S_m) = \max_{X_i \in S_l, X_j \in S_m} d(X_i, X_j);$$

– расстояние, измеряемое по "центрам тяжести" кластеров, определяется таким образом:

$$\rho(S_l, S_m) = d(\bar{X}(l), \bar{X}(m)),$$

где $\bar{X}(l)$, $\bar{X}(m)$ – средние арифметические векторных наблюдений, входящих в кластеры S_l и S_m .

Выбор той или иной меры расстояния между кластерами влияет, главным образом, на вид выделяемых алгоритмами кластерного анализа геометрических группировок объектов в пространстве признаков. Так, алгоритмы, основанные

на расстоянии "ближайшего соседа", хорошо работают в случае группировок, имеющих сложную, в частности, цепочечную структуру. Расстояние "дальнего соседа" применяется, когда искомые группировки образуют в пространстве признаков шаровидные облака. И промежуточное место занимают алгоритмы, использующие расстояния "центров тяжести" и средней связи, которые лучше всего работают в случае группировок эллипсоидной формы.

Классификационные процедуры иерархического типа основаны на последовательном объединении кластеров (агломеративные процедуры) и на последовательном разбиении (дивизимные процедуры). Наибольшее распространение получили агломеративные процедуры. Эти алгоритмы отличаются друг от друга лишь способом вычисления расстояния между классами. Агломеративный алгоритм выполняется таким образом. На первом шаге все объекты считаются отдельными кластерами. Затем на каждом последующем шаге два ближайших кластера объединяются в один. Каждое объединение уменьшает число кластеров на один так, что в результате все объекты объединяются в один кластер. Момент остановки этого процесса может задаваться указанием либо требуемого числа кластеров, либо максимального расстояния, при котором допустимо объединение [68, с. 505–507]. Наиболее подходящее разбиение выбирает чаще всего сам исследователь, которому предоставляется дендрограмма, отображающая результаты группирования объектов на всех шагах алгоритма. Для большого числа объектов разбиения такая визуализация классификации является единственным способом получить представление об общей конфигурации объектов [14, с. 364].

Иерархические процедуры позволяют проследить процесс выделения группировок и иллюстрируют соподчиненность кластеров, образующихся на разных шагах какого-либо агломеративного или дивизимного алгоритма.

Выполнение кластерного анализа позволяет сгруппировать объекты в отдельные группы, а затем дать экспертную оценку этим группам. Пример применения данного метода с некоторыми модификациями можно найти в работе [88, с. 433–435].

1.1.2.2 Классификация с обучением (дискриминантный анализ)

Дискриминантный анализ представляет собой надежный линейный метод распознавания данных с обучением. Пользователь должен задать некоторое число объектов, указав их принадлежность к так называемым обучающим группам (классам, кластерам, популяциям). При использовании данного метода вырабатываются некоторые решающие правила, позволяющие отнести предлагаемые объекты, а заодно и объекты, содержащиеся в обучающих группах, к заданным классам [14, с. 390–391].

Существует несколько разновидностей дискриминантного анализа. В качестве примера рассмотрим линейный дискриминантный анализ Фишера. В основе метода лежит предположение, что классификация должна проводиться с помощью линейной комбинации дискриминантных (различающих) переменных. Основанием отнесения объекта к кластеру (классу, популяции) является наибольшее значение так называемой простой классифицирующей функции h_k для k -го класса, являющейся линейной комбинацией дискриминантных переменных [28, с. 113]:

$$h_k = b_{k0} + \sum_{i=1}^p b_{ki} X_i ,$$

где p – число дискриминантных переменных; b_{ki} – коэффициент для i -ой переменной k -го класса, определяемый как

$$b_{ki} = (n - g) \sum_{j=1}^p a_{ij} X_{jk} ,$$

где n – общее число наблюдений по всем классам; a_{ij} – элементы матрицы, обратной к матрице W – матрице разброса внутри классов (внутригрупповая матрица сумм попарных произведений), вычисляемой по формуле

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^g \sum_{m=1}^{n_k} (X_{ikm} - X_{ik.})(X_{jkm} - X_{jk.}),$$

где g – число классов; n_k – число наблюдений в k -м классе; X_{ikm} – значение i -ой дискриминантной переменной (величина i -ой переменной m -го наблюдения k -го класса); $X_{ik.}$ – среднее i -ой переменной k -го класса.

В основе метода лежат два предположения:

1. Популяции, среди которых производится дискриминация, подчиняются многомерному нормальному распределению [28, с. 82].

2. Популяции, среди которых производится дискриминация, имеют статистически неразличимые ковариационные матрицы.

Один из примеров использования дискриминантного анализа для поддержки принятия решений можно найти в работе [89].

1.1.3 Многомерная размытая обучаемая классификация

Прежде чем приступить к изложению основных идей этого подхода к решению задачи классификации, приведем краткое описание базовых понятий и определений теории нечетких множеств по источнику [6, с. 265–270].

Для иллюстрации воспользуемся таким понятием как рост человека. Люди с ростом 150 сантиметров и ниже могут быть отнесены к низкорослым, те же, чей рост 180 сантиметров и выше – это, безусловно, высокие люди. Людей же с ростом из интервала от 150 до 180 сантиметров можно отнести как к первым, так и ко вторым, в зависимости от субъективного мнения того, кто производит такую оценку. Если попытаться разделить всех людей на два множества – высоких и низких, то возникнут проблемы с классифицированием тех людей, чей рост находится в интервале от 150 до 180 сантиметров. Чтобы избежать затруднений при классифицировании, можно каждому числу, обозначающему рост человека, поставить в соответствие некоторую величину, обозначающую

степень принадлежности первому или второму множеству. Тогда вместо двух обычных множеств мы получим два множества, которые являются подмножествами действительного интервала от нуля до, скажем условно, трехсот сантиметров – $[0; 300]$ (этот интервал покрывает любой рост человека). Особенностью этих множеств будет то, что их состав описывается так называемой *степенью принадлежности*. Подобные множества получили название *нечетких множеств*.

В приведенном примере можно выделить следующие формальные компоненты:

1. Универсальное множество U , которое содержит все рассматриваемые элементы. В данном случае это действительный интервал $[0; 300]$.

2. Множество значений B , выступающих в качестве меры степени принадлежности того или иного элемента из U нечеткому подмножеству. В нечеткой логике для этого используется действительный интервал $[0; 1]$. При этом нулевое значение означает, что элемент однозначно не принадлежит нечеткому подмножеству, а единица означает, что однозначно принадлежит. Промежуточное значение означает некоторую промежуточную степень принадлежности.

3. Правило, в соответствии с которым каждому элементу из множества U ставится в соответствие элемент из множества B .

Таким образом, для дискретных универсальных множеств нечеткое подмножество представляет собой совокупность упорядоченных пар вида:

$$\{(u_i, m_i)\}, u_i \in U, m_i \in B, i = 1, 2, \dots, n,$$

где n – число элементов (мощность) множества U .

Для непрерывных универсальных множеств правило обычно представляет собой аналитически заданное отображение:

$$\mu: U \rightarrow B.$$

Формальное определение нечеткого множества таково: *нечетким множеством* A универсального множества U называется отображение $\mu_A : U \rightarrow [0; 1]$, которое ставит в соответствие каждому элементу u множества U степень принадлежности множеству A и называется *функцией принадлежности* нечеткого множества A : $\mu_A(u), u \in U$.

Для обозначения нечеткого множества достаточно привести его функцию принадлежности.

Дополнительно к определению нечеткого множества в нечеткой логике используются еще несколько понятий.

Носителем (основанием) нечеткого множества A называется подмножество универсального множества $S_A \in U$ такое, что $\forall s \in S_A : \mu_A(s) > 0$.

α -*уровнем нечеткого подмножества* A универсального множества U называется такое подмножество A_α универсального множества U , для которого верно $\forall u \in A_\alpha : \mu_A(u) \geq \alpha, A_\alpha \in U$.

Принято считать, что основание нечеткого множества является его нулевым уровнем: $S_A = A_0$.

Высотой нечеткого множества A называется верхняя граница значений его функции принадлежности: $\sup_{u \in U} \mu_A(u)$. Если высота нечеткого множества равна 1, то оно называется нормальным, а если меньше 1 – субнормальным.

Вернувшись к примеру, в котором рассматривается рост человека, можно записать аналитические выражения функций принадлежности для обоих нечетких множеств:

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 0, & u \leq 0; \\ 1, & u \in (0; 150]; \\ \frac{180 - u}{30}, & u \in (150; 180); \\ 0, & u \geq 180. \end{cases}$$

$$\mu_B(u) = \begin{cases} 0, & u \leq 150; \\ 1 - \frac{180 - u}{30}, & u \in (150; 180); \\ 1, & u \in [180; 300]; \\ 0, & u > 300. \end{cases}$$

С нечеткими множествами можно проводить такие же операции, как и с обычными множествами: объединение, пересечение, декартово произведение и т.д.

Важным для нашего дальнейшего обсуждения является понятие нечеткой переменной. Дадим ее определение по [6, с. 279].

Нечеткой переменной называется совокупность трех элементов:

$$\langle X, U, \mu_A(u) \rangle,$$

где X – название нечеткой переменной; U – универсальное множество; $\mu_A(u)$ – нечеткое подмножество A универсального множества U .

Например, рассмотренные выше нечеткие множества "маленький рост" и "большой рост" являются нечеткими переменными, т.к. представляют собой не просто абстрактные отображения оси действительных чисел в интервал $[0; 1]$, а отображения, имеющие за собой определенный смысл. Этот смысл отражается как в названии, так и в аналитическом выражении функции принадлежности [6, с. 279].

Для снижения трудоемкости операций с нечеткими множествами используют специальный их тип – нечеткие числа. *Нечетким числом* называется нечеткая переменная, имеющая следующие свойства:

$$U \in \mathfrak{R} = (-\infty; +\infty); \mu_A(u) : U \rightarrow [0; 1].$$

Для нечетких чисел разработаны алгоритмы выполнения операций сложения, вычитания, умножения, деления, сравнения и др. [6, с. 289–290].

На основе теории нечетких множеств может быть построен алгоритм нечеткой многомерной обучаемой классификации. В работе [17] показано применение данного алгоритма к оценке уровня экономической безопасности регионов. Процедура формирования обучающих выборок имеет следующую особенность: для каждой комбинации значений показателей указывается степень ее принадлежности тому или иному классу состояний экономической безопасности. На основе обучающих выборок, полученных экспертным путем, определяются нечеткие разделяющие поверхности. Отнесение классифицируемого объекта (т.е. состояния экономической безопасности в регионе) к тому или иному классу производится на основании максимального значения функции принадлежности, вычисленного для всех классов [17, с. 237].

1.1.4 Сравнительный анализ математических методов классификации

Проведем такой анализ на основе следующих критериев: требуемые исходные данные; форма выходных результатов; степень влияния человеческого фактора.

Рассмотренные методы различаются по их требованиям к необходимым исходным данным:

1. При определении состояния системы с использованием индексного подхода требуются не только фактические значения показателей, но также значения максимальных и минимальных границ для этих показателей. На завершающей стадии расчета необходимы весовые коэффициенты показателей, определяемые экспертным путем.

2. Для проведения кластерного анализа необходимы лишь значения показателей.

3. При классифицировании объектов методами дискриминантного анализа необходимы как значения показателей, характеризующие состояние объектов, так и обучающие наборы показателей.

4. Для выполнения процедуры размытой обучаемой классификации требуются как значения показателей, характеризующие состояние объектов, так и обучающие наборы показателей.

Выходные результаты применения методов также различаются:

1. Индексный метод в результате также дает одну интегральную оценку. Однако он не учитывает взаимное расположение объектов в пространстве показателей.

2. Результатом работы кластерного анализа будет разбиение всей совокупности изучаемых объектов на однородные группы. Однако дать оценку каждой такой группе с определенной точки зрения должен эксперт. По полученной дендрограмме можно проследить последовательность группирования объектов.

3. Дискриминантный анализ позволяет не только отнести каждый объект к одной из групп, но и выдает значение дискриминантной функции, которое также может быть использовано для получения информации о степени проявления тех качеств (или свойств), на основании которых и производится классификация.

4. Результатом работы алгоритма размытой обучаемой классификации будет вектор нечетких оценок принадлежности к классам. Эти классы соответствуют различным состояниям объектов [17, с. 234].

Рассматриваемые методы различаются и по степени зависимости от человеческого фактора:

1. На использовании индексного метода сказывается влияние субъективных представлений экспертов, которые привлекаются на завершающем этапе работы – при определении весовых коэффициентов показателей.

2. Метод кластерного анализа также подвержен зависимости от экспертов, но уже на этапе оценки ситуаций в полученных группах объектов.

3. В методе дискриминантного анализа влияние экспертов неизбежно на этапе формирования обучающих наборов данных.

4. Метод размытой обучаемой классификации также построен на обучающих выборках, а значит, и влияние экспертного знания сказывается с первых шагов алгоритма.

На основании проведенного анализа методов классификации можно сделать следующие выводы:

1. Индексный метод прост в использовании, позволяет получить интегральные оценки для каждого объекта, но требует наличия дополнительной информации для каждого показателя, в том числе экспертных оценок для весовых коэффициентов, учитывающих важность показателей.

2. Кластерный анализ позволяет сгруппировать объекты в однородные группы (кластеры) без использования дополнительной информации о показателях. Но интерпретация результатов такой группировки возможна только с привлечением экспертов.

3. Дискриминантный анализ также позволяет разделить объекты на однородные совокупности, однако для этого требуется наличие обучающих выборок, которые формируются с привлечением экспертов.

4. Метод размытой обучаемой классификации позволяет разделить объекты на группы на основании вычисленных значений функции принадлежности. Он позволяет работать не только с количественной, но и с качественной информацией. Однако для формирования обучающих выборок также требуется привлечение экспертов.

1.2 Метод Data Envelopment Analysis в системах поддержки принятия решений

1.2.1 Описание метода Data Envelopment Analysis

Прежде чем приступить к непосредственному описанию метода, коротко опишем тот контекст, в котором традиционно рассматривается метод DEA.

1.2.1.1 Эффективность функционирования социально-экономических систем

В последнее время очень актуальной проблемой становится оценка эффективности функционирования социально-экономических систем [46, 131]. Для измерения эффективности используются различные методы. Очень популярным стал подход, основанный на построении так называемой *границы эффективности* [104, 106, 107, 112] С этим понятием связаны такие понятия, как граница производственных возможностей и производственная функция.

Аппарат производственных функций хорошо известен [15, 21, 40, 41, 74, 92, 94]. Производственная функция показывает максимальное количество выпуска (продукции), которое может быть произведено из данного количества входных факторов производства (входов) при использовании данной технологии. Если распространить рассуждения на случай, когда выпускается продукция не одного вида, а нескольких, то принято говорить не о производственной функции, а о производственной границе, или границе эффективности [104, 112]. В этом случае те, условно говоря, фирмы, представленные в выборке, которые производят максимальное количество выпуска из данного количества входов, считаются эффективными, и точки, соответствующие им в пространстве входов-выходов, лежат на этой самой границе эффективности. Те же точки, которые не лежат на границе эффективности, соответствуют фирмам, функциони-

рующим неэффективно. Степень неэффективности определяется степенью удаленности точки от границы эффективности: чем дальше точка от границы, тем фирма, соответствующая этой точке, менее эффективна. Поскольку на практике граница эффективности неизвестна, ее нужно каким-то образом оценить. Для оценивания применяются различные методы, в том числе метод Data Envelopment Analysis, в основе которого лежит линейное программирование [23, 36, 78, 83]. Граница эффективности, формируемая при помощи указанного метода, является кусочно-линейной.

Метод Data Envelopment Analysis был предложен в 1978 г. американскими учеными А. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes [103], которые основывались на идеях М.Ж. Farrell [113]. Данный метод с успехом применяется на Западе для оценки эффективности функционирования однородных объектов в различных социально-экономических системах. Такими объектами могут быть промышленные и сельскохозяйственные предприятия, банки, учреждения здравоохранения и образования, органы управления и правосудия и т.д. (см., например, [93, 100, 102, 105–107, 109–111, 115–121, 124, 125, 127]). Метод ДЕА постоянно развивается и совершенствуется (см., например, [97, 98, 99, 106, 107, 109, 110, 122, 132]).

В настоящее время общепринятого русского эквивалента английскому названию метода нет, однако предлагается такой вариант – "анализ среды функционирования" [2]. Данный метод начинает использоваться и в России [2, 13, 31, 50, 109, 110].

В методологии ДЕА используется термин "эффективность функционирования". Этот термин отражает эффективность, с которой исследуемые объекты преобразуют входы в выходы. В зависимости от сферы применения метода ДЕА данному термину может придаваться тот или иной конкретный смысл.

1.2.1.2 Основные модели метода DEA

Рассмотрим суть метода DEA. Пусть имеются данные для K входных параметров и M выходных параметров для каждого из N объектов (под термином "объект" могут подразумеваться регионы, отрасли хозяйства, предприятия, учебные заведения и т.д.). Для i -го объекта они представлены вектор-столбцами x_i и y_i соответственно. Тогда матрица X размерности $K \times N$ представляет матрицу входных параметров для всех N объектов, а матрица Y размерности $M \times N$ представляет матрицу выходных параметров для всех N объектов. Можно прийти к задаче математического программирования и, используя теорию двойственности, сформулировать ее в такой форме [104, с. 140–141]:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & (\theta), \\ & - y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0, \end{aligned} \tag{1.1}$$

где θ – скаляр, а λ является вектором констант размерности $N \times 1$. Значение θ , полученное при решении задачи, и будет мерой эффективности i -го объекта. При этом эффективность не может превышать единицы. Важно помнить, что аналогичная задача решается N раз, т.е. для каждого объекта. Те объекты, для которых значение показателя эффективности оказалось равным единице, находятся на границе эффективности. В результате может быть сформирована кусочно-линейная граница эффективности. Точки, соответствующие тем объектам, у которых показатель эффективности оказался меньше единицы, можно спроецировать на границу эффективности таким образом, что каждая из этих точек будет равна линейной комбинации $(X\lambda, Y\lambda)$. Часть элементов вектора λ имеют ненулевые значения. Эти элементы соответствуют тем объектам, которые являются эталонными для оцениваемого объекта. Линейная комбинация эталонных объектов и образует гипотетический объект, находящийся на грани-

це эффективности. Гипотетический объект был бы эффективным, если бы существовал в действительности. Но поскольку он не существует, то значения его переменных являются целью для реального – неэффективного – объекта. В результате для объектов с $\theta < 1$ могут быть установлены цели, которые заключаются в пропорциональном сокращении их входных факторов на величину θ при сохранении выходных значений на прежнем уровне. Чем ближе точка, соответствующая данному объекту, к границе эффективности, тем выше ее мера эффективности [104, с. 141–142].

Приведенная модель называется моделью, *ориентированной на вход и принимающей наличие постоянного эффекта масштаба*. Для того чтобы учесть возможность переменного эффекта масштаба, нужно в данную модель добавить ограничение на сумму весовых коэффициентов λ [104, с. 150]:

$$\sum \lambda_i = 1. \quad (1.2)$$

Следствием ввода этого ограничения является формирование *выпуклой* линейной комбинации эталонных объектов.

Метод DEA имеет ряд привлекательных свойств, а именно [107, с. 8]:

- позволяет вычислить один агрегированный показатель для каждого объекта в терминах использования входных факторов (независимые переменные) для производства желаемых выходных продуктов (зависимые переменные);
- может одновременно обрабатывать много входов и много выходов, каждый из которых при этом может измеряться в различных единицах измерения;
- позволяет учитывать внешние по отношению к рассматриваемой системе переменные – факторы окружающей среды;
- не требует априорного указания весовых коэффициентов для переменных, соответствующих входным и выходным параметрам при решении задачи оптимизации;

- не налагает никаких ограничений на функциональную форму зависимости между входами и выходами;
- позволяет при необходимости учесть предпочтения менеджеров, касающиеся важности тех или иных входных или выходных переменных;
- производит конкретные оценки желательных изменений во входах/выходах, которые позволили бы вывести неэффективные объекты на границу эффективности;
- формирует Парето-оптимальное множество точек, соответствующих эффективным объектам;
- концентрируется на выявлении примеров так называемой *лучшей практики* (best practice), а не на каких-либо усредненных тенденциях, как, например, регрессионный анализ [108].

При использовании статистических данных за несколько лет появляется возможность проследить перемещение границы эффективности во времени. На основании направления этих перемещений можно определить, имеет ли место прогресс в исследуемой группе объектов (отрасли) или же регресс. Данный метод также позволяет определить, за счет чего достигнут прогресс: за счет улучшения управления, за счет приведения масштаба объекта к оптимальному либо за счет изменения технологии (например, внедрения нового оборудования). Кроме того, можно определить так называемую *распределительную* эффективность (allocative efficiency), т.е. эффективность использования ресурсов, если известны их стоимости [104, 106].

Для иллюстрации концепции эффективности и метода DEA рассмотрим процесс производства, в котором задействованы два входных фактора производства x_1 и x_2 , и производится один вид продукции y . При этом сделаем важное допущение о том, что в нашем случае будет иметь место постоянный эффект масштаба. Это допущение позволит нам для графического изображения применяемой технологии производства использовать двухмерный график. По осям координат этого графика будут откладываться *удельные* затраты входных факторов производства, т.е. затраты, приходящиеся на единицу выпускаемой про-

дукции. Таким образом, мы получаем единичную изокванту [104, с. 134–135], представленную на рисунке 1.1.

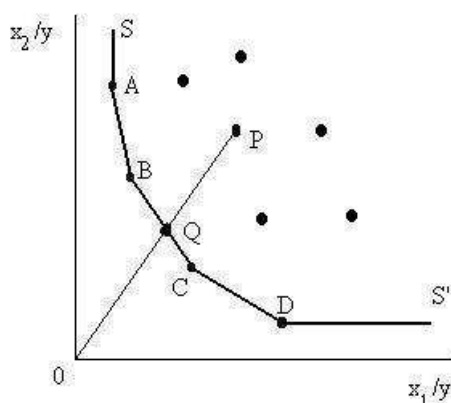


Рисунок 1.1 – Технология производства с двумя входами
и одним выходом

Если некоторая фирма использует входные факторы в количествах, представленных точкой P на рисунке 1.1, то в этом случае ее техническая неэффективность будет выражаться длиной отрезка QP (где точка Q является проекцией точки P на границу эффективности). Эта длина представляет собой величину, на которую могут быть пропорционально сокращены величины входов без уменьшения величины выпускаемой продукции (выпуска). Техническая эффективность фирмы P , TE , будет равна отношению длин отрезков OQ и OP :

$$TE = \frac{OQ}{OP}. \quad (1.3)$$

На рисунке 1.1 точки A , B , C и D являются эффективными (они и формируют границу эффективности), а точка P – неэффективной (она не лежит на этой границе).

Ясно, что значение технической эффективности не может превышать единицы. Важно заметить, что проецирование неэффективной точки на границу эффективности допустимо на основании одного из базовых положений метода

DEA. Суть этого положения в том, что, если одна фирма может использовать входные факторы таким образом, что выпускает из них некоторое количество выпуска, то и другая фирма – неэффективная – также *должна быть* в состоянии выпускать такое же количество продукции из такого же количества входных факторов производства. При проецировании на границу для каждого неэффективного объекта формируется эталонный гипотетический объект, который является эффективным и служит целью для неэффективного объекта в смысле достижения Парето-эффективности (Парето-оптимальности). Эталонный объект, как правило, является комбинацией двух или более реальных объектов, которые являются эффективными. Значения показателей этого эталонного объекта и служат целями для неэффективного объекта.

Аналогичную иллюстрацию можно сделать и для случая, когда в производстве участвует один входной фактор x и производится два вида выпуска y_1 и y_2 (рисунок 1.2).

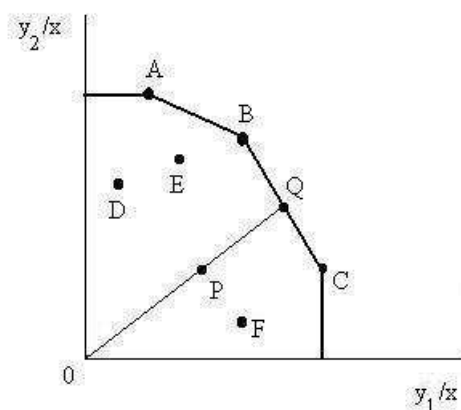


Рисунок 1.2 – Технология производства с одним входом и двумя выходами

На этом рисунке точки A , B и C являются эффективными. Точки D , E , F и P – неэффективные. Если точку P спроецировать на границу эффективности (получим точку Q), то показатель эффективности точки P можно определить так:

$$TE = \frac{OP}{OQ}. \quad (1.4)$$

Выше были рассмотрены модели, ориентированные на вход. Одна из них была построена с учетом постоянного эффекта масштаба, а другая – с учетом переменного эффекта масштаба. Аналогичные модели могут быть построены и с ориентацией на выход. В этом случае главной целью моделей будет увеличение выпуска продукции без увеличения затрат входных ресурсов. В результате расчетов по этим моделям будут получены не только значения показателя эффективности для каждого из объектов, но также указаны рекомендуемые значения выходных переменных, при достижении которых неэффективные объекты могут быть выведены на границу эффективности. Вот эти модели [104, с. 158]:

$$\begin{aligned}
 & \max_{\phi, \lambda} (\phi), \\
 & \quad -\phi y_i + Y\lambda \geq 0, \\
 & \quad x_i - X\lambda \geq 0, \\
 & \quad \lambda \geq 0.
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

$$\begin{aligned}
 & \max_{\phi, \lambda} (\phi), \\
 & \quad -\phi y_i + Y\lambda \geq 0, \\
 & \quad x_i - X\lambda \geq 0, \\
 & \quad \sum \lambda_i = 1, \\
 & \quad \lambda \geq 0.
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

Модель (1.5) принимает наличие постоянного эффекта масштаба, а модель (1.6) – переменного эффекта масштаба. Следует обратить внимание на то, что в данном случае значение переменной ϕ , рассчитанное по этим моделям, будет больше или равно единице. Это объясняется тем, что целью моделей является пропорциональное увеличение значений выходных переменных. Для получения же традиционного значения показателя эффективности, лежащего в пределах от нуля до единицы, следует просто использовать величину, обратную к ϕ , что обычно и делают [104, с. 158].

Статистические основания метода DEA. Статистические свойства оценок эффективности, получаемых при помощи этого метода, были исследованы в работах R.D. Banker [95, 96]. Им было показано, что оценки монотонно возрастающей выпуклой производственной функции, полученные по методу DEA, являются также оценками максимального правдоподобия, если отклонение действительных значений переменной выпуска (выхода) от эффективных значений считается стохастической переменной с монотонно убывающей функцией плотности вероятности. В то время как для выборок конечного объема оценка границы эффективности смещена вниз от теоретической границы, для больших выборок это смещение стремится к нулю. Оценки, полученные по методу DEA, демонстрируют асимптотическое свойство состоятельности, а асимптотическое распределение оценок отклонений показателей эффективности идентично истинному распределению этих отклонений. В работах [95, 96] описаны предлагаемые статистики для проверки статистических гипотез относительно свойств границы эффективности, таких, как эффект масштаба, взаимное замещение входных факторов производства и др.

1.2.1.3 Учет влияния окружающей среды

Метод DEA позволяет учесть наличие переменных окружающей среды, т.е. таких переменных, которые оказывают влияние на расчеты по моделям, но на которые невозможно оказывать влияние в рамках решаемой задачи. Такие переменные нельзя отнести к обычным входным переменным, поскольку они не поддаются управлению со стороны лица, принимающего решения (ЛПР). Примерами могут служить: климатические условия на данной территории, численность населения (в краткосрочном периоде), площадь территории региона, уровень состояния здоровья населения (в краткосрочном периоде) и т.п. Для учета переменных среды имеется целый ряд методов. Кратко опишем некоторые из них [104, с. 166–171].

Метод 1. Пусть в задаче присутствует некоторый фактор окружающей среды, который оказывает отрицательное влияние на эффективность функционирования изучаемой совокупности объектов, и при этом значения переменной, соответствующей данному фактору, можно упорядочить, например, по возрастанию степени отрицательного влияния. Тогда каждый объект в изучаемой совокупности следует сравнивать не со всеми другими объектами, а лишь с теми, которые подвергаются не менее сильному влиянию указанного фактора. Это делается для того, чтобы не ставить оцениваемый объект в заведомо худшие, проигрышные условия по сравнению с другими объектами.

В качестве примера можно привести задачу оценки эффективности функционирования сельского хозяйства в районах Красноярского края. Можно разделить все районы на три группы: южные, центральные и северные районы. Наиболее благоприятные климатические условия – в южных районах, наименее благоприятные – в северных. В этом случае следует сравнивать сельское хозяйство северных районов только с группой северных районов, поскольку при сравнении их с центральными, а тем более, с южными районами, северные районы окажутся в заведомо проигрышном положении по обстоятельствам, на которые администрация влиять не в состоянии. Таким образом, эффективность сельского хозяйства северных районов будет необъективно занижена. Каждый из центральных районов следует сравнивать с группой, в которую входят не только центральные, но также и северные районы. Каждый из южных районов следует сравнивать с группой, в которую входят все районы.

Проиллюстрируем это на модели (1.1). При анализе северных районов число объектов, N , будет равно количеству только северных районов, а объект, обозначенный в модели (1.1) индексом i , выбирается также из числа только северных районов. При анализе центральных районов число объектов, N , будет равно суммарному количеству северных и центральных районов, а объект, обозначенный в модели (1.1) индексом i , выбирается из числа только центральных районов. И, наконец, при анализе южных районов число объектов, N , будет равно суммарному количеству северных, центральных и южных районов, а

объект, обозначенный в модели (1.1) индексом i , выбирается из числа только южных районов. Поэтому матрицы входов и выходов, X и Y , будут *различными* для трех вышеописанных ситуаций.

Метод 2. Возможно включение переменных окружающей среды в обычные модели DEA. Например, для модели, учитывающей переменный эффект масштаба и ориентированной на вход, это будет выглядеть так [104]:

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda} (\theta), \\
 & - y_i + Y\lambda \geq 0, \\
 & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\
 & z_i - Z\lambda = 0, \\
 & \sum \lambda = 1, \\
 & \lambda \geq 0.
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

В этом случае Z – это матрица переменных окружающей среды для всех N объектов в выборке. Поскольку в данном случае переменные окружающей среды считаются неуправляемыми, т.е. не поддающимися регулированию со стороны лица, принимающего решения, то коэффициент θ перед переменной z_i не ставится.

Метод 3. Данный метод предполагает решение задачи в две стадии. На первой стадии решается обычная DEA-задача, в которой используются только традиционные переменные. На второй стадии формулируется задача линейной регрессии, в которой в качестве зависимой переменной служит показатель эффективности, полученный при решении DEA-задачи, а в качестве объясняющих переменных – переменные окружающей среды. Знаки при коэффициентах регрессии указывают на "направление" влияния: знак "плюс" указывает на положительное влияние среды на эффективность, знак "минус" указывает на отрицательное влияние среды. Выполняются также проверки статистических гипотез, как в традиционном регрессионном анализе. Эти проверки позволяют оценить статистическую значимость коэффициентов регрессии.

1.2.1.4 Индекс Мальмквиста

Исторически индекс Мальмквиста (Malmquist index) используется для оценки изменения общей продуктивности всех факторов производства, когда рассматривается один и тот же объект в два различных периода времени или два различных объекта в один и тот же период времени [104]. Как известно, продуктивность (производительность) определяется как отношение выпуска продукции (выхода) к затратам ресурсов (входу):

$$\text{Продуктивность} = \frac{\text{Выпуск продукции}}{\text{Затраты ресурсов}}.$$

Таким образом, продуктивность может изменяться как за счет изменения выпуска, так и за счет изменения ресурсов. В том случае, когда имеют место не скалярные, а векторные вход и выход, определение продуктивности является нетривиальной задачей. Индекс Мальмквиста имеет важное свойство, а именно – его можно разложить на два сомножителя. Первый сомножитель является показателем изменения эффективности данного объекта, а второй сомножитель – показателем технического прогресса, достигнутого в данной отрасли (в данной выборке объектов) [104, с. 223–224]:

$$\begin{aligned} \text{Изменение продуктивности} &= \text{Изменение эффективности} \times \\ &\times \text{Показатель технического прогресса.} \end{aligned}$$

Для вычисления индекса используются различные методы, в том числе и метод DEA, поскольку данный метод может обрабатывать много выходов и входов одновременно. При использовании DEA нужно решить несколько оптимизационных задач для каждого из объектов в выборке [104, с. 227]:

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} (\phi), \\
& -\phi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0, \\
& x_{it} - X_t \lambda \geq 0, \\
& \lambda \geq 0.
\end{aligned} \tag{1.8}$$

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} (\phi), \\
& -\phi y_{is} + Y_s \lambda \geq 0, \\
& x_{is} - X_s \lambda \geq 0, \\
& \lambda \geq 0.
\end{aligned} \tag{1.9}$$

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} (\phi), \\
& -\phi y_{is} + Y_t \lambda \geq 0, \\
& x_{is} - X_t \lambda \geq 0, \\
& \lambda \geq 0.
\end{aligned} \tag{1.10}$$

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} (\phi), \\
& -\phi y_{it} + Y_s \lambda \geq 0, \\
& x_{it} - X_s \lambda \geq 0, \\
& \lambda \geq 0.
\end{aligned} \tag{1.11}$$

В этих задачах индексы s и t означают начальный и конечный периоды времени, индекс i обозначает объект, для которого производятся расчеты. Как и в модели (1.5), Y и X – это матрицы выходов и входов для всех объектов в выборке, а λ – вектор весовых коэффициентов, которые образуют линейную комбинацию – гипотетический объект, являющийся целью для неэффективного объекта. В задачах (1.10) и (1.11) есть важная особенность – показатели объекта и технология, относительно которой определяется его эффективность, принадлежат к различным временным периодам: в задаче (1.10) объект из предыдущего периода сравнивается с технологией следующего периода, а в задаче (1.11) наоборот, объект из следующего периода сравнивается с технологией предыдущего периода. Важно отметить, что в задачах (1.10) и (1.11) показатель эф-

фективности, который в таких моделях определяется как величина, обратная к ϕ , может иметь значение, большее единицы. Это возможно в том случае, если в задаче (1.10) имел бы место технический регресс в данной группе объектов, а в задаче (1.11) наоборот – технический прогресс.

Приведенные модели для индекса Мальмквиста являются ориентированными на выход, т.е. при установке целей для неэффективных объектов модель стремится в первую очередь увеличить выходные показатели объекта, сохраняя входные показатели на прежнем уровне. Модели, ориентированные на вход, могут быть построены аналогично [104, с. 222].

Если рассчитать значения индекса Мальмквиста для всех объектов в выборке за целый ряд периодов (а не только за два периода), то, разложив эти значения на две составляющих, можно получить временной ряд показателей изменения технического прогресса. Эти сведения можно использовать для прогнозирования состояния технологии в данной отрасли (в данной группе объектов). Точнее говоря, можно прогнозировать значения показателей, которые могут быть достигнуты лучшими объектами в будущем.

На рисунке 1.3 проиллюстрирована идея изменения уровня развития технологии с течением времени [104, с. 224–225].

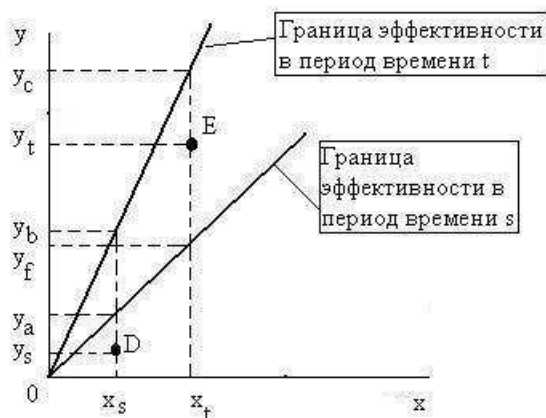


Рисунок 1.3 – Перемещение границы эффективности с течением времени

В процессе производства используется только один входной фактор x и выпускается только один вид продукции y . Точки D и E соответствуют некото-

рому объекту в периоды времени s и t соответственно. Как видно из рисунка, в оба периода времени данный объект является неэффективным, т.к. точки D и E расположены ниже границ эффективности для периодов s и t соответственно. Для данного объекта решаются четыре оптимизационных задачи согласно моделям (1.8)–(1.11).

1.2.2 Особенности применения метода DEA в системах поддержки принятия решений

Поскольку задача в данном методе формулируется в терминах входов и выходов (inputs/outputs), то необходимо отнести одну часть показателей, характеризующих исследуемые объекты, к входам, а другую часть показателей – к выходам. Однако при использовании метода DEA в ряде предметных областей возникает проблема разделения показателей на входные и выходные. Это объясняется тем, что между показателями может не быть технологической связи, как это имеет место в процессе традиционного материального производства. Одним из подходов к решению указанной проблемы может быть такой: показатели, для которых более предпочтительными считаются меньшие значения, следует условно относить к входным, а показатели, для которых, наоборот, предпочтительными являются большие значения, следует условно относить к выходным. В таком случае после выполнения вычислений по методу DEA мы получим для "неэффективных" объектов рекомендации по снижению значений входных и увеличению значений выходных показателей, что должно соответствовать логике конкретной предметной области. Возможны и другие подходы к решению задачи разделения показателей на входные и выходные [19, 70].

Могут возникать ситуации, когда, исходя из специфики конкретной предметной области, разделение показателей на входные и выходные произведено таким образом, что значения части входных показателей целесообразно увеличивать, а значения части выходных показателей – уменьшать (например,

уровень загрязнения атмосферы при производстве металла). В таких случаях вместо фактических значений входных показателей следует использовать их отклонения от пороговых значений, установленных на уровне, заведомо превышающем значения соответствующих показателей для всех исследуемых объектов. Аналогично следует поступать и с выходными показателями [70].

Если после преобразований, проведенных над исходными данными, окажется, что часть входных показателей для отдельных объектов имеет отрицательные значения, то это не будет являться препятствием для использования метода DEA при соблюдении определенных условий. Как известно, модели DEA могут быть ориентированными на вход или на выход. В первом случае это означает, что модель фокусируется в первую очередь на снижении значений входных показателей неэффективных объектов (при неизменных значениях выходных показателей), а во втором случае главной целью ее работы является увеличение значений выходных показателей (при неизменных значениях входных показателей) неэффективных объектов. В том случае, когда используется модель, ориентированная на *выход*, и при этом среди значений *входных* показателей есть отрицательные, следует увеличить значения такого показателя для *всех* объектов на величину, равную по модулю наименьшему из отрицательных значений. При этом значение коэффициента эффективности не изменится. Для различных показателей это увеличение может быть различным. При использовании модели, ориентированной на *вход*, аналогичные действия можно произвести с *выходными* показателями [106, с. 94].

Метод DEA позволяет определять *относительную* эффективность объектов. Это означает, что они сравниваются между собой. Однако может быть предложен такой подход: эксперты формируют некоторое множество гипотетических объектов, имеющих значения показателей такие, что эти гипотетические объекты могут быть приняты в качестве эталонов [128–130]. Конечно, значения показателей таких объектов должны выбираться с учетом реальной достижимости этих значений. Таким образом, гипотетические объекты будут обра-

зовывать границу эффективности, с которой можно сопоставлять реальные объекты.

Выше был проведен анализ ряда математических методов, используемых в настоящее время для решения задачи классификации в процессе поддержки принятия решений. Были использованы следующие критерии: требуемые исходные данные; форма выходных результатов; степень влияния человеческого фактора. Применив эти же критерии к методу DEA, получим следующую картину.

1. Требуемые исходные данные. Для реализации метода DEA необходимы только лишь значения входных и выходных показателей исследуемых объектов. Не требуется задавать весовые коэффициенты для указания важности показателей (хотя ряд моделей позволяют сделать это). Важной особенностью данного метода является деление показателей на *входные* и *выходные*, в то время как для других методов такое деление не производится.

2. Форма выходных результатов. Результатом работы метода DEA будет один интегральный показатель для каждого из изучаемых объектов. Объекты могут быть ранжированы по значениям этого показателя. Кроме того, производятся конкретные оценки желательных изменений во входах/выходах, которые позволили бы вывести неэффективные объекты на так называемую границу эффективности.

3. Степень влияния человеческого фактора. В методе DEA знания экспертов *можно* использовать при необходимости (ряд моделей данного метода позволяют сделать это), например, для учета относительной важности показателей. Однако применение экспертного знания не является обязательным, что значительно снижает степень субъективизма при проведении исследования.

Кроме того, в отличие от вышеупомянутых методов решения задачи классификации, метод DEA позволяет учесть влияние факторов окружающей среды.

Используя идею кластерного анализа и метод DEA, можно предложить следующий простой алгоритм кластеризации объектов (считаем, что конкретная модель DEA уже выбрана).

Шаг 1. Оценить эффективность всех объектов в выборке.

Шаг 2. Объекты, эффективность которых равна единице, удалить из выборки. Это будет первый "кластер" – объекты с наивысшей эффективностью.

Шаг 3. Оценить эффективность всех объектов, оставшихся в выборке.

Шаг 4. Объекты, эффективность которых равна единице, удалить из выборки. Это будет следующий "кластер".

Шаг 5. Если в выборке остались объекты, то перейти к шагу 3, иначе – к шагу 6.

Шаг 6. Завершение работы алгоритма.

Результатом работы предлагаемого алгоритма будет группа "кластеров", содержащих объекты, однородные не в смысле расстояния в пространстве показателей, как в кластерном анализе, а однородные в смысле эффективности. Еще одним отличием от кластерного анализа является то, что полученные "кластеры" будут упорядочены – по степени эффективности.

Важным отличием от линейного дискриминантного анализа будет то, что разделяющие поверхности, формируемые с использованием метода DEA, будут представлять собой вложенные выпуклые оболочки точек в пространстве входных/выходных переменных.

Таким образом, метод DEA может эффективно использоваться для решения задачи классификации в процессе поддержки принятия решений.

1.2.3 Теоретические проблемы применения метода DEA в системах поддержки принятия решений

Для более эффективного использования метода DEA в системах поддержки принятия решений необходимо решить и некоторые теоретические за-

дачи, касающиеся данного метода. Одной из них является разработка алгоритма формирования эталонных искусственных объектов – регионов, предприятий, лечебно-профилактических учреждений, образовательных учреждений и т.п. На основе этих искусственных объектов может формироваться искусственная граница эффективности, с которой должны сравниваться реальные объекты.

Сама проблема формирования искусственной границы эффективности в методе DEA не нова, примерами подхода к ее решению являются работы [128–130]. Однако неизученным остается вопрос оценки качества такой границы эффективности [57].

Вообще формирование искусственной границы из гипотетических объектов имеет смысл потому, что метод DEA предназначен для оценивания *относительной* эффективности объектов, которые сравниваются *между собой*. Таким образом, не только неэффективные объекты, но и объекты, оказавшиеся на границе эффективности, также могут улучшить показатели своей работы. Исходя из логики и ограничений предметной области, можно задать диапазоны возможных изменений отдельных входов и выходов, а затем, изменяя значения входов и выходов в заданных рамках, сформировать некоторое множество гипотетических объектов, не присутствующих в реальной выборке. Решая эту задачу, необходимо, на наш взгляд, вводить в рассмотрение тот или иной *критерий качества* построения границы эффективности. Алгоритм формирования гипотетических объектов должен, на наш взгляд, порождать только Парето-оптимальные объекты, которые, имея значение показателя эффективности равное единице, и образуют искусственную границу эффективности. Провести проверку сформированного множества объектов на предмет Парето-оптимальности можно с использованием обычных моделей DEA.

Еще одним из важных вопросов является вопрос о количестве формируемых искусственных объектов. В работах [128–130] за точку отсчета принимается количество реальных объектов. На наш взгляд, для принятия обоснованного решения следует учитывать диапазоны допустимых изменений для значений входов и выходов, причем не только абсолютные их величины, но также и от-

носительные (в сравнении с реальными значениями соответствующих переменных) [57].

Важным вопросом является прогнозирование состояния исследуемых объектов в будущем. При использовании индекса Мальмквиста [104] для прогнозирования следует учитывать тот факт, что можно получить временной ряд показателей технического прогресса. Но граничными (эффективными) объектами в каждый отдельный период времени могут быть различные объекты. Поэтому имеет смысл говорить в этом случае о прогнозе уровня развития технологии в исследуемой отрасли (совокупности объектов) вообще, в целом, а не о прогнозах достижений конкретных объектов. Но тогда возникает такая задача: как выполнить обратное преобразование, т.е. зная перемещение границы эффективности с течением времени, определить значения показателей для объектов, которые оказались бы на такой границе. При решении прямой задачи методом DEA *граница* формируется на основе объектов. При решении обратной задачи требуется по границе сформировать *объекты*.

1.3 Выводы

На основании изученного материала и проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы.

1. Проанализированы математические методы, применяемые для решения задачи классификации в процессе поддержки принятия решений, выявлены их сильные и слабые стороны. В результате предложено и обосновано использование метода Data Envelopment Analysis в качестве основного математического инструментария при создании СППР для работы в различных предметных областях. Использование данного метода целесообразно, т.к. он имеет целый ряд привлекательных свойств по сравнению с проанализированными математическими методами.

2. Показано, что применение метода Data Envelopment Analysis в системах поддержки принятия решений имеет целый ряд особенностей.

3. Обоснована необходимость решения следующих теоретических задач:

– предложить и обосновать критерий качества искусственной границы эффективности в методе DEA;

– разработать принципиально новый алгоритм формирования искусственных объектов в методе DEA.

Решение этих задач позволит повысить эффективность применения метода DEA для решения задачи классификации при оценке эффективности систем.

2 Решение некоторых теоретических проблем использования метода Data Envelopment Analysis в системах поддержки принятия решений

Как было показано в первой главе, метод DEA может эффективно применяться в системах поддержки принятия решений на основе классификации объектов при условии решения ряда теоретических проблем, связанных с необходимостью формирования искусственных границ эффективности. Настоящая глава посвящена разработке комплекса алгоритмов, позволяющих не только строить такие границы, но также оценивать и качество их построения.

2.1 Формирование искусственных эффективных объектов в методе DEA

2.1.1 Существующие подходы к формированию искусственных эффективных объектов

В работах [128, 129] для генерирования искусственных объектов предлагается использовать модели самого метода DEA. Рассмотрим предлагаемый подход подробнее.

Как известно из теории метода DEA [106, с. 88–89], модели данного метода могут быть представлены в двух формах, что обусловлено свойством двойственности в теории линейного программирования [23, 33, 36, 78, 83]. Модели, приведенные в первой главе диссертации, были представлены в так называемой "envelopment form". К сожалению, устоявшегося русскоязычного эквивалента для этого термина еще нет [3, 40]. Формулировки задач DEA можно представить в двойственной форме – в так называемой "multiplier form". Аналогично и для этого термина нет общепринятого русскоязычного эквивалента [3,

40]. Авторы работ [128, 129] используют именно "multiplier form" для представления своих моделей. Рассмотрение они начинают с модели, ориентированной на вход и принимающей переменный эффект масштаба. Каждый объект описывается m входными и s выходными переменными:

$$\text{Max. } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{i0}}, \quad (2.1)$$

$$\text{st } \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, \quad \forall j,$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad \forall r,$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad \forall i,$$

u_0 – не имеет ограничений.

В этой модели x_{ij} и y_{rj} – входные и выходные переменные соответственно; v_i и u_r – весовые коэффициенты для входных и выходных переменных; ε – бесконечно малая положительная величина. Эти весовые коэффициенты и являются переменными, относительно которых решается задача, представленная в "multiplier form". Целью является отыскание такого набора значений переменных, при котором целевая функция, т.е. эффективность оцениваемого объекта, достигнет максимального значения, а эффективности всех объектов, в том числе и оцениваемого, не превысят единицы. Такая задача решается для каждого из объектов в выборке, и наборы значений весовых коэффициентов будут в общем случае различными для каждого из таких решений. Таким образом, значения весовых коэффициентов подбираются таким образом, чтобы представить оцениваемый объект в наиболее выигрышном свете, т.е. максимально эффективным. Однако в пределах одного решения данной модели весовые коэффици-

енты будут *одинаковыми* для всех объектов. Для эффективных объектов значение целевой функции равно единице [106, с. 88–89].

Поскольку эффективные объекты также могут улучшить показатели своей деятельности, то далее в работах [128, 129] предлагается на основе реальных – эффективных – объектов сгенерировать искусственные объекты. Значения переменных этих искусственных объектов стали бы целями для реальных объектов, эффективность которых равна единице при расчетах по вышеприведенной модели (2.1). Свою модель авторы статьи называют P-DEA (Practical DEA), а границу эффективности, полученную таким способом, – практической границей эффективности. Модель выглядит так:

$$\text{Max. } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot \tilde{y}_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot \tilde{x}_{i0}}, \quad (2.2)$$

$$\text{st } \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot y_{rj} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_{ij}} \leq 1, \quad \forall j \quad \text{Эффективность реальных объектов}$$

$$1 \leq \frac{\sum_{r=1}^s u_r \cdot \tilde{y}_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot \tilde{x}_{i0}} \leq 1 + \delta, \quad \text{Эффективность нового (искусственного) объекта}$$

$$L_{x_{i0}} \leq \tilde{x}_{i0} \leq U_{x_{i0}}, \quad \forall i,$$

$$L_{y_{r0}} \leq \tilde{y}_{r0} \leq U_{y_{r0}}, \quad \forall r,$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i,$$

u_0 – не имеет ограничений.

В этой модели \tilde{y}_{r0} (выходы искусственного объекта), \tilde{x}_{i0} (входы искусственного объекта), а также весовые коэффициенты u_r , и v_i являются переменными. Следует заметить, что в этой модели, в отличие от традиционных моделей

DEA, значения входов и выходов также являются переменными. Целевая функция максимизирует эффективность искусственного объекта, при этом его эффективность может превышать единицу на величину δ . Эта величина определяется на основе обсуждений с ЛПР. Также на основе обсуждений с ЛПР для входов и выходов искусственного объекта задаются допустимые диапазоны изменений (L и U).

Предлагаемая Т. Sowlati и J.C. Paradi [128, 129] модель P-DEA (2.2) может быть преобразована в модель дробно-линейного программирования путем замены $u_r \cdot \tilde{y}_{r0}$ и $v_i \cdot \tilde{x}_{i0}$ новыми переменными p_r и q_i , соответственно, а также заменены $L_{x_{i0}} \leq \tilde{x}_{i0} \leq U_{x_{i0}}$ и $L_{y_{r0}} \leq \tilde{y}_{r0} \leq U_{y_{r0}}$ на $v_i \cdot L_{x_{i0}} \leq q_i \leq v_i \cdot U_{x_{i0}}$ и $u_r \cdot L_{y_{r0}} \leq p_r \leq u_r \cdot U_{y_{r0}}$, соответственно. Затем модель дробно-линейного программирования может быть преобразована в модель линейного программирования [101], что показано в следующей модели (2.3), которая может быть решена методами линейного программирования.

$$\text{Max. } \sum_{r=1}^s p_r + u_0, \quad (2.3)$$

$$\text{st } \sum_{i=1}^m q_i = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} u_r + u_0 - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i \leq 0, \quad \forall j,$$

$$\sum_{r=1}^s p_r + u_0 - \sum_{i=1}^m q_i \geq 0,$$

$$\sum_{r=1}^s p_r + u_0 - \sum_{i=1}^m q_i (1 + \delta) \leq 0,$$

$$u_r \cdot L_{y_{r0}} \leq p_r \leq u_r \cdot U_{y_{r0}}, \quad \forall r,$$

$$v_i \cdot L_{x_{i0}} \leq q_i \leq v_i \cdot U_{x_{i0}}, \quad \forall i,$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i,$$

u_0 – не имеет ограничений.

Решая модель, можно определить $\tilde{x}_{i0}^* = \frac{q_i^*}{v_i^*}$ и $\tilde{y}_{r0}^* = \frac{p_r^*}{u_r^*}$, т.е. значения вхо-

дов и выходов искусственного объекта. Для того чтобы определить практическую границу эффективности, модель P-DEA должна быть решена для *каждого эффективного* объекта.

В заключение опишем предлагаемую Т. Sowlati и J.C. Paradi методику использования модели P-DEA [128, 129]. Процедура выполняется в три стадии. На первой стадии оценивается эффективность всех объектов в выборке, для чего используются традиционные модели DEA. В результате все объекты разделяются на эффективные и неэффективные. На второй стадии сначала определяются допустимые диапазоны изменений для значений входов и выходов эффективных объектов, а затем при собеседовании с ЛПР выявляются пределы возможных улучшений эффективности этих объектов. Затем с использованием полученной информации для *каждого из эффективных* объектов решается задача по модели P-DEA. В результате отыскиваются значения входов и выходов для новых – улучшенных – объектов. Эти улучшенные объекты совместно с частью реальных объектов и сформируют практическую границу эффективности, о которой говорится в рассматриваемых работах.

Наконец, на последней стадии решается обычная модель DEA для выборки, в которую включаются все реальные и все искусственные объекты. Таким образом, окончательное определение эффективности объектов производится относительно искусственной границы эффективности.

В анализируемых работах не приведено формальных доказательств того, что все искусственные объекты будут эффективными относительно новой – искусственной – границы эффективности. Искусственные объекты формируются по одному за одно решение модифицированной модели DEA. Авторы указывают, что значение переменной δ , которая отражает величину возможного повышения эффективности уже эффективного объекта, не обязательно должно быть одинаковым для всех искусственных объектов. Таким образом, в работах [128, 129] четко не сказано, должен ли быть и будет ли каждый из вновь формируе-

мых искусственных объектов эффективным относительно новой – искусственной – границы. Авторы указывают лишь, что новая граница может касаться старой границы, построенной на основе только реальных объектов. При рассмотрении примера, приведенного в [128], выясняется, что *не все* искусственные объекты обязательно будут эффективными относительно искусственной границы эффективности, а также то, что реальные объекты *могут* быть эффективными относительно этой новой границы.

Проанализировав описанный подход, можно сделать вывод, что его главными отличительными особенностями являются:

- в качестве механизма для формирования искусственных объектов используются модели самого метода DEA с некоторыми модификациями;

- в качестве "исходного материала" для формирования искусственных объектов используются реальные объекты, эффективность которых равна единице;

- число искусственных объектов равно числу реальных объектов, эффективность которых равна единице;

- каких-либо формальных требований к качеству сформированной искусственной (практической – в терминах Т. Sowlati и J.C. Paradi) границы не предъявляется.

В заключение упомянем также работу [130], в которой приводится аналогичный подход к построению искусственной границы эффективности. Однако целью формирования искусственных объектов в данном случае является имитация наложения ограничений на веса переменных. В базовой модели метода DEA (2.1) веса переменных не ограничены сверху. Более жесткие ограничения, налагаемые на веса, позволяют учесть предпочтения ЛПР по оценке относительной важности переменных [106].

2.1.2 Предлагаемый алгоритм формирования искусственных эффективных объектов

Опишем вначале основную идею алгоритма. Для построения искусственной границы необходимо привлечение экспертов. Известно, что в реальных системах различные показатели могут взаимно компенсировать друг друга в том смысле, что снижение значений одного показателя может компенсироваться увеличением значений другого показателя. Одним из примеров может служить замещение факторов производства, описанное в микроэкономической теории [21, 74]. Эксперты должны, используя эту идею, выбирать взаимно компенсируемые показатели и указывать диапазоны допустимых изменений их значений. Однако указать одновременно диапазоны компенсируемых изменений более чем двух показателей, на наш взгляд, эксперту сложно. Поэтому предлагается вводить показатели в задачу поэтапно. Начинать же можно с простейшей комбинации скалярного входа и скалярного выхода системы.

Алгоритм построения границы эффективности для двух переменных рассмотрим на примере одного входа (x) и одного выхода (y). Границу эффективности, построенную для изменяющихся значений двух переменных при зафиксированных значениях остальных переменных, назовем *частной границей эффективности*. Строить границу будем, следуя принципу оптимальности Парето [38, 40, 71]. Схема работы алгоритма представлена на рисунке 2.1.

Алгоритм имеет параметр, который влияет на форму границы эффективности. Этот параметр – доля от половины диагонали прямоугольника, в который вписывается граница эффективности. На каждой итерации значение параметра пересчитывается путем возведения его в степень, показатель которой равен номеру итерации алгоритма. На первой итерации значение параметра приемлем равно $\frac{1}{2}$.

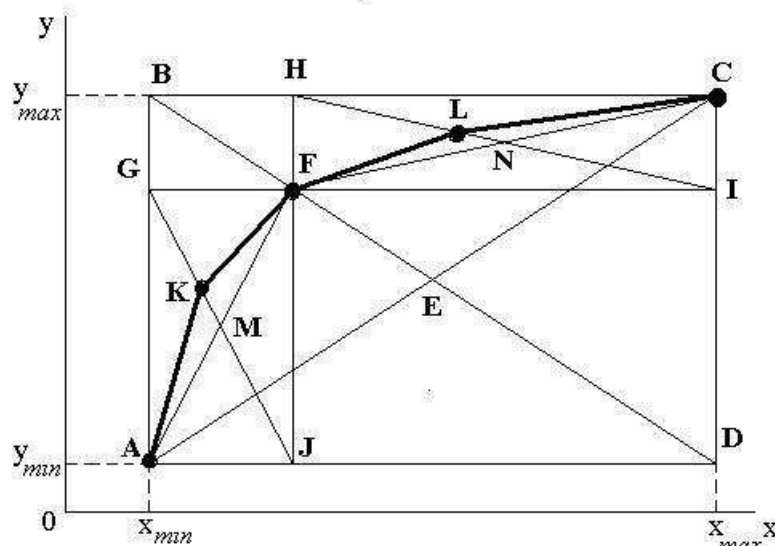


Рисунок 2.1 – Построение частной границы эффективности для одного входа и одного выхода

Алгоритм построения частной границы эффективности.

Шаг 1. Задать диапазоны изменения значений двух переменных (это должны сделать эксперты): $x \in [x^{\min}; x^{\max}]$, $y \in [y^{\min}; y^{\max}]$.

Шаг 2. Выбрать базовые точки для построения границы эффективности. Точки выбираются в зависимости от типа переменных (вход и выход; два входа; два выхода). В рассматриваемом случае это точки A и C . Диагональ AC прямоугольника $ABCD$ назовем *базовой*, т.к. частная граница эффективности строится на основе этой диагонали. Соответственно диагональ BD будет *небазовой*.

Шаг 3. Вычислить положение точки F , используя значение параметра алгоритма. При принятом значении параметра точка F будет являться серединой отрезка BE , где точка E – точка пересечения диагоналей. Полученная ломаная линия AFC будет являться частной границей эффективности, построенной за одну итерацию алгоритма.

Шаг 4. Построить прямоугольники $AGFJ$ и $FHCI$. Повторить те же действия, что и на шаге 3, но для вычисления положения точек K и L использовать квадрат параметра алгоритма, т.е. значение $\frac{1}{4}$. Таким образом, $|KM| = \frac{|GM|}{4}$ и

$|LN| = \frac{|HN|}{4}$. Полученная ломаная линия $AKFLC$ будет являться частной границей эффективности, построенной за две итерации алгоритма.

Шаг 5. Построить 4 прямоугольника, диагоналями которых будут являться полученные отрезки AK, KF, FL, LC . Повторить те же действия, что и на шаге 3, но теперь уже значение параметра будет равно $\frac{1}{8}$.

Шаги 6 и далее. Повторять те же действия, что и на шаге 3, пересчитывая значение параметра алгоритма и получая удвоенное число фрагментов частной границы эффективности. Завершить работу алгоритма при получении заданного числа фрагментов границы.

Результатом работы алгоритма будет множество точек, формирующих частную границу эффективности.

Предложенный алгоритм может использоваться и для построения частных границ эффективности для тех случаев, когда рассматриваемыми переменными будут два входа (рисунок 2.2) или два выхода (рисунок 2.3). Однако в этих двух случаях базовые точки и направление выпуклости для построения границы эффективности будут другими.

Имея алгоритм построения частной границы эффективности, можно разработать алгоритм более высокого порядка – алгоритм построения искусственной многомерной границы эффективности.

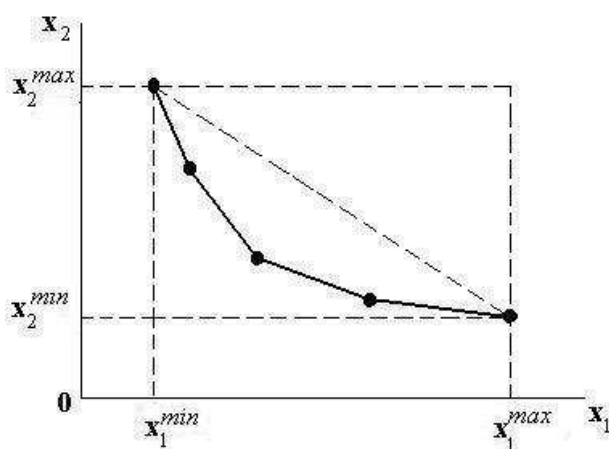


Рисунок 2.2 – Построение частной границы эффективности для двух входов

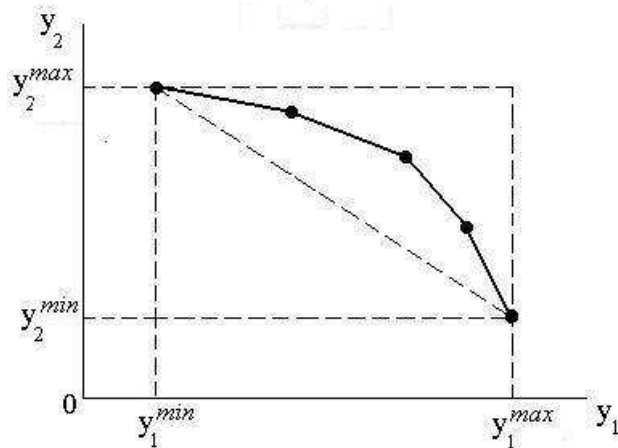


Рисунок 2.3 – Построение частной границы эффективности для двух выходов

Алгоритм построения искусственной многомерной границы эффективности.

Шаг 1. Задать диапазоны изменения значений двух переменных (это должны сделать эксперты): вход $x_1 \in [x_1^{\min}; x_1^{\max}]$, выход $y_1 \in [y_1^{\min}; y_1^{\max}]$.

Выбрать базовые точки для построения границы эффективности: $(x_1^{\min}; y_1^{\min})$, $(x_1^{\max}; y_1^{\max})$.

Указать число n фрагментов, из которых должна состоять формируемая частная граница эффективности. Число n выбирается из ряда 1, 2, 4, 8, ...

Шаг 2. Выполнить алгоритм построения частной границы эффективности. В результате будет получено множество точек $\{(x_1^{\min}; y_1^{\min}), \dots, (x_1^{\max}; y_1^{\max})\}$. Общее число точек равно $n + 1$, где n – требуемое число фрагментов границы на этом этапе.

Шаг 3. Выбрать переменную в качестве базы для повышения размерности задачи. Пусть это будет входная переменная x_l . Этот шаг выполняет эксперт исходя из содержательных представлений о предметной области.

Шаг 4. Заменить переменную x_l парой переменных x_l и x_2 .

Задать диапазоны изменения значений обеих переменных $x_1 \in [x_1^{\min}; x_1^{\max}]$ и $x_2 \in [x_2^{\min}; x_2^{\max}]$ для каждой исходной точки $(x_i; y_i)$. Базовыми точками для частной границы эффективности будут точки $(x_1^{\min}; x_2^{\max})$ и $(x_1^{\max}; x_2^{\min})$.

Указать требуемое число n фрагментов частной границы. Число n выбирается из ряда 1, 2, 4, 8, ...

Шаг 5. Выполнить алгоритм построения частной границы эффективности. В результате для каждой исходной точки $(x_i; y_i)$ будет получено множество из $n + 1$ точек в пространстве размерности на единицу выше исходной (см. рисунок 2.2). Здесь n – требуемое число фрагментов границы на этом этапе.

Шаг 6. Если требуется еще повысить размерность задачи, то выбрать следующую переменную в качестве базы для повышения размерности задачи и перейти к шагу 4. Иначе – завершить работу алгоритма.

Примечание к алгоритму. Если на шаге 3 или на шаге 6 выбирается выходная переменная, то базовыми точками для частной границы эффективности будут точки $(y_1^{\min}; y_2^{\max})$ и $(y_1^{\max}; y_2^{\min})$ (см. рисунок 2.3).

2.2 Решение задачи классификация на основе искусственной границы эффективности

Известно, что метод DEA позволяет получить показатель *относительной* эффективности объектов [106]. Поэтому при сравнении объектов между собой результат будет зависеть от состава выборки объектов [123]. Такая оценка эффективности не является абсолютной. Для получения оценки, которую хотя бы условно можно было считать абсолютной, необходимо воспользоваться искусственной границей эффективности.

Поскольку переход системы из стабильного состояния в кризисное (крайне неустойчивое) зачастую происходит постепенно, в несколько стадий, то целесообразно для каждой стадии формировать искусственную границу эффек-

тивности. Естественно, что термин "эффективность" в данном случае не совсем точно отражает назначение таких промежуточных границ. Использование этого термина вызвано лишь требованием единообразия терминологии, а также объясняется способом использования такой границы для оценки объектов.

В различных ситуациях, имеющих место в разных предметных областях, количество искусственных границ эффективности может быть различным. Например, в работе [89] говорится о трех состояниях региональной экономической безопасности: стабильном, предкризисном и кризисном. В этом случае требуется построить две границы.

Проиллюстрировать идею подхода можно на простейшем примере, когда рассматривается один вход и один выход. Для того, чтобы придать иллюстративному примеру более конкретный смысл, будем считать, что мы имеем дело именно с тем случаем, который описан в работе [89]. При использовании метода DEA в сфере управления экономической безопасностью к входным показателям будем относить те из них, для которых желательно уменьшение значений, а к выходным – те показатели, для которых желательно увеличение значений [70, с. 138]. Тогда в качестве переменной y на рисунке 2.4 можно рассматривать, например, валовой региональный продукт (ВРП), а в качестве переменной x – экологический ущерб.

На рисунке 2.4 представлены две границы эффективности: граница SS' соответствует устойчивому состоянию системы (в данном случае – высокому уровню экономической безопасности региона), а граница UU' – кризисному состоянию. Граница, соответствующая кризисному состоянию системы, будет располагаться на графике правее и ниже, чем граница, соответствующая устойчивому состоянию. Это следует из того, что желательным является увеличение значений выходной переменной y и уменьшение значений входной переменной x . Границы не должны пересекаться. Область, заключенная между двумя границами, будет соответствовать предкризисному (переходному) состоянию. Таким образом, объект (в нашем случае – регион), обозначенный точкой A , будет находиться в кризисном состоянии, объект, обозначенный точкой B – в пред-

кризисном, а объект, обозначенный точкой C – в устойчивом состоянии. При попадании точек на одну из границ состояние соответствующих объектов можно классифицировать как переходное между устойчивым и предкризисным либо между предкризисным и кризисным.

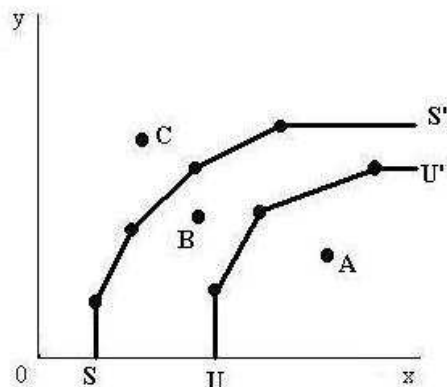


Рисунок 2.4 – Искусственные границы эффективности

Для формализации предлагаемой методики рассмотрим в качестве примера одну из моделей метода DEA, описанных в главе 1. Пусть это будет модель, ориентированная на вход и принимающая наличие постоянного эффекта масштаба [104, с. 140–141]:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & \theta, \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0. \end{aligned}$$

В данном случае матрицы Y и X будут формироваться на основе значений показателей тех точек, которые образуют границу эффективности. Это как раз и будут искусственные объекты. Векторы же y и x соответствуют реальному объекту, эффективность (в данном случае – состояние экономической безопасности) которого требуется определить.

Подводя итог, можно представить методику в виде такого алгоритма:

Шаг 1. Сформировать два набора искусственных объектов (например, регионов). Один набор соответствует устойчивым состояниям изучаемой совокупности объектов, а другой – неустойчивым состояниям. Формирование искусственных объектов может производиться не только алгоритмическим способом, но также и методом опроса экспертов.

Шаг 2. Сформировать два комплекта матриц Y и X : одна пара матриц соответствует объектам в устойчивом состоянии, а другая пара матриц соответствует объектам в неустойчивом состоянии.

Шаг 3. Выбрать модель DEA, исходя из требований конкретной задачи.

Шаг 4. Оценить каждый из реальных объектов относительно двух искусственных границ эффективности. Показатели эффективности, рассчитанные относительно границ SS' и UU' , обозначим θ_S и θ_U соответственно.

Шаг 5. Принять решение относительно состояния (эффективности) конкретного объекта на основе следующего правила:

если $\theta_S \geq 1$, то объект находится в устойчивом состоянии (точка C на рисунке 2.4);

если $\theta_S < 1$ и $\theta_U > 1$, то объект находится в предкризисном состоянии (точка B на рисунке 2.4);

если $\theta_U \leq 1$, то объект находится в кризисном состоянии (точка A на рисунке 2.4).

Шаг 6. Завершение работы алгоритма.

Распространим предложенный алгоритм на случай, когда число классов возможных состояний объектов больше трех.

Пусть требуется отнести объект O_i , $i = \overline{1, n}$, к одному из N классов возможных состояний (классов эффективности). При этом число искусственных границ эффективности будет равно $N - 1$, поскольку каждая граница разделяет совокупность объектов на два класса. Верно и то, что каждый класс, кроме первого (самого эффективного) и последнего (наименее эффективного), заключен между двумя искусственными границами эффективности. Будем считать, что для каждой пары искусственных границ эффективности справедливо условие:

граница с меньшим индексом соответствует более эффективному (более устойчивому, более "хорошему") классу состояний. Таким образом, граница с индексом 1 соответствует самому эффективному классу состояний. Обозначим искусственную границу эффективности с индексом j через FF_j , а класс эффективности, заключенный между двумя границами FF_j и FF_{j+1} , через E_{j+1} . Поскольку первый и последний классы имеют только по одной границе, то их обозначим E_1 и E_N соответственно. Показатель эффективности объекта O_i , рассчитанный относительно границы FF_j , обозначим через θ_{ij} . Важно отметить, что при использовании искусственных границ эффективности возможно $\theta_{ij} > 1$.

Алгоритм, модифицированный для случая N классов возможных состояний объектов, будет таким.

Шаг 1. Сформировать $N - 1$ наборов искусственных объектов. Каждый набор соответствует искусственной границе для определенного класса состояний изучаемой совокупности объектов. Формирование искусственных объектов может производиться не только алгоритмическим способом, но также и методом опроса экспертов.

Шаг 2. Сформировать $N - 1$ комплектов матриц Y_j и X_j : каждая такая пара матриц соответствует определенной границе эффективности FF_j .

Шаг 3. Выбрать модель DEA, исходя из требований конкретной задачи.

Шаг 4. Взять реальный объект O_i из выборки и ввести в модель DEA значения переменных этого объекта – векторы u_i и x_i .

Шаг 5. Оценить реальный объект O_i относительно первой искусственной границы эффективности, рассчитав тем самым показатель эффективности θ_{i1} .

Если $\theta_{i1} \geq 1$, то отнести объект O_i к классу эффективности E_1 , т.е. к самому эффективному классу.

Если $\theta_{i1} < 1$, то перейти к шагу 6 алгоритма.

Шаг 6. Увеличить на единицу индекс j искусственной границы эффективности FF_j .

Если $j = N$ (это означает, что больше границ нет), то объект O_i следует отнести к классу эффективности E_N (наименее эффективному классу) и перейти к шагу 8.

Если $j < N$, то рассчитать значение показателя эффективности θ_{ij} относительно границы FF_j и перейти к шагу 7.

Шаг 7. Принять решение относительно состояния (эффективности) объекта O_i на основе следующего правила:

если $\theta_{ij} \geq 1$, то объект O_i следует отнести к классу эффективности E_j и перейти к шагу 8;

если $\theta_{ij} < 1$, то перейти к шагу 6.

Шаг 8. Взять из выборки следующий реальный объект и перейти к шагу 5. Если в выборке больше нет неоцененных объектов, то завершить работу алгоритма, перейдя к шагу 9

Шаг 9. Завершение работы алгоритма.

Предложенный алгоритм может применяться в самых различных сферах: для оценки уровня знаний студентов, для оценки квалификации работников и т.п. Для удобства интерпретации результатов классифицирования объектов можно каждому классу эффективности E_j поставить в соответствие словесное наименование. Тем самым получим некоторое подобие лингвистической переменной.

2.3 Критерий качества искусственной границы эффективности

Проведя исследование по методу DEA и получив значения показателя эффективности для объектов из выборки, резонно задаться вопросом: насколько достоверны полученные результаты? Поскольку эталоном для проведения всех расчетов в методе DEA является граница эффективности, то ее формальные свойства должны, по всей вероятности, влиять на интерпретацию получае-

мых результатов. Из всех свойств, которыми обладает граница эффективности, наиболее продуктивным в смысле конструирования критерия ее качества представляется наличие фрагментов, параллельных осям координат (см. рисунок 2.5).

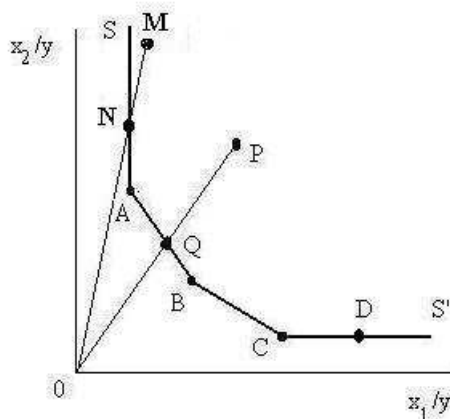


Рисунок 2.5 – Граница эффективности с ненулевыми дополнительными переменными

На рисунке 2.5 показана граница эффективности для технологии, в которой задействованы два входных фактора и производится один вид продукции при постоянном эффекте масштаба. Поскольку эффект масштаба постоянный, то можно изобразить график в координатах $(x_1/y, x_2/y)$. На этом графике ломаная линия SS' является границей эффективности. Точки A , B и C эффективны. Точка P неэффективна, при проецировании ее на границу эффективности в качестве целевой точки служит точка Q . Точка D лежит на границе, но не является эффективной в смысле Парето-Купманса [106, с. 45]. Неэффективная точка M при проецировании на границу эффективности проецируется в точку N , которая также не является эффективной в смысле Парето-Купманса. Для достижения полной эффективности точек D и N их нужно переместить вдоль границы эффективности в точки C и A соответственно, что позволит уменьшить значение одной из входных переменных без увеличения значения другой входной переменной. В этом случае отрезки CD и AN будут являться величинами так называемых *дополнительных переменных* (slacks) [104, 106]. Согласно теории метода DEA, для того чтобы объект был эффективным в смысле Парето-

Купманса, необходимо, чтобы он находился на границе эффективности (т.е. имел бы показатель эффективности, равный единице), и при этом дополнительные переменные имели бы нулевые значения по всем измерениям [106, с. 45].

Дополнительные переменные могут иметь ненулевые значения как по входам, так и по выходам, независимо от ориентации модели на вход или на выход. Это объясняется тем, что в качестве ограничений в моделях используются неравенства [104, 106].

На рисунке 2.5 видно, что граница эффективности имеет фрагменты, параллельные осям координат. Как известно из теории метода DEA [104, с. 176], наличие этих фрагментов объясняется малым количеством объектов в выборке и способом построения границы эффективности. При наличии бесконечной выборки граница была бы не кусочно-линейной, а гладкой кривой.

При выработке критерия качества границы эффективности необходимо основываться на том или ином принципе, который определял бы весь ход рассуждений по конструированию критерия. Принцип можно сформулировать в такой форме: разнообразие граничных точек должно быть "не хуже" (не меньше) разнообразия неэффективных точек. Это означает, что неэффективные точки должны проецироваться только на эффективную часть границы эффективности, а не на ее фрагменты, параллельные осям координат. Следовательно, неэффективные точки не должны иметь ненулевых значений дополнительных переменных. Выражаясь формально, для достижения максимального значения критерия качества границы эффективности все точки-проекции должны быть эффективными в смысле Парето-Купманса, т.е. должны отсутствовать ненулевые значения дополнительных переменных. Если же ненулевые значения присутствуют у ряда объектов, то на значение критерия должны влиять не только число таких объектов, но также число переменных, имеющих ненулевые значения (суммарное по всем объектам), а также относительная величина дополнительных переменных (суммарная по всем объектам) по сравнению со значениями соответственных входных и выходных переменных объектов.

На основании вышесказанного сформулируем следующие показатели для оценки качества границы эффективности [51]:

1. Отношение числа объектов, имеющих ненулевые значения дополнительных переменных (slacks), к общему числу объектов в изучаемой выборке.

2. Отношение фактического числа ненулевых значений дополнительных переменных по всем неэффективным объектам к максимально возможному числу ненулевых значений таких переменных

3. Суммарная относительная величина дополнительных переменных по всем неэффективным объектам.

Поскольку ни один из приведенных показателей в отдельности не дает исчерпывающего описания картины, имеющей место в отношении дополнительных переменных, то предлагается использовать *векторный* критерий, включающий все три показателя.

Опишем порядок расчета предлагаемых показателей векторного критерия, введя предварительно ряд обозначений.

Пусть в выборке присутствуют N объектов, а число объектов, являющихся эффективными в смысле Парето-Купманса, равно N_{PK} . Число входных переменных равно n_x , число выходных переменных – n_y . Значения дополнительных переменных по i -ой входной координате и j -ой выходной координате для объекта с индексом k равны, соответственно, e_i^k и s_j^k . Значения входных и выходных переменных для объекта с индексом k равны, соответственно, x_i^k и y_j^k .

Показатель 1. Число объектов, имеющих ненулевые значения дополнительных переменных (slacks), обозначим N_S . Это значение в общем случае не равно $N - N_{PK}$. Тогда значение показателя 1 будет определяться так:

$$K_1 = \frac{N_S}{N}.$$

Диапазон значений этого показателя будет $[0; 1)$. Нулевое значение является наилучшим. Оно указывает на полное отсутствие объектов с ненулевыми значениями дополнительных переменных. Рост значения этого показателя указывает на ухудшение качества границы эффективности. В предельном случае может иметь место ситуация, когда на границе окажется всего один объект, и при этом все остальные объекты имеют ненулевые значения дополнительных переменных. Тогда значение показателя будет неограниченно приближаться к единице с увеличением числа объектов в выборке.

Показатель 2. Напомним, что ненулевые значения дополнительных переменных возможны одновременно по входным и выходным переменным. Поэтому максимально возможное число ненулевых значений дополнительных переменных по всем неэффективным объектам равно [51]:

$$S_{\max} = (N - N_{PK}) \cdot (n_x + n_y).$$

Тогда значение второго показателя предлагаемого критерия качества границы эффективности будет равно отношению фактического числа ненулевых значений дополнительных переменных по всем неэффективным объектам к максимально возможному числу ненулевых значений таких переменных:

$$K_2 = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\max}},$$

где $S_{\text{факт}}$ – фактическое число ненулевых значений дополнительных переменных по всем неэффективным объектам. Оно определяется по итогам проведенных расчетов показателя эффективности для всех объектов выборки.

Диапазон значений этого показателя будет $[0; 1]$. Нулевое значение показателя является наилучшим, а значение, равное единице, – наихудшим. Если значение показателя равно единице, то это означает, что *все* (сколько бы их ни

было) неэффективные объекты имеют ненулевые значения дополнительных переменных по *всем* входам и выходам.

Показатель 3. Для его вычисления просуммируем по всем объектам в выборке отношения значений дополнительных переменных к фактическим значениям соответствующих переменных. Получим (обозначения см. выше):

$$K_3 = \sum_{k=1}^N \left(\sum_{i=1}^{n_x} \frac{e_i^k}{x_i^k} + \sum_{j=1}^{n_y} \frac{s_j^k}{y_j^k} \right).$$

Диапазон значений этого показателя будет $[0; +\infty)$. Нулевое значение показателя является наилучшим, оно возможно только при полном отсутствии объектов с ненулевыми значениями дополнительных переменных.

Особенностью предлагаемого критерия является то, что его можно вычислить только *после* проведения оценки эффективности всех объектов в изучаемой выборке. Значения критерия, вычисленные для одной и той же выборки объектов, могут различаться в зависимости от ориентации модели на вход или на выход.

Предложенный критерий качества границы эффективности выполняет функцию, аналогичную проверкам статистических гипотез в статистике. Его можно с некоторой долей условности сравнить, например, с коэффициентом детерминации R^2 , который используется для анализа общего качества оцененного уравнения линейной регрессии [21]. Критерий может использоваться не только при работе с искусственными объектами, но также и с реальными объектами.

Скаляризация векторного критерия. Для того чтобы из ряда искусственных границ эффективности, построенных разными экспертами, выбрать лучшую (лучшие), воспользуемся возможностями самого же метода DEA. С этой целью сформируем выборку объектов, которыми будут являться различные экземпляры векторного критерия. В качестве входных переменных будем использовать три показателя векторного критерия, поскольку все эти показате-

ли подчиняются правилу "чем меньше значение, тем лучше". Специфика метода DEA требует наличия хотя бы одной выходной переменной, поэтому в качестве выходной переменной будем использовать унифицированный выходной показатель, которому присваивается значение 1 для всех исследуемых объектов [106, с. 169–174]. Поскольку выдавать рекомендации по увеличению значений выходной переменной нет смысла, и поскольку значение этой переменной равно единице для всех объектов в выборке, то выберем модель метода DEA, ориентированную на вход с условием постоянного эффекта масштаба:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & (\theta), \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0. \end{aligned}$$

После решения этой модели для всех полученных экземпляров критерия качества искусственной границы эффективности на основании значений интегрального показателя эффективности θ можно выбрать одну (или несколько) границ для использования.

2.4 Распознавание случаев взаимного пересечения искусственных границ эффективности

Целью построения искусственных границ эффективности является разделение совокупности исследуемых объектов на ряд *непересекающихся* классов. Поэтому важной задачей является распознавание случаев взаимного пересечения построенных границ. Идею предлагаемого алгоритма рассмотрим на примере задачи с двумя переменными: одной входной и одной выходной при переменном эффекте масштаба. Модель, соответствующая этой ситуации, такова [104, с. 150]:

$$\begin{aligned}
& \min_{\theta, \lambda}(\theta), \\
& -y_i + Y\lambda \geq 0, \\
& \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\
& \sum \lambda_i = 1, \\
& \lambda \geq 0.
\end{aligned}$$

На рисунке 2.6 изображены три границы эффективности: AA' , BB' и CC' . Границы AA' и BB' на рисунке пересекаются. Если матрицы X и Y сформировать на основе точек границы AA' , а векторы x_i и y_i формировать поочередно на основе точек границы BB' , оценивая тем самым эффективность точек, принадлежащих границе BB' , относительно границы AA' , то окажется, что эффективность точки B_1 меньше единицы, а эффективность точек B_2 и B_3 больше единицы. Следовательно, точка B_1 лежит внутри границы AA' , а точки B_2 и B_3 находятся вне этой границы [104, с. 222–227]. На этом основании можно заключить, что границы пересекаются.

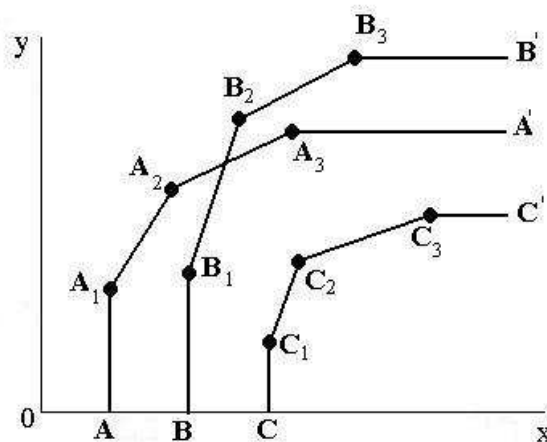


Рисунок 2.6 – Распознавание взаимных пересечений границ эффективности

Если бы мы взяли в качестве базовой границы границу BB' , то тогда эффективность точек A_1 и A_2 была бы больше единицы, а точки A_3 – меньше единицы. Следовательно, также был бы сделан вывод о взаимном пересечении границ AA' и BB' .

Если бы мы оценили эффективность точек, принадлежащих границе CC' , относительно границы AA' , то значения всех показателей эффективности были

бы *меньше* единицы. А если бы, наоборот, за базу для оценки точек, принадлежащих границе AA', приняли границу CC', то значения всех показателей эффективности были бы *больше* единицы. Следовательно, был бы сделан вывод о том, что эти две границы не пересекаются.

Теперь мы можем сформулировать алгоритм распознавания случаев взаимного пересечения искусственных границ эффективности:

Шаг 1. Сформировать матрицы X и Y на основе точек любой из двух исследуемых границ. Назовем эту границу базовой, тогда другая граница будет небазовой.

Шаг 2. Оценить эффективность всех эффективных точек небазовой границы относительно базовой границы, формируя векторы x_i и y_i в модели поочередно из координат точек небазовой границы.

Шаг 3. Принять решение относительно взаимного пересечения двух границ на основе правила:

если $\theta_i > 1, \forall i$ или $\theta_i < 1, \forall i$, то границы взаимно не пересекаются;

если $\exists i: \theta_i > 1$ и $\exists i: \theta_i < 1$, то границы взаимно пересекаются.

Число попарных сопоставлений границ, требуемое для получения полной информации обо всех случаях их взаимного пересечения, будет равно числу сочетаний из N по 2 [10, с. 203], поскольку порядок границ внутри пары не имеет значения:

$$C_N^2 = \frac{N!}{2!(N-2)!},$$

где N – общее число искусственных границ эффективности.

Если взаимных пересечений границ нет, то система искусственных границ позволит разделить всю совокупность реальных объектов на непересекающиеся классы. Если взаимные пересечения границ имеют место, следует от них избавиться путем переформирования в первую очередь тех границ, которые имеют наибольшее число пересечений с другими границами.

2.5 Выводы

1. Предложен и обоснован алгоритм формирования искусственных эффективных объектов. Алгоритм основан на поэтапном увеличении размерности задачи и построении частных границ эффективности для двух переменных при зафиксированных значениях остальных переменных.

2. Предложен алгоритм решения задачи классификация на основе искусственной границы эффективности. Этот алгоритм позволяет отнести каждый реальный объект из исследуемой совокупности к одному из непересекающихся классов, однородных в смысле эффективности.

3. Предложен и обоснован векторный критерий качества искусственной границы эффективности, построенный на информации о значениях дополнительных переменных. Предложен метод скаляризации векторного критерия на основе моделей метода DEA. Данный метод позволит выбрать наиболее качественную границу (в смысле предложенного критерия) из всех границ, сформированных экспертами.

4. Предложен алгоритм распознавания взаимных пересечений искусственных границ эффективности. Его применение позволит гарантировать, что классы, на которые производится разделение объектов совокупности, будут непересекающимися.

Таким образом, разработанные алгоритмы позволят сформировать систему искусственных границ эффективности, отвечающих определенным формальным требованиям, выполнение которых даст возможность более обоснованного принятия решений по классификации объектов.

3 Поддержка принятия решений на основе метода Data Envelopment Analysis по оценке эффективности функционирования сложных иерархических систем

Изучение процессов, протекающих в сложных системах, всегда было актуальной задачей (см., например, [7, 27, 29, 48, 49, 65–67, 84]). При этом одно из центральных мест в таких исследованиях занимали вопросы оценки эффективности функционирования систем (см., например, [2, 13, 27, 46]).

3.1 Методика оценки эффективности функционирования сложных иерархических систем

Значительная часть систем в окружающем нас мире имеет иерархический характер [5, 12, 27, 48, 60]. Кроме того, одним из способов организации систем является использование матричной структуры взаимосвязей элементов [5, 12]. Таким образом, можно прийти к *матрично-иерархической* структуре, которую имеют многие системы в экономике и технике. В качестве примера можно привести структуру экономики страны. Территориальная структура имеет целый ряд уровней иерархии – от уровня страны до муниципального образования. Отраслевая структура также имеет иерархический характер – от уровня сфер экономики до специализированных бригад или рабочих групп. Кроме того, на каждом уровне территориальной иерархии можно рассмотреть отраслевую структуру, приходя, таким образом, к структуре матричной. В целом можно говорить о матрично-иерархической структуре экономики страны. Для оценки эффективности функционирования подобных систем хорошо подходит метод DEA. Применяя данный метод на различных уровнях иерархии системы, можно выявить не только уровень эффективности всей системы, но также установить, условно говоря, внутреннюю структуру этого уровня.

Эффективность применения метода DEA будет выше в том случае, когда он является органической частью определенной технологии (или методики), которая реализуется на основе автоматизированной системы поддержки принятия решений. При этом универсальная методика оценки эффективности сложных иерархических систем может конкретизироваться для применения в определенной предметной области, например, в сфере управления системой образования [20, 54, 55, 56]. Технологию применения метода DEA в таких случаях можно изложить в виде следующей методики.

1. Оценка эффективности функционирования подобных систем представляется сложной задачей [5, 46, 48, 60, 84]. Одним из способов решения сложных проблем является разделение их на части, решение которых зачастую найти легче. В случае рассматриваемых матрично-иерархических структур целесообразным будет разделение системы на уровни в двух направлениях: условно говоря, в территориальном и отраслевом. Условность имеет место потому, что не все реальные системы, имеющие матрично-иерархическую структуру, разделены именно на территории и отрасли.

2. Известно, что о качестве функционирования какой-либо системы можно судить только с точки зрения системы более высокого порядка [84]. Исследуя эффективность функционирования какого-либо объекта (региона страны, отрасли экономики и т.п.), следует оценивать ее с двух сторон – с внешней и с внутренней. Под *оценкой с внешней стороны* подразумевается оценка объекта в группе подобных ему объектов. В этом случае объект рассматривается как единое целое. Под *оценкой с внутренней стороны* подразумевается оценка эффективности функционирования *элементов*, составляющих этот объект. Окончательные выводы относительно эффективности изучаемого объекта можно делать при сопоставлении результатов этих двух оценок. Применение метода DEA на разных уровнях иерархии в сложной системе позволит провести такую оценку.

3. Поскольку метод DEA дает значение показателя *относительной* эффективности (объекты в выборке сравниваются только между собой) [104, 106],

то для сравнения объектов из различных подсистем одного уровня иерархии необходимо выбрать один из двух способов:

- объединить объекты в одну общую выборку (что не всегда может быть возможным) и решать задачу DEA для нее;
- сформировать искусственную границу эффективности, относительно которой и следует оценивать эффективность объектов из различных выборок (подсистем).

4. При большом числе уровней иерархии в системе для ЛПР может представлять значительную сложность интерпретация показателей эффективности объектов на различных уровнях иерархии с целью получения единого показателя эффективности системы [84]. В таком случае можно использовать дисперсию показателей эффективности, рассчитанную для каждой подсистемы, в качестве меры однородности достигнутого уровня эффективности всей системы. Для оценки эффективности системы следует руководствоваться правилом: чем больше величина средней дисперсии показателей эффективности в подсистемах, тем вся система в целом менее устойчива и менее эффективна. Даже если оценка системы с внешней стороны достаточно высока, то все же наличие большой дисперсии оценок эффективности внутри системы должно служить сигналом потенциальной неэффективности системы в будущем.

5. Если при оценке эффективности подсистем использовались искусственные границы эффективности, то можно вычислять среднюю эффективность подсистем всей системы. Этот показатель также будет характеризовать средний уровень равномерности развития подсистем в системе: чем более равномерно развиты подсистемы, тем, при прочих равных условиях, система будет устойчивее.

6. Необходимо также коснуться и вопроса выбора показателей для моделей DEA. Как уже отмечалось в главе 1, метод DEA требует разделения показателей на входные и выходные [104, 106], но логика предметной области не всегда позволяет произвести такое разделение обоснованно. Поэтому иногда придется искусственно относить к *входным* показателям те из них, для которых

желательно уменьшение их значений, а к *выходным* – те, для которых желательно увеличение их значений. Те показатели, на которые невозможно влиять на рассматриваемом уровне иерархии системы, следует отнести к переменным окружающей среды. Такие переменные учитываются в моделях метода DEA (см., например, модель (1.7)) при проведении расчетов и оказывают влияние на их результаты, но по самим этим переменным никаких рекомендаций не выдается [104, 106].

3.2 Применение разработанной методики для оценки уровня экономической безопасности региона

3.2.1 Введение в проблему оценки уровня экономической безопасности региона

3.2.1.1 Понятие экономической безопасности

В современных условиях большое значение приобретают такие понятия, как "безопасность", "национальная безопасность", "экономическая безопасность" [42, 43]. Это объясняется ускорением интеграции мировой экономики. Одним из отрицательных качеств тесной взаимосвязи различных государств является быстрое распространение кризисов, возникших в одних регионах планеты, на другие регионы. В настоящее время развитые страны разрабатывают свои стратегии национальной безопасности. В этих стратегиях экономика занимает ключевое место [73, с. 6–7].

Известный российский исследователь проблем национальной экономической безопасности В.К. Сенчагов пишет, что "безопасность – это состояние объекта в системе его связей с точки зрения способности к самовыживанию и развитию в условиях внутренних и внешних угроз, а также действия непредсказуемых и трудно прогнозируемых факторов" [73, с. 35]. А сущность экономиче-

ской безопасности он же определяет как "такое состояние экономики и институтов власти, при котором обеспечивается гарантированная защита национальных интересов, социально направленное развитие страны в целом, достаточный оборонный потенциал даже при наиболее неблагоприятных условиях развития внутренних и внешних процессов" [73, с. 58]. Важнейшими составляющими компонентами экономической безопасности являются: финансовая, энергетическая, военная (оборонная), оборонно-промышленная, информационная и продовольственная безопасность [73, с. 59].

Система экономической безопасности на общероссийском уровне включает в себя семь блоков:

1. Концепция национальной безопасности.
2. Национальные интересы России в сфере экономики.
3. Угрозы в сфере экономики.
4. Индикаторы экономической безопасности.
5. Пороговые значения индикаторов экономической безопасности.
6. Организация экономической безопасности.
7. Правовое обеспечение экономической безопасности.

Национальные интересы России в сфере экономики включают в себя:

- способность экономики функционировать в режиме расширенного воспроизводства;
- повышение благосостояния народа и качества жизни;
- единство и устойчивость финансово-банковской системы;
- рациональная структура внешней торговли;
- независимость России на стратегически важных направлениях научно-технического прогресса и др.

В то же время имеют место следующие угрозы в сфере экономики:

- утеря производственного потенциала из-за высокого износа основных фондов;
- чрезмерный внешний долг и сокращающиеся инвестиционные возможности страны;

- высокий уровень бедности населения;
- утечка капитала и др. [73, с. 62–68].

Индикаторы экономической безопасности – это показатели состояния экономики, которые обладают следующими свойствами:

- они в количественной форме отражают угрозы экономической безопасности;
- обладают высокой чувствительностью и изменчивостью и поэтому имеют способность предупреждать общество, государство и субъектов рынка о возможных опасностях в связи с изменением макроэкономической ситуации;
- эти индикаторы взаимодействуют между собой в достаточно сильной степени [73, с. 69].

В качестве примера таких индикаторов можно привести: объем ВВП и доля в ВВП инвестиций в основной капитал.

Очевидно, что важны не индикаторы сами по себе, а их определенные значения, несоблюдение которых может вызвать негативные тенденции в экономике страны. Такие значения называют *пороговыми значениями* индикаторов экономической безопасности. Они характеризуют "предельные величины, несоблюдение которых препятствует нормальному ходу развития экономики и социальной сферы и приводит к формированию разрушительных тенденций в области производства и уровня жизни населения" [73, с. 72].

Сходная мысль, но уже конкретизированная применительно к региональному уровню, высказывается и в работе [89]: "Для экономической безопасности территории принципиальными являются пороги показателей, т.е. предельные значения, несоблюдение (превышение или недостижение) которых приведет к началу разрушительных, нерегламентированных процессов в регионе" [89, с. 83]. Таким образом, пороговые значения индикаторов экономической безопасности представляют собой количественные параметры, определяющие границу между безопасной и опасной зонами в различных сферах экономики.

Важным является то, что "критическая величина экономических показателей безопасности не всегда означает ситуацию полного краха экономики в

целом или отдельных ее областей. Она, прежде всего, свидетельствует о необходимости оперативного вмешательства органов управления с целью изменения опасных тенденций. Поэтому установление общепризнанных пороговых пределов деструктивного развития экономики позволяет ограничить существующую ныне свободу оценок ситуации в стране и найти точки взаимопонимания различных политических сил" [17, с. 85].

3.2.1.2 Региональные аспекты экономической безопасности

Как считают различные исследователи (см. например, [1, 17, 34, 61, 73, 88, 89]), проблема защиты экономической безопасности весьма остро стоит и на региональном уровне. Это объясняется влиянием проблем, возникающих в отдельных регионах, на экономическую безопасность всей страны в целом, а также большими различиями в уровне социально-экономического развития регионов России. Конечно, все регионы имеют и общие черты социально-экономического развития, но каждый из них уникален в силу своего геополитического положения, исторических и национальных особенностей, традиционно сложившегося разделения труда и т.д. В результате реформ существенно возросли региональные различия в уровне производства, материальном положении населения и демографической ситуации [17, с. 63].

В.К. Сенчагов дает такое определение экономической безопасности региона: "Экономическая безопасность региона рассматривается как состояние, при котором отсутствуют, сведены к минимуму или устранены внутренние и внешние угрозы сохранения социально-экономического и финансового потенциала региона ниже уровня, достаточного для повышения благосостояния его населения. Рост благосостояния населения региона – основа отсутствия (или слабого проявления) социальных конфликтов, сепаратистских намерений и обеспечения единства Федерации" [73, с. 84].

А в работе [17] указывается, что "сущность экономической безопасности региона может быть определена как возможность действенного контроля региональными органами управления за эффективностью использования природных, трудовых, материальных, финансовых ресурсов..., повышением качества продукции, работ, услуг, демополизацией производства, повышением конкурентоспособности хозяйствующих субъектов..." [17, с. 44].

Система экономической безопасности на уровне региона имеет некоторые особенности по сравнению с общероссийской системой. Одной из таких особенностей является несколько скорректированный набор индикаторов, используемых для оценки состояния экономики в регионе. В частности, более детально прорабатываются показатели, характеризующие социальную сферу, но отсутствуют некоторые показатели, более подходящие для описания состояния безопасности на уровне всей страны, например, касающиеся оборонных аспектов безопасности.

Как указывают различные исследователи (см., например, [17, с. 139; 72, 73, с. 90]), важнейшими элементами обеспечения экономической безопасности в регионе являются мониторинг и прогнозирование факторов, определяющих угрозы экономической безопасности. Качественное проведение мониторинга и оперативное принятие решений на его основе невозможно без использования системы поддержки принятия решений [17, 75].

3.2.1.3 Подходы к определению пороговых значений показателей экономической безопасности региона

Одним из элементов системы экономической безопасности являются пороговые значения индикаторов экономической безопасности. Точное и обоснованное определение этих значений считается принципиально важным, поскольку, как пишет А.В. Колосов (см. [90, гл. IV]), достоверность оценки уровня экономической безопасности зависит от правильности определения количествен-

ных параметров пороговых значений. При этом множественность пороговых значений, различных по своему содержанию и характеру, требует практически такой же множественности методов их расчета, которые не могут быть раз и навсегда данными. В зависимости от конкретной экономической ситуации они должны изменяться под влиянием обстоятельств так же, как и сам перечень пороговых значений. Конечно, общие методологические подходы к определению пороговых значений могут и должны быть достаточно устойчивыми, конкретизируясь применительно к группам пороговых значений, выражающих существенные стороны состояния и развития отдельных сфер экономики.

В самом общем виде применяются следующие методические подходы:

– расчетные методы, когда в основу расчета закладываются натуральные нормативы (например, физиологические нормы питания, социальные нормы потребления), которые оцениваются в денежном выражении, результаты оценок суммируются, и таким образом определяются пороговые значения экономической безопасности;

– метод аналогий, когда величина пороговых значений определяется теми же способами, что в зарубежной или отечественной практике, но для иных целей;

– задающий метод, когда величина пороговых значений определяется на основе экономической политики, проводимой для достижения поставленных целей;

– экспертный метод, когда пороговые значения определяются на основании мнений группы экспертов.

Перечисленные методы можно сочетать, так как большинство пороговых значений взаимосвязано и взаимозависимо. В основе этой взаимозависимости лежат объективные балансовые связи, что дает возможность проверить расчеты взаимоувязанности отдельных пороговых значений [90, гл. IV].

Очень важно правильно определить показатель, принимаемый в качестве исходного показателя для расчета. Для вычисления последующих показателей

можно использовать известные из теории (или полученные экспертным путем) их соотношения [73, с. 74–75].

Считается (см., например, [17]), что система параметров безопасности может корректироваться с учетом особенностей региона. При доработке системы показателей для конкретного региона необходимо учесть ряд моментов.

"1. Целесообразно разделить все показатели на две группы: показатели-критерии, четко ориентированные на оценку уровня экономической безопасности, и аналитико-информационные показатели, дополняющие общую картину.

2. Необходимо исключить показатели, которые не поддаются расчетам или по которым пороговые значения безопасности определить невозможно.

3. Расчет показателей, рассматриваемых изолированно друг от друга, не позволяет выйти на их пороговые значения, только в системе можно получить их объективную оценку.

4. Пороговые значения показателей могут определяться только с учетом особенностей периодов развития экономики, что обуславливает необходимость использования вариантной оценки пороговых значений показателей..." [17, с. 85].

3.2.2 Методика оценки уровня экономической безопасности региона

Целесообразность применения метода DEA в сфере оценки уровня региональной экономической безопасности подробно обоснована в работах [19, 70]. Коротко напомним только, что в результате применения данного метода можно получить для каждого региона один – интегральный – показатель уровня экономической безопасности, а также конкретные рекомендации по изменению значений тех или иных переменных (индикаторов), описывающих состояние региона, с целью повышения уровня его экономической безопасности.

Предложенная методика оценки эффективности матрично-иерархических систем на основе метода DEA может быть адаптирована к проблемам регио-

нальной экономической безопасности. В данном случае под "эффективностью" понимается уровень экономической безопасности.

Когда речь идет о регионе России, то нужно учитывать, что сам такой регион состоит из определенного числа районов, а каждый район включает в себя целый ряд муниципальных образований. С другой стороны, регион можно рассматривать и как совокупность отраслей экономики, действующих на его территории и на территориях его районов и муниципальных образований. Таким образом, можно прийти к матричной структуре, в которой одно измерение составляют регионы, а второе образуют отрасли экономики. Мы можем сформировать такие матрицы на различных уровнях иерархии: общероссийском, региональном, субрегиональном, муниципальном. Субрегиональный уровень – это уровень административных районов или групп районов региона.

Применяя метод DEA на различных уровнях иерархии регионов и отраслей, можно выявить не только уровень экономической безопасности конкретного региона (или отрасли) в ряду всех регионов России, но также установить, условно говоря, внутреннюю структуру достигнутого уровня безопасности. Поясним это на примере. Проведя исследование по методу DEA на уровне России и получив конкретное значение показателя экономической безопасности для интересующего нас региона, мы можем провести аналогичное исследование уже на уровне данного региона, используя в качестве объектов для метода DEA административные единицы, например, районы, этого региона. По итогам этого этапа исследований можно сделать определенные выводы на основании распределения значений показателя экономической безопасности, вычисленного для районов интересующего нас региона. Если большая часть районов имеет значение показателя безопасности, равное единице или близкое к ней, то это означает сравнительно одинаковый уровень их экономической безопасности. Но если разрыв в значениях показателя безопасности между группой район-лидеров и остальными районами велик, то это указывает на неравномерность развития районов и, следовательно, может свидетельствовать о наличии проблем в сфере экономической безопасности.

Проблема разделения переменных на входные и выходные будет иметь место в случае применения метода DEA в сфере региональной экономической безопасности. Если рассмотреть те наборы показателей, которые упоминаются в литературе, посвященной этой сфере (см., например, [17, 73]), то оказывается, что разделить показатели региональной безопасности на входные и выходные непросто. Это объясняется тем, что между показателями нет технологической связи, как это имеет место в процессе традиционного материального производства. В этом случае следует воспользоваться рекомендациями, приведенными в начале главы 3.

Важным фактором, влияющим на алгоритм формирования эталонных объектов в сфере региональной экономической безопасности, является наличие пороговых значений показателей [17, 61, 73, 89]. К сожалению, в литературе эти пороговые значения приводятся без указания возможных – допустимых – отклонений в ту или иную сторону [17, 61, 73, 89]. На наш взгляд, эти допустимые отклонения могут иметь смысл потому, что оценка уровня экономической безопасности выводится на основе *совокупного* влияния всех факторов. Отрицательное влияние одного фактора может до некоторой степени погашаться положительным влиянием другого фактора. Таким образом, недостижение порогового значения по одному показателю может компенсироваться превышением порогового значения по другому показателю. Конечно, такие пары (или даже группы) показателей, взаимно компенсирующих друг друга, следует выявлять на основе содержательного анализа предметной области.

Конечно, можно и просто формировать один эталонный объект, который будет иметь все значения показателей, равные пороговым. Но в этом случае вступает в действие ограничение метода DEA, заключающееся в том, что всем неэффективным объектам (например, регионам, экономика которых находится в небезопасном состоянии) будет назначаться в качестве эталона один и тот же объект [106]. В этом случае для объектов, имеющих различные пропорции значений показателей, не будет достаточного разнообразия эталонных объектов. В результате специфика неэффективных объектов будет учтена не полностью. Но

следует все же сказать, что даже и в этом случае будет получена полезная информация, касающаяся ранжирования объектов по степени их неэффективности.

При адаптации предложенной методики к сфере региональной экономической безопасности должна быть учтена матрично-иерархическая структура взаимосвязей объектов в предметной области.

При переходе на уровни отраслей и субрегионов (т.е. районов, групп районов) необходимо проводить исследования для каждого субрегиона, входящего в изучаемый регион, а также для каждой отрасли, представленной в регионе. Обоснованный вывод относительно уровня экономической безопасности региона можно делать только на основании детального анализа, проведенного на всех уровнях иерархии объектов. Таким образом, число анализируемых объектов увеличивается с понижением уровня иерархии.

Кроме отраслей целесообразно ввести в рассмотрение еще и, условно говоря, социально-экономические сферы, которые формируются как результат взаимодействия нескольких отраслей. В качестве примеров могут служить сфера внешнеэкономической безопасности [70, 75], сфера здоровья населения [59, 91].

В настоящей работе адаптированная методика рассматривается на примере оценки состояния здоровья населения региона.

Этап 1. Оценка уровня экономической безопасности регионов России.

Показатели. Поскольку на данном этапе каждый регион рассматривается как единое целое, то показатели должны иметь межотраслевой характер. В качестве примера таких показателей могут быть названы: валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения, среднедушевые доходы населения, ожидаемая продолжительность жизни при рождении.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню относительного развития и установка целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей. Наличие данного этапа обусловлено необходимостью

выявления того общего фона, на котором производится оценка состояния здоровья населения региона.

Этап 2. Оценка состояния здоровья населения регионов России.

Показатели. Уровень рождаемости; уровень смертности; уровень заболеваемости по различным группам заболеваний и др.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню состояния здоровья населения и установка целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей.

Этап 3. Оценка эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" в регионах России.

Показатели. Число врачей; число коек; мощность лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) (число посещений в смену и т.п.); бюджет регионального здравоохранения; число жителей в регионе; факторы, отрицательно влияющие на здоровье (число автомобилей, общий объем промышленных выбросов и т.д.); климатические условия; экологические условия (наличие качественной питьевой воды и т.п.); ожидаемая продолжительность жизни при рождении.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" и установка целей для неэффективных региональных отраслей по достижению определенных значений показателей.

Этап 4. Оценка уровня экономической безопасности субрегионов в конкретном регионе России.

Показатели. Набор показателей должен характеризовать каждый субрегион как единое целое. В качестве примера можно привести такие показатели: уровень безработицы, просроченная дебиторская задолженность на душу населения, объем производства промышленной продукции на душу населения.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование субрегионов по уровню относительного развития и установка

целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей. Выявляется степень неравномерности развития субрегионов в каждом регионе.

Этап 5. Оценка состояния здоровья населения в субрегионах конкретного региона России.

Показатели. Те же, что и на уровне региона.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование субрегионов по уровню состояния здоровья населения и установка целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей в данной сфере. Поскольку метод DEA позволяет получить для каждого объекта один обобщенный показатель эффективности, то полезную информацию для принятия решения может дать знание разброса значений этого показателя в изучаемой выборке объектов. Таким образом, на данном этапе выявляется степень разброса значений обобщенного показателя состояния здоровья населения в субрегионах. Это позволяет определить проблемные регионы, в которых такой разброс велик.

Этап 6. Оценка эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" в субрегионах конкретного региона России.

Показатели. В основном те же, что и на уровне региона.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование субрегиональных систем здравоохранения по интегральному показателю эффективности их функционирования и установка целей для неэффективных систем по достижению определенных значений показателей. Выявляется степень разброса значений показателя эффективности субрегиональных систем здравоохранения, определяются проблемные регионы, в которых такой разброс велик.

Этап 7. Оценка эффективности функционирования лечебно-профилактических учреждений в отрасли "Здравоохранение" в конкретном субрегионе конкретного региона России.

Показатели. Показатели должны характеризовать ЛПУ в целом. В качестве примера можно назвать число коек, число врачей и средних медицинских работников.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование субрегиональных ЛПУ по интегральному показателю эффективности их функционирования и установка целей для неэффективных ЛПУ по достижению определенных значений показателей. Выявляется степень разброса значений показателя эффективности субрегиональных ЛПУ. Определяются проблемные субрегионы, в которых такой разброс велик.

К последнему этапу необходимо сделать дополнительное пояснение. Формировать выборки ЛПУ можно двумя способами. Первый способ заключается в формировании выборок ЛПУ по каждому изучаемому субрегиону. В этом случае производится сравнение между собой ЛПУ *только одного* субрегиона и ранжирование ЛПУ по интегральному показателю эффективности функционирования производится только в пределах этого субрегиона. В этом случае нельзя сравнивать между собой показатели эффективности ЛПУ из различных субрегионов: такова особенность применяемого метода DEA [106]. При втором способе все ЛПУ всех изучаемых субрегионов объединяются в одну общую группу, и оценивание эффективности функционирования выполняется для всех ЛПУ, входящих в нее. В этом случае картина может быть более информативной, поскольку уже можно сравнивать между собой эффективности ЛПУ из разных субрегионов. Поэтому можно получить обобщенную информацию – в разрезе субрегионов – о численности ЛПУ, имеющих значение показателя эффективности, равное единице (максимально эффективные ЛПУ), либо значения, попадающие в диапазон, например, от 0,80 до 0,99 (высокоэффективные ЛПУ), либо в диапазон, например, от 0,10 до 0,20 (низкоэффективные ЛПУ). Зная распределение ЛПУ, находящихся в каждом из изучаемых субрегионов, по значениям показателя эффективности, и сопоставляя эти данные с информацией об эффективности функционирования систем здравоохранения в

субрегионах и о состоянии здоровья населения в этих же субрегионах, можно делать соответствующие выводы.

Аналогичные исследования можно провести и на уровне ЛПУ муниципального образования. В этом случае элементами такой системы будут отделения ЛПУ или даже отдельные врачи. При исследовании эффективности врачей их также можно объединять либо в отдельные группы по каждому ЛПУ, либо в общую группу по всем ЛПУ. В этом случае можно не только сравнивать между собой эффективность работы врачей всего изучаемого муниципального образования, но также можно увидеть картину распределения высокоэффективных и низкоэффективных врачей по каждому ЛПУ. Зная значение показателя эффективности для каждого ЛПУ в целом и эффективность врачей этого ЛПУ, можно сопоставить эти показатели и сделать определенные выводы.

Еще одной возможностью получения более информативного описания ситуации в здравоохранении является использование искусственных границ эффективности. В этом случае можно получить такие оценки эффективности функционирования ЛПУ в разных субрегионах, которые (оценки) можно сравнивать между собой. При этом можно классифицировать ЛПУ на основе целой системы искусственных границ эффективности, что позволит описать ситуацию в терминах, более понятных ЛПР.

3.3 Система поддержки принятия решений на основе метода DEA

3.3.1 Общие требования к системам поддержки принятия решений

Прежде чем приступать к анализу подходов к построению систем поддержки принятия решений при управлении экономической безопасностью региона, вкратце напомним, что такое поддержка принятия решений и СППР во-

обще, независимо от целевого назначения. Поддержка принятия решений заключается в помощи ЛПР в процессе принятия решений, а именно [79, с. 20]:

- в помощи ЛПР при анализе объективной составляющей, т.е. в понимании и оценке сложившейся ситуации и ограничений, накладываемых внешней средой;

- в выявлении предпочтений ЛПР, т.е. в выявлении и ранжировании приоритетов, учете неопределенности в оценках ЛПР и формировании его предпочтений;

- в генерации возможных решений, т.е. формировании списка альтернатив;

- в оценке возможных альтернатив, исходя из предпочтений ЛПР и ограничений, накладываемых внешней средой;

- в анализе последствий принимаемых решений;

- в выборе лучшего, с точки зрения ЛПР, варианта.

Системы поддержки принятия решений [79, с. 22]:

1. Помогают произвести оценку обстановки (ситуации), осуществить выбор критериев и оценить их относительную важность.

2. Генерируют возможные решения (сценарии действий).

3. Осуществляют оценку сценариев (действий, решений) и выбирают лучший.

4. Обеспечивают постоянный обмен информацией об обстановке принимаемых решений и помогают согласовать групповые решения.

5. Моделируют принимаемые решения (в тех случаях, когда это возможно).

6. Осуществляют динамический компьютерный анализ возможных последствий принимаемых решений.

7. Производят сбор данных о результатах реализации принятых решений и осуществляют оценку результатов.

Таким образом, СППР является мощным инструментом в руках ЛПР [22, 24, 85].

3.3.2 Архитектура универсальной СППР, построенной на основе метода DEA

Перед тем как приступить к разработке архитектуры СППР, нужно сначала сформулировать ее функции, как основные, так и вспомогательные. Основными функциями, ради выполнения которых наша СППР и создается, будут такие:

- оценка текущего состояния сложной системы, имеющей матрично-иерархическую структуру;
- выдача рекомендаций по достижению *определенных* значений показателей, описывающих состояние этой системы и ее подсистем.

СППР должна выполнять и целый ряд вспомогательных функций, в том числе:

- формирование границы эффективности из искусственных эталонных объектов (гипотетических регионов, отраслей, предприятий). Эта граница должна отвечать определенному критерию качества, который был сформулирован и обоснован в главе 2;
- оказание помощи лицу, принимающему решения, в выборе входных и выходных переменных для моделей DEA;
- предварительная обработка и подготовка исходных данных (например, преобразование значений входных переменных таким образом, чтобы рекомендуемое их изменение соответствовало логике предметной области и особенностям метода DEA);
- визуализация результатов работы СППР в наглядной форме;
- организация обмена данными с другими системами (конвертирование исходных данных, представленных в других форматах, т.е. экспорт и импорт данных).

При разработке архитектуры СППР очень важно определить стратегическую линию, которая будет основой для построения архитектуры. Предлагается строить систему поддержки принятия решений с учетом ее применения для ис-

следования систем, имеющих *матрично-иерархическую* структуру. В этом случае применение метода DEA на разных уровнях иерархии позволит принимать более обоснованные решения как по оценке текущей ситуации в системе, так и по определению целей на будущее.

В качестве основного рабочего инструмента в нашей СППР целесообразно использовать метод DEA.

СППР будет состоять из нескольких функциональных подсистем, показанных на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Структурная схема СППР

Безусловно, центральным модулем в СППР является модуль описания матрично-иерархических взаимосвязей объектов. Эти взаимосвязи хранятся в базе данных в виде записей реляционных таблиц [18].

Модуль, предоставляющий модели DEA и реализующий алгоритмы их решения, является основным "решающим" – рабочим – механизмом СППР. Различные модели могут использоваться в зависимости от специфики решаемой практической задачи. Оценка текущего состояния исследуемой системы может производиться как с использованием искусственных эталонных объектов, так и без них.

Модуль формирования эталонных объектов тесно взаимодействует с модулем, формирующим критерий качества границы эффективности.

В модуле "Вспомогательные математические инструменты для предварительной подготовки данных и их итоговой обработки" предусматривается, в частности, использование таких методов анализа и обработки данных, как кластерный, дискриминантный, корреляционный и регрессионный анализ. Примеры совместного использования перечисленных методов и метода DEA можно найти, например, в [114, 126].

В базе данных хранится не только исходная статистическая информация об изучаемых объектах, но также и результаты выполненных расчетов. Пополняться база данных может как посредством ручного ввода новых данных, так и путем конвертирования данных, полученных из других баз данных. Для преобразования таких данных в требуемый формат служит модуль экспорта/импорта данных. Этот модуль позволяет не только импортировать данные в базу данных СППР, но также и экспортировать данные, т.е. представлять их в форматах, необходимых для обмена с другими программными системами.

3.3.3 Подходы к построению СППР в сфере управления экономической безопасностью региона

Несмотря на довольно большой поток литературы, посвященной проблеме оценки уровня региональной экономической безопасности (см., например, [1, 34, 61, 73, 88, 89]), четко сформулированных требований к СППР, предна-

значенной для работы в данной сфере, как правило, найти в этих источниках не удастся. Авторы обычно ограничиваются лишь упоминанием некоторых принципов, на которых строятся или должны строиться такие системы, а также описывают используемые математические методы. О какой-либо архитектуре СППР, подразумевающей определение основных модулей (подсистем) этой СППР, описания формализованных правил взаимодействия этих модулей и т.п., речь в подавляющем большинстве изученных источников не идет. Исключением из общего правила является исследование Н.С. Гуськова, В.Е. Зенякина, В.В. Крюкова "Экономическая безопасность регионов России" [17]. Однако и в этом исследовании нет универсальных требований, которые можно предъявить к типичной СППР, работающей в сфере региональной экономической безопасности, а рассматривается конкретная СППР, построенная на основе использования методов нечеткой логики. Тем не менее, авторы формулируют требования к данной – специфической – СППР, а также принципы ее построения. Требования к СППР сведены в таблицу 3.1 [17, с. 240–241].

Таблица 3.1 – Требования к системе поддержки принятия решений

Что должна позволять система	Что должна содержать система
1	2
<p>Быть опытным консультантом-советчиком (экспертом), способным оказывать информационную поддержку в процессе планирования и управления</p>	<p>Сценарий выработки плана диагностики социально-экономической безопасности (СЭБ) региона</p> <p>Модели характеристик СЭБ региона</p> <p>Знания о закономерностях функционирования экономико-финансовой сферы региона, о пороговых значениях показателей СЭБ, о структуре социально-политических ориентаций и т.п.</p> <p>Знания по выбору способов диагностики СЭБ региона</p> <p>Процедуры и механизмы учета многоцелевого характера принимаемых решений об оценках СЭБ региона, представляемых в общем виде в нечеткой форме</p> <p>Механизм объяснения вывода решений</p>

Продолжение таблицы 3.1

1	2
<p>Быть способной к настройке и обучению, восприятию новой информации, учитывать неопределенность оценки ситуаций и принимаемых решений</p>	<p>Механизмы оперативной настройки диагностического комплекса на реальный состав измеряемых показателей, механизмы корректировки типового списка целей, ограничений и исходных данных</p> <p>Механизмы оценки непротиворечивости знаний и оценки их репрезентативности</p> <p>Механизмы учета неопределенности исходной информации в оценке ситуаций</p> <p>Механизмы пополнения знаний (обучения), разрешения неполноты и противоречивости знаний</p> <p>Метазнания по оценке эффективности применения знаний в различных ситуациях (осмысление своего поведения), корректировка знаний, реализация принципа многовариантного подхода к формированию знаний</p>
<p>Быть квалифицированным помощником, способным полностью или частично взять на себя некоторые функции</p>	<p>Процедуры учета (хранения) и анализа поступающей информации от других источников, процедуры обобщения и классификации ситуаций, добывания (перезапроса) информации</p> <p>Процедуры учета опыта применения знаний</p> <p>Процедуры хранения выполняемых команд и разрешаемых ситуаций, контроля их исполнения</p> <p>Процедуры формирования и обмена данными с другими источниками и системами</p> <p>Процедуры формирования и ведения документов по анализу состояния СЭБ</p> <p>Процедуру автоматической выработки и принятия решений по типовым ситуациям</p> <p>Механизмы фокусировки внимания на конфликтные ситуации</p>
<p>Работать неподготовленному пользователю в привычных терминах его командно-информационной среды</p>	<p>Развитый интерфейс в терминах конечного пользователя</p> <p>Знания, представленные в логико-лингвистической и графической формах, в общем виде, в количественно-качественной форме</p>

В дополнение к этой таблице авторы приводят еще ряд требований. Цитируем их [17, с. 241–242]:

"В общем случае СППР должна обеспечивать решение следующих задач:

1. Представлять декларативные и процедуральные знания, формируемые в общем виде, нечетко, в виде образов, атрибуты описания которых могут быть выражены в логико-лингвистической, графической формах, в форме соответствующих списков элементов, отображаемых в количественной или качественной форме и заданных четко или нечетко, в форме строковых образов, распределенных числовых или качественных величин, имеющих соответственно вероятностное или нечеткое распределение, четких или нечетких логических конструкций.

2. Отображать иерархию принимаемых решений по диагностике состояния СЭБ региона.

3. Использовать эвристические и алгоритмические методы формализации.

4. Иметь встроенные средства логического вывода и объяснения решений по оценке социально-экономических характеристик СЭБ.

5. Иметь развитые средства типа режим "окон", "меню", а также иметь механизмы фокусировки внимания пользователя.

6. Иметь средства параллельного моделирования процессов социально-экономического развития региона, прогнозирования уровней результативности системы обеспечения экономической безопасности, являющихся основой многовариантного принципа управления регионами.

Решение указанных задач в СППР должно базироваться на общих принципах структурно-функциональных процессов принятия решений."

И далее речь идет уже об архитектуре СППР. Цитируем [17, с. 246–247]:

"Структурно-функциональный анализ процесса принятия решений позволил выявить его отдельные этапы и процедуры, реализация которых в СППР является существенно необходимой при определении архитектуры системы поддержки принятия решений в предметной области диагностики социально-экономической безопасности региона. Одной из важнейших особенностей, оп-

ределяющих структуру СППР, является иерархический характер процесса обработки информации (анализа состояний группы и выработки управляющего воздействия). В этом случае СППР формируется на основе иерархически связанных друг с другом многомерных размытых классификаторов, структура которых отражает иерархию процессов обработки информации. Каждый классификатор содержит обучающую выборку (локальную базу знаний о предметной области), которая репрезентативно и представительно отражает множество принимаемых решений на данном этапе обработки информации."

Что же представляет собой такая СППР? Авторы исследования пишут далее [17, с. 248]:

"В общем случае такая СППР представляет собой оболочку, наполнить которую должен эксперт и которая предназначена для следующих целей:

1. Построение иерархии обработки информации в соответствии с выявленной структурой принятия решений.
2. Формирование обучающих выборок для всех классификаторов иерархии, в совокупности представляющих собой распределенную базу знаний системы.
3. Формирование приоритетов целей принимаемых решений.
4. Расчет параметров шкал классификации классификаторов иерархии.
5. Оценка достоверности данных в обучающих выборках классификаторов.
6. Классификация поступающей информации."

Важным моментом при изучении архитектуры СППР является ее функциональная схема. Данная СППР состоит из пяти подсистем [17, с. 249–250]:

"1. Подсистема манипулирования иерархиями, которая осуществляет чтение и удаление уже ранее созданных иерархий, а также создание новых иерархий.

2. Подсистема управления иерархией классификаторов, производящая модификацию структуры иерархии и управляющая процессами расчета параметров шкал классификации и собственно классификации.

3. Подсистема расчета параметров шкал классификации.

4. Подсистема классификации.

5. Вспомогательная подсистема оценки расстояний – определяет расстояние между значениями, представленными в цифровой, нечеткой цифровой формах, последовательностями чисел, бинарными множествами, нечеткими множествами, распределенными параметрами с вероятностным или нечетким распределением, строковыми образами, предложениями естественного языка, четкими и нечеткими логическими конструкциями."

Таким образом, описание СППР, приведенное в работе [17], является наиболее полным. Хотя эта СППР и сориентирована на использование аппарата нечеткой логики, приведенное описание может быть взято за основу для дальнейших исследований и разработок СППР, построенных с использованием альтернативного математического инструментария, в качестве которого в настоящей работе предлагается использовать метод DEA.

3.3.4 Адаптация универсальной СППР для решения задач управления экономической безопасностью региона

Поскольку предложенная универсальная СППР построена с учетом того же типа структурных взаимосвязей между элементами системы, которые (взаимосвязи) имеют место и в сфере оценки уровня региональной экономической безопасности, то адаптация этой СППР к указанной предметной области будет сравнительно простой задачей. Уточним основные функции, которые должна выполнять адаптированная СППР. Это:

– оценка текущего состояния социально-экономической безопасности региона (а также отраслей региона);

– выдача рекомендаций по достижению *определенных* значений индикаторов, описывающих состояние социально-экономической безопасности региона (а также отраслей региона).

В дополнение к ранее уже перечисленным вспомогательным функциям СППР должна выполнять также расчет пороговых значений индикаторов социально-экономической безопасности [61]. Следовательно, к универсальному набору модулей СППР добавится еще один важный модуль "Расчет пороговых значений индикаторов социально-экономической безопасности".

Таким образом, универсальная СППР, адаптированная с учетом особенностей сферы экономической безопасности региона, и учитывающая матрично-иерархическую структуру взаимосвязей регионов и отраслей, позволит более точно оценить уровень экономической безопасности региона и принять более обоснованное решение об адресном направлении финансовых средств в конкретные регионы и отрасли экономики [52].

3.4 Выводы

1. Предложенная методика оценки эффективности функционирования иерархических систем, основанная на применении метода DEA, позволяет повысить точность оценки за счет установления внутренней структуры показателя эффективности.

2. Произведена адаптация предложенной методики к решению задачи оценки уровня экономической безопасности региона.

3. Предложена архитектура универсальной СППР, отражающая матрично-иерархическую структуру взаимосвязей объектов в предметной области. Применение СППР с такой архитектурой позволит принимать более обоснованные решения по оценке уровня социально-экономической безопасности региона и, как следствие, по распределению финансовых средств, направляемых на адресную поддержку регионов, отраслей хозяйства и отдельных предприятий.

4 Программная реализация и апробация СППР

В этой главе показан процесс разработки программного продукта, воплощающего в себе ту архитектуру СППР, которая была предложена в главе 3. Разработка проходила в несколько этапов, а именно [8, 26, 30, 39, 44, 63, 76, 82]: определение и анализ требований к программному продукту; проектирование (разработка архитектуры, проектирование модулей, проектирование базы данных); программирование; тестирование; внедрение и эксплуатация.

4.1 Требования к программному продукту

При разработке программного продукта необходимо учесть **целевую группу пользователей**, для которых он предназначен [58]. Пользователей создаваемой СППР можно разделить на две такие группы: первую составляют эксперты в области системного анализа и методов оценки эффективности функционирования систем, а ко второй группе относятся специалисты в области экономической безопасности региона. В соответствии с таким делением пользователей на группы СППР может быть реализована в двух вариантах: универсальный программный продукт, рассчитанный на экспертов в области системного анализа, или специализированный – предназначенный для специалистов-практиков. При реализации второго варианта дополнительной задачей будет представление всей сложности и всех возможностей математических методов, применяемых при создании СППР, в терминах, понятных таким специалистам. Конечно, функциональное ядро программных продуктов обоих типов будет одним и тем же – отличия коснутся в основном лишь пользовательского интерфейса.

Сформулируем два набора требований к программному продукту, соответствующих точкам зрения обеих групп пользователей [58].

Требования с точки зрения управленцев-практиков, работающих в сфере оценки уровня экономической безопасности региона (универсальный программный продукт, адаптированный для использования в сфере экономической безопасности региона).

1. Программный продукт должен помогать лицу, принимающему решения, в оценке уровня экономической безопасности региона на основе матрично-иерархической структуры взаимосвязей объектов в предметной области. Основой математического аппарата должен быть метод Data Envelopment Analysis.

2. СППР должна иметь возможность настройки на конкретную структуру отраслей, поскольку структура различных отраслей экономики может различаться, например, иметь разное число уровней иерархии (уровней подчиненности).

3. В СППР должны быть предусмотрены некоторые типовые сценарии работы. Это означает, что могут выбираться *различные* наборы переменных, но сценарий расчета (используемые модели DEA и другие математические методы, а также последовательность их применения) будет одинаковым. Типовые сценарии могут оказаться удобными для проведения многовариантных исследований с различными показателями, но по единой схеме. Это полезно также при определении оптимального состава переменных в тех случаях, когда возможны различные их составы, не противоречащие логике предметной области.

4. Пороговые значения индикаторов экономической безопасности должны рассчитываться в рамках СППР.

5. В СППР должна быть предусмотрена возможность формирования искусственных эталонных объектов (как с помощью опроса экспертов, так и алгоритмическим способом).

6. Информация об объектах должна накапливаться в базе данных. Должен быть организован не только ручной ввод информации, но также и автоматизированный ввод данных, полученных из других источников.

7. Программный продукт должен быть реализован на основе современных технологий разработки программного обеспечения. Необходимо преду-

смотреть возможность использования СППР в локальной сети, а также в сети Интернет.

8. Должна быть предусмотрена возможность переноса программного кода СППР в различные операционные системы (Windows, UNIX).

9. Должно быть обеспечено приемлемое быстродействие программного продукта, особенно операций, связанных с работой моделей DEA.

Требования с точки зрения экспертов в области системного анализа (универсальный программный продукт).

1. СППР должна разрабатываться как универсальный программный продукт. Поскольку матрично-иерархическая структура связей элементов систем является весьма распространенной, то ее можно положить в основу универсальной СППР. Такая СППР может быть настроена на использование в любой предметной области, в которой взаимосвязи объектов имеют матрично-иерархический характер или могут быть сведены к взаимосвязям этого типа.

2. Программный продукт должен иметь возможности для расширения. Такие расширения могут быть как, условно говоря, глобальными, так и локальными. Известно, что метод DEA является лишь одним из представителей более широко класса – Efficiency and Productivity Analysis (анализ эффективности и производительности) [104]. Глобальные расширения могут касаться добавления в СППР реализаций других методов Efficiency and Productivity Analysis, например, Stochastic Frontier Analysis (метод стохастической границы) [104]. К локальным расширениям можно отнести реализацию новых моделей DEA, новых вспомогательных математических методов (например, нечеткой логики), новых алгоритмов решения задачи линейного программирования и т.п.

3. Адаптация универсальной СППР для конкретных областей применения, в данном случае – в сфере экономической безопасности региона, должна осуществляться путем разработки дополнительных модулей, реализующих специфические функции, требуемые в конкретной сфере применения СППР. Эти модули должны иметь стандартизированные схемы подключения к ядру СППР и не должны разрушать логическую стройность СППР.

4. В СППР должны быть реализованы базовые модели DEA, а также методика Window Analysis [106] и алгоритм расчета индекса Мальмквиста (Malmquist Index) [104].

5. Должны быть предусмотрены средства для предварительного анализа и подготовки данных. Например, метод DEA очень чувствителен к наличию «выбросов» (outliers) в выборке [106], поэтому было бы удобно иметь в составе программного продукта средство для анализа таких элементов данных и их удаления при необходимости.

6. Должны быть предусмотрены средства для дополнительной обработки результатов расчетов по моделям метода DEA. Например, DEA часто используют в сочетании с регрессионным анализом, когда в качестве зависимой переменной служат вычисленные значения показателя эффективности, а в качестве объясняющих – какие-либо переменные, не участвовавшие в расчете по модели DEA [106]. В таком случае необходимо органично соединить два этих метода в одном программном продукте, чтобы избежать использования какого-либо статистического пакета (это вызывает необходимость конвертирования данных из одного формата в другой да и просто замедляет работу исследователя) [53].

4.2 Архитектура программного продукта

4.2.1 Подходы к разработке программного обеспечения в сфере оценки эффективности функционирования систем

Сложность разрабатываемого программного продукта будет в первую очередь обуславливаться сложностью реализуемых в нем научных методик, а не сложностью пользовательского интерфейса.

Рассмотрим ряд вопросов, касающихся выбора средств программной реализации СППР [53]:

– выбор языка программирования;

- выбор операционной системы (ОС);
- выбор системы управления базами данных (СУБД);
- использование Internet-технологий;
- использование библиотек математических подпрограмм (например, подпрограммы для работы с матрицами и векторами).

Перейдем теперь к более детальному обсуждению этих вопросов. Итак, первый вопрос – **язык программирования**. Существующие программные продукты для Efficiency and Productivity Analysis написаны на различных языках программирования, например, DEAP и FRONTIER – на языке Fortran [104], а DEA-Solver – на Visual Basic в среде Microsoft Excel [106]. Такой язык, как Fortran, имеет богатые традиции программирования для научных целей, но, на наш взгляд, следует внимательнее присмотреться к языку C/C++, тем более что создание пользовательского интерфейса в среде, например, C++ Builder существенно облегчается. Также существуют доступные библиотеки математических подпрограмм, написанные на языке C/C++.

Следующий вопрос – **операционная система**. Так сложилось, что в последние годы практически стандартом стало использование Microsoft Windows. Однако операционная система UNIX также имеет большие достоинства, которые позволяют рассматривать ее в качестве кандидата на использование в нашем случае. К тому же в последнее время наблюдается активное продвижение операционной системы Linux, являющейся по сути одной из разновидностей UNIX [77].

Важнейший вопрос – выбор **СУБД**. От ее правильного выбора зависит быстродействие программного продукта и удобство хранения информации в базе данных. В настоящее время широко используются некоммерческие СУБД, предоставляемые пользователю (программисту) в исходных текстах. Эти СУБД отличаются весьма высокой надежностью, а также практически полным соответствием стандарту языка SQL [16]. В качестве примера можно привести такие СУБД, как PostgreSQL и MySQL [18, 81].

Весьма актуальным является вопрос использования **Internet-технологий**. Их использование позволило бы разместить программный продукт на Web-сервере и организовать доступ к нему через Internet, получив таким образом все преимущества подобной организации вычислительных ресурсов (например, легкость централизованного обновления версий программного продукта, возможность решения задач большой размерности для тех пользователей, которые не имеют в своем распоряжении мощных компьютеров, и т.д.). Еще одним интересным моментом является возможность, условно говоря, аренды программного продукта, поскольку он может не передаваться непосредственно пользователю, а вместо этого пользователь может иметь парольный доступ к такому продукту, установленному на Web-сервере.

Коснемся кратко **библиотек математических подпрограмм**. Такие библиотеки существенно облегчают жизнь, в том смысле, что предоставляют уже *отлаженный* программный код для выполнения часто повторяющихся действий (например, выполнение регрессионного анализа). Таким образом, надежность и правильность работы программного продукта будет значительно выше, чем без использования таких библиотек.

4.2.2 Структура программных модулей

В архитектуре программного продукта, отвечающего требованиям, изложенным выше, можно выделить три подсистемы. Первая подсистема – ядро программного продукта (ядро системы), вторая подсистема – СУБД, третья подсистема – интерфейс пользователя. На рисунке 4.1 показано взаимодействие трех подсистем. Связи, отображенные стрелками, имеют двунаправленный характер, поскольку запросы на выполнение тех или иных операций, а также потоки данных идут в обоих направлениях при взаимодействии каждой пары подсистем.

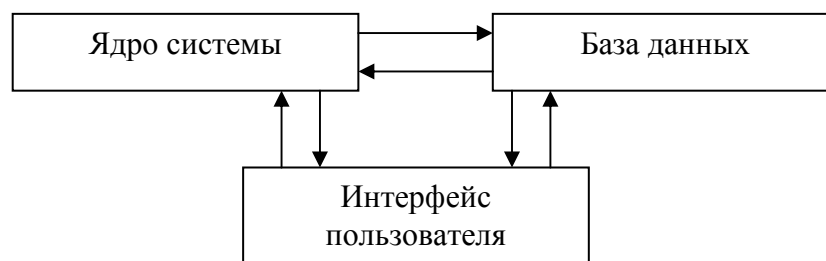


Рисунок 4.1 – Укрупненная структурная схема программной реализации СППР

В показанной архитектуре взаимодействие трех подсистем не является строго иерархическим. Взаимодействие базы данных и интерфейса пользователя с ядром осуществляется через текстовые файлы специального формата. О формате этих файлов должны "знать" как модули ядра, так и взаимодействующие с ними модули двух других подсистем. Использование текстовых файлов в качестве "связки" между подсистемами позволяет, во-первых, сделать ядро системы универсальным, пригодным для включения его в СППР другого целевого назначения, а во-вторых, дает возможность использовать ядро системы автономно (без графического интерфейса пользователя и СУБД), что зачастую бывает очень удобно при проведении небольших исследований.

Разработка программного обеспечения будет выполняться с использованием технологии Internet/Intranet. Это позволяет относительно легко организовать взаимодействие пользователей с СППР не только в локальном режиме, но и в режиме удаленного доступа. Необходимость в удаленном доступе может возникать ввиду территориальной распределенности тех подразделений, в интересах которых создается СППР. При работе пользователей с СППР по локальной сети использование технологии Intranet также упрощает организацию клиентских рабочих мест. Использование же технологии "клиент-сервер" позволяет разместить ядро СППР, базу данных и программы, реализующие интерфейс пользователя, на сервере, работающем под управлением операционной системы UNIX, а конкретно – FreeBSD [87]. Ее использование повышает надежность и быстродействие всей системы. При этом в качестве клиентской час-

ти можно использовать Internet-броузер, например, Internet Explorer в операционной системе Windows. Пользовательский интерфейс будет формироваться с помощью так называемых CGI-скриптов, написанных на языке Perl [9, 35]. Этот язык в настоящее время широко используется для разработки программ, предназначенных для работы в сети Internet. Одним из возможных направлений развития СППР может являться организация доступа пользователей к СППР по электронной почте. В этом случае пользователь сможет формировать электронное письмо определенного формата. Письмо должно будет содержать не только данные, но также и указания о выборе моделей DEA и т.п. Результаты расчетов могут отсылаться пользователю также по электронной почте.

Ядро системы. Это, безусловно, самая важная и сложная в реализации подсистема. Она включает несколько модулей.

1. Модуль "Модели DEA".

Это самый важный модуль ядра системы. Он является главным "решающим" инструментом СППР. В нем реализованы основные модели: с учетом постоянного и переменного эффекта масштаба и с ориентацией на вход и на выход. Модели могут добавляться в процессе развития СППР.

2. Модуль "Решение задач линейного программирования".

В настоящее время используется симплекс-метод [37, 64]. Возможным расширением модуля может быть реализация метода внутренней точки (interior point method). Этот модуль является базовым для модуля "Модели DEA".

3. Модуль "Вспомогательные математические инструменты".

Реализованы такие методы, как: регрессионный анализ, дискриминантный анализ, кластерный анализ, корреляционный анализ. Перечисленные методы используются как при подготовке исходных данных, так и при выполнении дополнительных исследований, в которых используются уже рассчитанные значения показателя эффективности [114, 126].

4. Модуль "Формирование эталонных объектов".

В этом модуле реализованы алгоритмы формирования эталонных объектов.

5. Модуль "Критерий качества границы эффективности".

В данном модуле производится расчет значения критерия качества для построенной границы эффективности.

6. Модуль "Предварительный анализ и подготовка данных".

В этом модуле производится анализ данных перед их использованием в задачах. Например, могут выявляться и исключаться из выборки так называемые "выбросы" (outliers).

7. Модуль "Согласование мнений экспертов".

Модуль может быть востребован, например, при формировании эталонных искусственных объектов, а также при расчете пороговых значений показателей экономической безопасности.

8. Модуль "Расчет пороговых значений показателей экономической безопасности".

Этот модуль является расширением СППР, которое позволяет адаптировать универсальное ядро СППР к сфере региональной экономической безопасности. Модуль тесно связан с модулем "Вспомогательные математические инструменты".

Таким образом, модули 1–7 формируют универсальную часть ядра системы, а модуль 8 является модулем расширения.

В качестве средства реализации ядра системы выбран язык C, а точнее его подмножество ANSI C. Компилятор этого языка существует практически на всех программно-аппаратных платформах во всех операционных системах. Выбор языка ANSI C делает ядро системы переносимым. Это означает, что для переноса ядра системы из среды операционной системы UNIX в среду операционной системы Windows нужно лишь перекомпилировать исходные тексты программ [25, 86].

Интерфейс пользователя. На интерфейс пользователя ложится задача согласования интересов двух групп пользователей: системных аналитиков и специалистов в сфере экономической безопасности региона. Поскольку ядро системы будет одним и тем же, интерфейс должен скрывать от пользователя, не

являющегося системным аналитиком, все сложности используемого математического аппарата. При регистрации в системе пользователь должен указать тип интерфейса, который ему требуется. Конечно, пользователь – системный аналитик, знающий возможности применяемого математического аппарата, сможет получить от СППР больше полезной информации, чем тот пользователь, который вынужден использовать более дружелюбный интерфейс, скрывающий особенности, например, моделей DEA.

Интерфейс пользователя включает несколько модулей.

1. Модуль "Формирование матрично-иерархических структур объектов предметной области".

Это самый важный и, пожалуй, самый сложный из модулей этой подсистемы. В этом модуле пользователь имеет возможность описать матрично-иерархические взаимосвязи, существующие между объектами в предметной области (в нашем случае – в сфере экономической безопасности региона).

2. Модуль "Оценка текущего состояния системы".

Этот модуль взаимодействует с модулем "Модели DEA" и с базой данных. Оценка может выполняться как с использованием эталонных искусственных объектов, сформированных модулем "Формирование эталонных объектов", так и без их использования.

3. Модуль "Конфигурирование СППР".

Данный модуль предназначен для настройки СППР на определенный тип пользователей. В этом модуле могут быть сформированы сценарии работы СППР, объединяющие в себе целый ряд процедур. Такие сценарии могут выполняться над различными наборами данных. Это позволяет получать многовариантные результаты и формировать на их основе более обоснованные решения, в которых учтены возможные изменения в предметной области.

4. Модуль "Ввод/вывод и подготовка данных".

Этот модуль наиболее тесно взаимодействует с базой данных. В нем реализован не только ручной ввод данных, но также и импорт данных из других источников. Важной функцией модуля является предварительная подготовка

данных. В этом случае модуль взаимодействует с модулем "Предварительный анализ и подготовка данных" ядра системы. Еще одной функцией модуля является организация вывода данных в различных форматах (так называемый экспорт данных).

5. Модуль "Формирование эталонных объектов".

Этот модуль тесно связан с одноименным модулем ядра системы. Его назначение – сделать процесс формирования эталонных объектов более наглядным для пользователя.

6. Модуль "Согласование мнений экспертов".

Этот модуль тесно связан с одноименным модулем ядра системы. Его назначение – сделать процесс опроса экспертов более удобным.

7. Модуль "Расчет пороговых значений показателей экономической безопасности".

Этот модуль является расширением СППР, которое позволяет адаптировать СППР к сфере региональной экономической безопасности. Он тесно связан с одноименным модулем ядра системы, а также с базой данных. Его назначение – сделать процесс расчета пороговых значений более наглядным для пользователя.

В качестве средства реализации интерфейса пользователя выбрана следующая схема: программы, написанные на языке Perl, запускаются на выполнение на Web-сервере, а визуализация экранных форм выполняется Internet-браузером на компьютере клиента (т.е. пользователя).

База данных. Эта подсистема имеет огромное значение, поскольку от правильной организации хранения данных зависит быстродействие СППР, простота (или наоборот, сложность) алгоритмов манипулирования данными, а также удобство работы пользователей. В качестве системы управления базой данных выбрана СУБД PostgreSQL. Это некоммерческая СУБД, доступная в исходных текстах. На сегодняшний день она является самой мощной из реляционных некоммерческих СУБД [81].

4.2.3 Структура базы данных

База данных содержит свыше десяти реляционных таблиц. Атрибуты основных таблиц базы данных приведены ниже.

Таблица **"Описание исследования"**. Это заглавная таблица базы данных. Атрибуты:

- уникальный код исследования, проводимого с помощью СППР (это служебное поле);
- наименование исследования, по которому пользователь может выбрать из базы данных всю информацию, касающуюся конкретного исследования;
- описание исследования;
- дата начала работ;
- дата окончания работ;
- Ф.И.О. ответственного за выполнение исследования.

Таблица **"Описание иерархий объектов"**. Это самая важная таблица, которая является основой для объединения всех подсистем исследуемой системы в единое целое. Атрибуты:

- уникальный код исследования (это служебное поле);
- уникальный код объекта в рамках данного исследования;
- код объекта (из справочника объектов);
- код объекта-родителя (для этого используется уникальный код объекта, являющегося родительским для данного объекта в рамках данного исследования)
- направление деления системы (вертикальное или горизонтальное) на подсистемы;
- номер варианта (способа) разделения системы на данном уровне иерархии;
- порядковый номер объекта в рамках данного варианта (способа) деления системы на подсистемы.

Таблица **"Справочник объектов"**. Он позволяет избежать ошибок при вводе данных пользователем, а также позволяет уменьшить объем базы данных.

Атрибуты:

- уникальный код объекта (это может быть регион, отрасль, предприятие и т.д.);
- наименование объекта.

Таблица **"Результаты расчетов"**. В этой таблице хранятся результаты всех расчетов по моделям DEA, проведенных в процессе использования СППР.

Атрибуты:

- уникальный код исследования (это служебное поле);
- уникальный код объекта в рамках данного исследования;
- код объекта (из справочника объектов);
- код модели DEA, по которой был рассчитан показатель эффективности объекта;
- код переменной;
- исходное значение переменной;
- рекомендуемое значение переменной;
- значение дополнительной переменной.

Таблица **"Справочник переменных"**. Он позволяет избежать ошибок при вводе данных пользователем, а также позволяет уменьшить объем базы данных. Атрибуты:

- уникальный код переменной;
- наименование переменной;
- единицы измерения.

Таблица **"Справочник моделей метода DEA"**. Атрибуты:

- уникальный код модели метода DEA;
- наименование модели.

4.3 Апробация СППР

Апробация разработанной системы поддержки принятия решений проводилась в рамках научных исследований по гранту Министерства образования РФ № ГО2-3.2-268 от 2003 г. "Региональная экономическая безопасность: современные теоретические подходы и проблемы реализации в условиях Красноярского края", а также в рамках исследования эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" г. Красноярска, выполняемого в отделе экономики Главного управления здравоохранения г. Красноярска,.

Исследование было проведено в соответствии с методикой, описанной в главе 3. Статистические данные за 2001 г. были выбраны по регионам Сибирского федерального округа, по районам Красноярского края, по городам Самаре и Новосибирску. Были исследованы состояние экономической безопасности, уровень здоровья населения и эффективность функционирования отрасли "Здравоохранение" в этих регионах и городах. На основании полученных результатов была получена информация для принятия управленческих решений. Фрагменты отчета о результатах исследования приведены в Приложении А.

4.4 Выводы

1. Разработанная СППР позволяет проводить исследования эффективности сложных социально-экономических систем в сфере экономической безопасности региона. На основании результатов, полученных с ее применением, возможно принятие более оперативных и обоснованных управленческих решений.

2. Архитектура СППР разработана на основе современных математических и программных средств. Предусмотрена возможность расширения СППР как в части математического инструментария, так и в части повышения удобства работы пользователя.

Заключение

В результате диссертационного исследования проведена адаптация метода DEA для его применения в системах поддержки принятия решений с целью классификации многомерных объектов на основе их эффективности. Это позволит повысить эффективность управления сложными иерархическими системами за счет:

- комплексного подхода к оценке эффективности системы, при котором учитывается эффективность подсистем;
- упрощения интерпретации полученных оценок эффективности;
- повышения обоснованности принимаемых решений.

Основные результаты работы:

1. Проведен анализ методов классификации и показана эффективность метода DEA при решении задачи классификации. Показаны особенности использования этого метода в системах поддержки принятия решений.

2. Разработаны алгоритмы и процедуры построения искусственных границ эффективности, удовлетворяющих предложенному векторному критерию качества. Предложена процедура классификации реальных объектов на основе вложенных искусственных границ эффективности.

3. Предложена методика оценки эффективности сложных иерархических систем на основе метода DEA. Методика адаптирована для применения в сфере региональной экономической безопасности.

4. На основе предложенных алгоритмов и методик разработана универсальная система поддержки принятия решений по оценке эффективности сложных иерархических систем в различных сферах. Данная СППР адаптирована для применения в сфере региональной экономической безопасности.

5. С применением разработанной СППР, реализованной в виде программного продукта, выполнено исследование экономической безопасности Красноярского края, а также проведена оценка эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" г. Красноярска и Красноярского края.

Список использованных источников

- 1 Агапова, Т.Н. Методика и инструментарий для мониторинга экономической безопасности региона / Т.Н. Агапова // Вопросы статистики.– 2001.– № 2.– С. 44 – 48.
- 2 Анализ эффективности функционирования сложных систем / В.Е. Кривоножко, А.И. Пропой, Р.В. Сеньков, И.В. Родченков, П.М. Анохин // Автоматизация проектирования.– 1999.– № 1.– С. 2–7.
- 3 Англо-русский словарь математических терминов / Под ред. П.С. Александрова.– 2-е изд., испр. и доп.– М.: Мир, 1994.– 416 с.
- 4 Андрейчиков, А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова.– М.: Финансы и статистика, 2002.– 368 с.
- 5 Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под ред. А.А. Емельянова.– М.: Финансы и статистика, 2002.– 368 с.
- 6 Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх.– М.: Издатель Молгачева С.В.: Нолидж, 2001.– 496 с.
- 7 Бир, С. Мозг фирмы: Пер. с англ. / С. Бир.– М.: Радио и связь, 1993.– 416 с.
- 8 Бобровский, С.И. Технологии Пентагона на службе российских программистов. Программная инженерия / С.И. Бобровский.– СПб.: Питер, 2003.– 222 с.
- 9 Браун, М. Perl. Архив программ: Пер. с англ. / М. Браун.– М.: ЗАО "Издательство БИНОМ", 2001.– 720 с.
- 10 Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев.– М.: Наука, 1980.– 976 с.

11 Варфоломеев, В.И. Принятие управленческих решений: Учеб. пособие для вузов / В.И. Варфоломеев, С.Н. Воробьев.– М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2001.– 288 с.

12 Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Системный анализ и управление" / В.Н. Волкова, А.А. Денисов.– 2-е изд., перераб. и доп.– СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.– 512 с.

13 Выгон, Г.В. Анализ связи технологической эффективности и рыночной капитализации компаний / Г.В. Выгон, А.Б. Поманский // Экономика и математические методы.– 2000.– Т. 36, № 2.– С. 70–87.

14 Гайдышев, И. Анализ и обработка данных: Специальный справочник / И. Гайдышев.– СПб: Питер, 2001.– 752 с.

15 Гранберг, А.Г. Моделирование социалистической экономики: Учеб. для студ. экон. вузов / А.Г. Гранберг.– М.: Экономика, 1988.– 487 с.

16 Грофф, Дж. SQL: Полное руководство: Пер. с англ. / Дж. Грофф, П. Вайнберг.– 2-е изд., перераб. и доп.– К.: Издательская группа ВНУ, 2001.– 816 с.

17 Гуськов, Н.С. Экономическая безопасность регионов России / Н.С. Гуськов, В.Е. Зенякин, В.В. Крюков.– М: Алгоритм, 2000.– 288 с.

18 Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных: 6-е издание: Пер. с англ. / К. Дж. Дейт.– К.; М.; СПб.: Издательский дом "Вильямс", 1999.– 848 с.

19 Дорофеева, Ю.В. Система обеспечения экономической безопасности региона / Ю.В. Дорофеева, Д.Е. Кацик, Е.П. Моргунов, А.И. Смирнов // Вестник НИИ СУВПТ: Информационные технологии и адаптация: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко.– Красноярск: НИИ СУВПТ, 2002.– С. 195–208.

20 Ерашов, Г.Ф. Система поддержки принятия решений при управлении качеством подготовки специалистов в университете / Г.Ф. Ерашов, Е.П. Моргунов, Т.А. Родченко // Вестник НИИ СУВПТ: Сб. научных трудов / Под общей

ред. профессора Н.В. Василенко.– Красноярск: НИИ СУВПТ, 2003.– (Вып. 13).– С. 185–195.

21 Замков, О.О. Математические методы в экономике: Учебник / О.О. Замков, А.В. Толстопятенко, Ю.Н. Черемных.– 2-е изд.– М: МГУ им. М.В. Ломоносова: Издательство "Дело и Сервис", 1999.– 368 с.

22 Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В.А. Геловани, А.А. Башлыков, В.Б. Бритков, Е.Д. Вязилов.– М.: Эдиториал УРСС, 2001.– 304 с.

23 Интрилигатор, М. Математические методы оптимизации и экономическая теория: Пер. с англ. / М. Интрилигатор.– М.: Айрис-пресс, 2002.– 576 с.

24 Ириков, В.А. Распределенные системы принятия решений. Теория и приложения / В.А. Ириков, В.Н. Тренев.– М.: Наука: Физматлит, 1999.– 288 с.

25 Искусство программирования на С. Фундаментальные алгоритмы, структуры данных и примеры приложений: Энциклопедия программиста: Пер. с англ. / Р. Хэзфилд, Л. Кирби, Д. Корбит и др.– К.: Диасофт, 2001.– 736 с.

26 Канер, С. Тестирование программного обеспечения: Пер. с англ. / Сэм Канер, Джек Фолк, Енг Кек Нгуен.– К.: Издательство "ДиаСофт", 2000.– 544 с.

27 Капица, С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий.– 2-е изд.– М.: Эдиториал УРСС, 2001.– 288 с.

28 Клекка, У.Р. Дискриминантный анализ / У.Р. Клекка // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка и др.– М.: Финансы и статистика, 1989.– 215 с.

29 Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. / Дж. Клир.– М.: Радио и связь, 1990.– 544 с.

30 Коллинз, Г. Структурные методы разработки систем: от стратегического планирования до тестирования: Пер. с англ. / Г. Коллинз, Дж. Блэй; Под ред. и с предисл. В.М. Савинкова.– М.: Финансы и статистика, 1986.– 264 с.

31 Колмыков, В.А. Анализ сравнительной эффективности функционирования бизнес-единиц / В.А. Колмыков, Е.П. Моргунов, О.И. Антамошкина //

Вестник НИИ СУВПТ: Сб. научных трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко.– Красноярск: НИИ СУВПТ, 2000.– (Вып. 5).– С. 196–208.

32 Кондоров, А.М. Автоматизированная система поддержки управленческих решений / А.М. Кондоров.– М.: Интерэкспорт, 1991.

33 Конюховский, П.В. Математические методы исследования операций / П.В. Конюховский.– СПб: Питер, 2001.– 192 с.

34 Кремлев, Н.Д. Вопросы оценки экономической безопасности региона / Н.Д. Кремлев, В.Г. Федоров, М.Ф. Сергеев // Вопросы статистики.– 2001.– № 2.– С. 42–44.

35 Кристиансен, Т. Perl: Библиотека программиста / Т. Кристиансен, Н. Торкингтон.– СПб.: Питер, 2001.– 736 с.

36 Кузнецов, А.В. Высшая математика: Математическое программирование: Учебник / А.В. Кузнецов, В.А. Сакович, Н.И. Холод; Под общ. ред. А.В. Кузнецова.– 2-е изд., перераб. и доп.– Мн.: Вышэйшая школа, 2001.– 351 с.

37 Кузнецов, А.В. Руководство к решению задач по математическому программированию: Учеб. пособие / А.В. Кузнецов, Н.И. Холод, Л.С. Костевич; Под общ. ред. А.В. Кузнецова.– 2-е изд., перераб. и доп.– Мн.: Вышэйшая школа, 2001.– 448 с.

38 Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учебник / О.И. Ларичев.– 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Логос, 2002.– 392 с.

39 Липаев, В.В. Управление разработкой программных средств: Методы, стандарты, технология / В.В. Липаев.– М.: Финансы и статистика, 1993.– 160 с.

40 Лопатников, Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки / Л.И. Лопатников.– 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Дело, 2003.– 520 с.

41 Лотов, А.В. Введение в экономико-математическое моделирование / А.В. Лотов.– М.: Наука, 1984.–392 с.

42 Лыкшин, С. Развитие экономики России и ее реструктуризация как гарантия экономической безопасности / С. Лыкшин, А. Свиноренко // Вопросы экономики.– 1994.– № 12.– С. 115–119.

43 Маглакелидзе, Т. О задачах и критериях обеспечения экономической безопасности / Т. Маглакелидзе // Общество и экономика.– 2001.– № 1.– С. 105–111.

44 Майерс, Г. Искусство тестирования программ / Г. Майерс; Пер с англ. под ред. Б.А. Позина.– М.: Финансы и статистика, 1982.– 176 с.

45 Малиновский, Л.Г. Анализ статистических связей: Модельно-конструктивный подход / Л.Г. Малиновский; Ин-т проблем передачи информации.– М.: Наука, 2002.– 688 с.

46 Мезоэкономика переходного периода: Рынки, отрасли, предприятия / Под ред. Г.Б. Клейнера.– М.: Наука, 2001.– 516 с.

47 Многомерный статистический анализ в экономике: Учеб. пособие для вузов / Л.А. Сошникова, В.Н. Тамашевич, Г. Уебе, М. Шефер; Под ред. В.Н. Тамашевича.– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999.– 598 с.

48 Могилевский, В.Д. Методология систем: вербальный подход / В.Д. Могилевский.– М.: Экономика, 1999.– 251 с.

49 Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / Под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой.– М.: Наука, 2001.– 175 с.

50 Моргунов, Е.П. Граничные методы определения эффективности функционирования предприятий / Е.П. Моргунов // Информатика и системы управления: Межвузовский сборник научных трудов / Отв. редактор Б.П. Соустин.– Красноярск: НИИ ИПУ, 2000.– С. 204–209.

51 Моргунов, Е.П. Подходы к построению критерия качества границы эффективности в методе Data Envelopment Analysis / Е.П. Моргунов // Актуальные проблемы современной науки и пути их решения: Материалы III межвузовской научной конференции аспирантов / КГТЭИ.– Красноярск, 2003.– С. 86–88.

52 Моргунов, Е.П. Система поддержки принятия решений для оценки уровня региональной экономической безопасности / Е.П. Моргунов // Вестник НИИ СУВПТ: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко.– Красноярск: НИИ СУВПТ, 2003.– (Вып. 12).– С. 197–198.

53 Моргунов, Е.П. Подходы к разработке программного обеспечения для решения задач в области Efficiency and Productivity Analysis / Е.П. Моргунов, О.Н. Моргунова // Вестник НИИ СУВПТ: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко.– Красноярск: НИИ СУВПТ, 2003.– (Вып. 11).– С. 136–139.

54 Моргунов, Е.П. Применение метода Data Envelopment Analysis для оценки качества подготовки специалистов в системе высшего профессионального образования / Е.П. Моргунов, О.Н. Моргунова // Совершенствование систем управления качеством подготовки специалистов: Материалы Всероссийской научно-методической конференции / Под ред. С.А. Подлесного: В 2 ч.– Ч. 2.– Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003.– С. 63–64.

55 Моргунов, Е.П. Применение метода Data Envelopment Analysis в управлении системой образования / Е.П. Моргунов, О.Н. Моргунова // Развитие системы образования в России XXI века: Материалы междунар. науч.-метод. конф. / Краснояр. гос. ун-т.– Красноярск, 2003.– С. 190–192.

56 Моргунов, Е.П. Применение метода Data Envelopment Analysis для управления качеством подготовки специалистов в университетских комплексах инженерного профиля / Е.П. Моргунов, О.Н. Моргунова // Актуальные проблемы и перспективы развития университетских комплексов инженерного профиля: Материалы Всерос. научн.-метод. конф. (15–16 мая 2003, г. Красноярск) / СибГАУ.– Красноярск, 2003.– С. 132–133.

57 Моргунов, Е.П. Формирование искусственной границы эффективности в методе Data Envelopment Analysis / Е.П. Моргунов, О.Н. Моргунова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Г.П. Белякова.– Красноярск: СибГАУ, 2003.– С. 385–386.

58 Моргунов, Е.П. Программная реализация системы поддержки принятия решений при управлении экономической безопасностью региона / Е.П. Моргунов, С.А. Шабалин, О.И. Антамошкина // Вестник НИИ СУВПТ: Сб. научных трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко.– Красноярск: НИИ СУВПТ, 2003.– (Вып. 13).– С. 175–184.

59 Моргунов, Е.П. Использование метода Data Envelopment Analysis в анализе деятельности лечебно-профилактических учреждений / Е.П. Моргунов, А.С. Ямщиков // Проблемы и перспективы российской экономики: Сборник статей / Под ред. профессора В.Д. Дорофеева.– Пенза, 2002.– С. 257–259.

60 Мухин, В.И. Исследование систем управления: Учебник для вузов / В.И. Мухин.– М.: Экзамен, 2003.– 384 с.

61 Научно-технологическая безопасность регионов России: методические подходы и результаты диагностирования / А.И. Татаркин, Д.С. Львов, А.А. Куклин и др.– Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2000.– 416 с.

62 Непараметрические системы классификации / А.В. Лапко, В.А. Лапко, М.И. Соколов, С.В. Ченцов.– Новосибирск: Наука, 2000.– 240 с.

63 Орлов, С.А. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник / С.А. Орлов.– СПб.: Питер, 2002.– 464 с.

64 Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова.– М.: Высшая школа, 2002.– 544 с.

65 Поиск подходов к решению проблем / И.В. Прангишвили, Н.А. Абрамова, В.Ф. Спиридонов и др.– М.: Синтег, 1999.– 284 с.

66 Прангишвили, И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили.– М.: Синтег, 2000.– 528 с.

67 Прангишвили, И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангишвили; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова.– М.: Наука, 2003.– 428 с.

68 Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: В 2 т.– 2-е изд., испр.– Т.1: Айвазян, С.А. Теория вероятностей и прикладная статистика / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян.– М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2001.– 656 с.

69 Пугачев, В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие / В.С. Пугачев.– 2-е изд., испр. и доп.– М.: Физматлит, 2002.– 496 с.

70 Регион в системе внешнеэкономических связей: проблемы безопасности: Монография / В.И. Лячин, Н.В. Фирюлина, А.И. Смирнов, Д.Е. Кацик, Е.П. Моргунов; Гос. образоват. учреждение "ГАЦМиЗ".– Красноярск, 2003.– 204 с.

71 Розен, В.В. Математические модели принятия решений в экономике: Учеб. пособие / В.В. Розен.– М.: Книжный дом "Университет": Высшая школа, 2002.– 288 с.

72 Садков, В.Г. Многоцелевая интегрированная система мониторинга и моделирования развития регионов / В.Г. Садков // Вопросы статистики.– 2000.– № 2.– С. 48–54.

73 Сенчагов В.К. Экономическая безопасность: геополитика, глобализация, самосохранение и развитие (книга четвертая) / В.К. Сенчагов; Ин-т экономики РАН.– М.: ЗАО "Финстатинформ", 2002.– 128 с.

74 Сио, К.К. Управленческая экономика: Пер. с англ. / К.К. Сио.– М: ИНФРА-М, 2000.– 671 с.

75 Смирнов, А.И. Разработка системы мониторинга внешнеэкономической безопасности региона / А.И. Смирнов, Е.П. Моргунов, Д.Е. Кацик // Вестник НИИ СУВПТ: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2003.– (Вып. 11).– С. 57–79.

76 Соммервилл, И. Инженерия программного обеспечения: 6-е издание: Пер. с англ. / И. Соммервилл.– М: Издательский дом "Вильямс", 2002.– 624 с.

77 Столлингс, В. Операционные системы: 4-е издание: Пер. с англ. / В. Столлингс.– М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.– 848 с.

78 Таха, Х. Введение в исследование операций: 6-е издание: Пер. с англ. / Х. Таха.– М: Издательский дом "Вильямс", 2001.– 912 с.

79 Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц.– М.: Синтег, 1998.– 376 с.

- 80 Трахтенгерц, Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке управленческих решений / Э.А. Трахтенгерц.– М.: Синтег, 2001.– 256 с.
- 81 Уорсли, Дж. PostgreSQL. Для профессионалов / Дж. Уорсли, Дж. Дрейк.– СПб.: Питер, 2003.– 496 с.
- 82 Фокс, Дж. Программное обеспечение и его разработка: Пер. с англ. / Дж. Фокс.– М.: Мир, 1985.– 368 с.
- 83 Фролькис, В.А. Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов / В.А. Фролькис.– 2-е изд.– СПб.: Питер, 2002.– 320 с.
- 84 Цыгичко, В.Н. Руководителю – о принятии решений / В.Н. Цыгичко.– М.: Финансы и статистика, 1991.– 240 с.
- 85 Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации и принятия решений: Учебное пособие / И.Г. Черноруцкий.– СПб.: Лань, 2001.– 384 с.
- 86 Шилдт, Г. Полный справочник по С: 4-е издание: Пер. с англ. / Г. Шилдт.– М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.– 704 с.
- 87 Эбен, М. FreeBSD. Энциклопедия пользователя: Пер. с англ. / М. Эбен, Б. Таймэн.– К.: ООО "ТИД "ДС", 2002.– 736 с.
- 88 Экономическая безопасность: Производство – Финансы – Банки / Под ред. В.К. Сенчагова.– М.: ЗАО "Финстатинформ", 1998.– 621 с.
- 89 Экономическая безопасность региона: единство теории, методологии исследования и практики / А.И. Татаркин, А.А. Куклин, О.А. Романова и др.– Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997.– 240 с.
- 90 Экономическая безопасность хозяйственных систем: Учебник / Под ред. А.В. Колосова.– М.: Изд-во РАГС, 2001.– 446с.
- 91 Ямщиков, А.С. Применение метода Data Envelopment Analysis для оценки эффективности функционирования лечебно-профилактических учреждений г. Красноярска / А.С. Ямщиков, Е.В. Килина, Е.П. Моргунов // Сб. трудов конференции "Информационные недра Кузбасса – 2003".– Кемерово, 2003.– С. 230–232.
- 92 Afriat, S.N. Efficiency Estimation of Production Functions / S.N. Afriat // International Economic Review.– 1972, October.– Vol. 13, No. 3.– Pp. 568–598.

93 Ahn T. Some Statistical and DEA Evaluations of Relative Efficiencies of Public and Private Institutions of Higher Learning / T. Ahn, A. Charnes, W.W. Cooper // *Socio-Econ. Plann. Sci.*– 1988.– Vol. 22, No. 6.– Pp. 259–269.

94 Aigner, D.J. On Estimating the Industry Production Function / D.J. Aigner, S.F. Chu // *The American Economic Review.*– 1968.– Vol. 58.– Pp. 826–839.

95 Banker, R.D. Hypothesis Tests Using Data Envelopment Analysis / R.D. Banker // *The Journal of Productivity Analysis.*– 1996.– Vol. 7.– Pp. 139–159.

96 Banker, R.D. Maximum Likelihood, Consistency and Data Envelopment Analysis: A Statistical Foundation / R.D. Banker // *Management Science.*– 1993, October.– Vol. 39, No. 10.– Pp. 1265–1273.

97 Banker, R.D. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis / R.D. Banker, A. Charnes, W.W. Cooper // *Management Science.*– 1984, September.– Vol. 30, No. 9.– Pp. 1078–1092.

98 Blackorby, C. Aggregation of Efficiency Indices / C. Blackorby, R. R. Russell // *Journal of Productivity Analysis.*– 1999.– Vol. 12.– Pp. 5–20.

99 Bowlin W.F. Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA) / W.F. Bowlin // *Journal of Cost Analysis.*– Fall 1998.– Pp. 3–27.

100 Burges, J.F., jr. Technical Efficiency in Veterans Administration Hospitals / J.F. Burges, jr., P.W. Wilson // *The Measurement of Productive Efficiency* / H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt, eds.– NY: Oxford University Press, 1993.– Pp. 335–351.

101 Charnes, A. Programming with Linear Fractional Functionals / A. Charnes, W.W. Cooper // *Naval Research Logistics Quarterly.*– 1962.– Vol. 9, No. 3, 4.– Pp. 181–185.

102 Charnes, A. Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // *Management Science.*– 1981, June.– Vol. 27, No. 6.– Pp. 668–688.

103 Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // *European Journal of Operational Research*.– 1978.– Vol. 2.– Pp. 429–444.

104 Coelli, T. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis / T. Coelli, D.S. Prasada Rao, G.E. Battese.– Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.– 275 pp.

105 Colbert, A. Determining the Relative Efficiency of MBA Programs Using DEA / A. Colbert, R.R. Levary, M.C. Shaner // *European Journal of Operational Research*.– 2000.– Vol. 125.– Pp. 656–669.

106 Cooper, W.W. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W.W. Cooper, L.M. Seiford, K. Tone.– Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.– 318 pp.

107 Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application / A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Lewin, L.M. Seiford.– Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.– 513 pp.

108 Data Envelopment Analysis and Regression Approaches to Efficiency Estimation and Evaluation / W.F. Bowlin, A. Charnes, W.W. Cooper, H.D. Sherman // *Annals of Operations Research*.– 1985.– Vol. 2.– Pp. 113–138.

109 Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century: Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia) / Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company.– Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002.– 178 pp.

110 Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century: Abstracts of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia) / Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company.– Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002.– 92 pp.

111 Färe, R. Measuring the Technical Efficiency of Production / R. Färe, C.A. Knox Lovell // *Journal of Economic Theory*.– 1978.– Vol. 19.– Pp. 150–162.

112 Färe, R. Production Frontiers / R. Färe, S. Grosskopf, C.A. Knox Lovell.– Cambridge: Cambridge University Press, 1994.– 296 pp.

113 Farrell, M.J. The Measurement of Productive Efficiency / M.J. Farrell // Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General), Part III.– 1957.– Vol. 120.– Pp. 253–281.

114 Friedman, L. Scaling Units via the Canonical Correlation Analysis in the DEA Context / L. Friedman, Z. Sinuany-Stern // European Journal of Operational Research.– 1997.– Vol. 100.– Pp. 629–637.

115 Hollingsworth, B. Efficiency Measurement of Health Care: A Review of Non-parametric Methods and Applications / B. Hollingsworth, P.J. Dawson, N. Maniadakis // Health Care Management Science.– 1999.– Vol. 2.– Pp. 161–172.

116 Hollingsworth, B. The Efficiency of Scottish Acute Hospitals: An Application of Data Envelopment Analysis / B. Hollingsworth, D. Parkin // Institute of Mathematics and its Applications Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology.– 1995.– Vol. 12.– Pp. 161–173.

117 Kittelsen, S.A.C. Efficiency Analysis of Norwegian District Courts / S.A.C. Kittelsen, F.R. Førsvund // The Journal of Productivity Analysis.– 1992.– Vol. 3.– Pp. 277–306.

118 Kumbhakar, S.C. Technical Efficiency and Technical Progress in Swedish Dairy Farms / S.C. Kumbhakar, L. Hjalmarsson // The Measurement of Productive Efficiency / H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt, eds.– NY: Oxford University Press, 1993.– Pp. 256–270.

119 Maniadakis, N. The Impact of the Internal Market on Hospital Efficiency, Productivity and Service Quality / N. Maniadakis, B. Hollingsworth, E. Thanassoulis // Health Care Management Science.– 1999.– Vol. 2.– Pp. 75–85.

120 Parkin, D. Measuring Production Efficiency of Acute Hospitals in Scotland, 1991-94: Validity Issues in Data Envelopment Analysis / D. Parkin, B. Hollingsworth // Applied Economics.– 1997.– Vol. 29.– Pp. 1425–1433.

121 Ruggiero, J. Cost Efficiency in the Provision of Educational Services: An Application of Data Envelopment Analysis / J. Ruggiero // Journal of Cost Analysis.– Fall 1998.– Pp. 53–71.

122 Russell, R. R. Measures of Technical Efficiency / R. R. Russell // Journal of Economic Theory.– 1985.– Vol. 35.– Pp. 109–126.

123 Sensitivity and Stability Analysis in DEA / A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Lewin, R.C. Morey, J. Rousseau // Annals of Operations Research.– 1985.– Vol. 2.– Pp. 139–156.

124 R.Sexton, T.R. The Impact of Prospective Reimbursement on Nursing Home Efficiency / T. R. Sexton, A.M. Leiken, S. Sleeper, A.F. Coburn // Medical Care.– 1989, February.– Vol. 27, No. 2.– Pp. 154–163.

125 Sexton, T.R. Evaluating Managerial Efficiency of Veterans Administration Medical Centers Using Data Envelopment Analysis / T.R. Sexton, A.M. Leiken, A.H. Nolan, et al. // Medical Care.– 1989, December.– Vol. 27, No. 12.– Pp. 1175–1188.

126 Sinuany-Stern, Z. DEA and the Discriminant Analysis of Ratios for Ranking Units / Z. Sinuany-Stern, L. Friedman // European Journal of Operational Research.– 1998.–Vol. 111.– Pp. 470–478.

127 Sinuany-Stern, Z. Academic Departments Efficiency via DEA / Z. Sinuany-Stern, A. Mehrez, A. Barboy // Computers Ops Res.– 1994.– Vol. 21, No. 5.– Pp. 543–556.

128 Sowlati, T. Establishing the Practical Frontier in DEA: Ph.D. dissertation / T. Sowlati.– University of Toronto, Canada, 2001.

129 Sowlati, T. Establishing the "Practical Frontier" in Data Envelopment Analysis / T. Sowlati, J.C. Paradi // Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century: Abstracts of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia) / Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company.– Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002.– Pp. 32–33.

130 Thanassoulis, E. Simulating Weights Restrictions in Data Envelopment Analysis by Means of Unobserved DMUs / E. Thanassoulis, R. Allen // Management Science.– 1998, April.– Vol. 44, No. 4.– Pp. 586–594.

131 The Measurement of Productive Efficiency / H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt, eds.– NY: Oxford University Press, 1993.– 426 pp.

132 Yu, G. Construction of All DEA Efficient Surfaces of the Production Possibility Set Under the Generalized Data Envelopment Analysis Model / G. Yu, Q. Wei, P. Brockett, L. Zhou // European Journal of Operational Research.– 1996.– Vol. 95.– Pp. 491–510.

Приложение А

Фрагмент отчета об исследовании, проведенном по разработанной методике

С целью сокращения объема материала приведены лишь фрагменты результатов первых трех этапов исследования, проведенного в Главном управлении здравоохранения администрации г. Красноярска. Источником данных является статистический ежегодник:

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2002: Стат. сб. / Госкомстат России. – М., 2002. – 863 с.

Этап 1. Оценка уровня экономической безопасности регионов России.

Показатели. В качестве выходных показателей используются следующие:

1. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (характеризует уровень здоровья и демографическую ситуацию в целом), лет.
2. Среднедушевые доходы населения, руб.
3. Валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения, руб.
4. Численность студентов государственных вузов на 10 000 человек населения (характеризует образовательный и культурный уровень, т.е. качество жизни).

В качестве входного показателя используется только один – унифицированный входной показатель. Его использование объясняется тем, что все показатели, выбранные для использования на этом этапе, имеют "положительную" направленность, т.е. большие их значения соответствуют более устойчивой ситуации в регионе. Поэтому логично определить их в качестве выходных показателей. Но специфика метода DEA требует наличия хотя бы одного входного показателя. В таком случае можно использовать условный входной показатель,

которому присваивается значение 1 для всех исследуемых объектов [106, с. 169–174].

Модели DEA. Модель, ориентированная на выход и принимающая условие постоянного эффекта масштаба, т.е. модель (1.5). Выбирается эта модель, т.к. целью этапа является выдача рекомендаций по *увеличению* значений показателей.

Исходные данные. Выбираются данные по 12 регионам Сибирского федерального округа за 2001 год (кроме ВРП на душу населения, данные по которому взяты за 2000 год) (таблица А.1).

Таблица А.1 – Исходные данные*

Но- мер п/п	Регионы Сибирского федерального округа	Унифици- рованный вход	Ожидаемая продолжитель- ность жизни при рождении (лет)	Среднеду- шевые до- ходы насе- ления (руб.)	ВРП на душу на- селе- ния (руб.)	Численность сту- дентов гос. вузов на 10 000 человек населения
1	Республика Алтай	1	62,37	1599	19625,4	267
2	Республика Бурятия	1	62,47	2188	21782,0	254
3	Республика Тыва	1	56,48	1609	12080,6	133
4	Республика Хакасия	1	63,57	2362	30036,1	235
5	Алтайский край	1	66,30	1691	18391,3	246
6	Красноярский край	1	63,34	3526	71730,0	350
7	Иркутская область	1	61,82	2758	38998,5	347
8	Кемеровская область	1	62,77	3058	31447,8	276
9	Новосибирская область	1	66,26	2126	28093,3	554
10	Омская область	1	66,65	2309	22608,2	338
11	Томская область	1	65,49	2823	41055,3	757
12	Читинская область	1	61,48	1574	25154,4	179

**Источник:* Регионы России.– М., 2002.– С. 55–56, 110–111, 228–229, 297–298.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню относительного развития и установка целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей (таблицы А.2, А.3 и А.4).

Таблица А.2 – Результат оценки эффективности и эталонные регионы

No.	Регион	Показатель эффективности	Место (ранг)	Эталонные регионы (и коэффициенты, с которыми они формируют гипотетический объект)			
1	Республика Алтай	0,935784	10	Омская область	1		
2	Республика Бурятия	0,938032	9	Омская область	0,954197	Томская область	0,045803
3	Республика Тыва	0,847412	12	Омская область	1		
4	Республика Хакасия	0,961615	7	Омская область	0,532347	Томская область	0,467653
5	Алтайский край	0,994749	5	Омская область	1		
6	Красноярский край	1	1	Красноярский край	1		
7	Иркутская область	0,947806	8	Красноярский край	0,123581	Томская область	0,876419
8	Кемеровская область	0,973001	6	Красноярский край	0,454986	Томская область	0,545014
9	Новосибирская область	1	1	Новосибирская область	1		
10	Омская область	1	1	Омская область	1		
11	Томская область	1	1	Томская область	1		
12	Читинская область	0,926403	11	Омская область	0,753643	Томская область	0,246357

Четыре региона – Красноярский край, Новосибирская область, Омская область и Томская область являются эффективными регионами и потому служат в качестве ориентиров для других регионов. При этом следует заметить, что весовые коэффициенты, приписываемые эталонным регионам, означают величину "вклада" данного эталонного региона в гипотетический объект, который уже в свою очередь будет являться целевым регионом для данного неэффективного региона. Например, для Кемеровской области эталонным множеством будут являться Красноярский край (с весом 0,454986) и Томская область (с весом 0,545014). Поскольку весовой коэффициент для Томской области больше, чем для Красноярского края, то это значит, что структура значений показателей Кемеровской области ближе (правда, незначительно) к структуре показателей Томской области.

Таблица А.3 – Регионы, упорядоченные по значению показателя эффективности

Место	Регион	Показатель эффективности
1	Красноярский край	1
1	Новосибирская область	1
1	Омская область	1
1	Томская область	1
5	Алтайский край	0,994749
6	Кемеровская область	0,973001
7	Республика Хакасия	0,961615
8	Иркутская область	0,947806
9	Республика Бурятия	0,938032
10	Республика Алтай	0,935784
11	Читинская область	0,926403
12	Республика Тыва	0,847412

Среднее значение показателя эффективности равно 0,9604, минимальное значение – 0,847412, стандартное отклонение – 0,043589, что указывает на сравнительно однородную группу регионов. Несколько больше отстает Республика Тыва.

Как было сказано ранее, метод DEA формирует рекомендуемые значения показателей для неэффективных объектов, в данном случае это – регионы, имеющие значение показателя эффективности меньше единицы. Если бы неэффективные регионы достигли рекомендуемых значений показателей, то они вышли бы на границу эффективности. В приведенной ниже таблице показаны рекомендуемые значения показателей для всех двенадцати регионов. У регионов, имеющих значение показателя эффективности равное единице, рекомендуемые значения показателей совпадают с исходными значениями. Если внимательно посмотреть на последнюю колонку этой таблицы, то можно заметить, что величина изменений, выраженная в процентах, даже для одного и того же региона не является одинаковой. Это объясняется тем, что, кроме пропорционального увеличения значений *всех* выходных показателей, бывает необходимо *дополнительно* увеличить значения *некоторых* показателей, но уже не в одинаковых пропорциях.

Поскольку в качестве входного показателя использовался унифицированный входной показатель, а используемая модель ориентирована на выход, т.е. на первоочередное увеличение выходных показателей, то рекомендуемые зна-

чения входного показателя у всех регионов остались без изменений, что соответствует логике решаемой задачи на данном этапе.

Таблица А.4 – Рекомендуемые значения показателей

Но- мер	Регион	Показатель эффе- ктив- ности			
	Входы/Выходы	Значения показателей (исходные)	Значения показателей (рекомен- дуемые)	Разность абсолют- ная	Разность в процентах
1	2	3	4	5	6
1	Республика Алтай	0,935784			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	62,37	66,65	4,28	6,86%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	1599	2309	710	44,40%
	ВРП на душу населения (руб.)	19625,4	22608,2	2982,8	15,20%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	267	338	71	26,59%
2	Республика Бурятия	0,938032			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	62,47	66,59687	4,126868	6,61%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	2188	2332,543	144,5428	6,61%
	ВРП на душу населения (руб.)	21782	23453,13	1671,134	7,67%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	254	357,1915	103,1915	40,63%
3	Республика Тыва	0,847412			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	56,48	66,65	10,17	18,01%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	1609	2309	700	43,51%
	ВРП на душу населения (руб.)	12080,6	22608,2	10527,6	87,14%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	133	338	205	154,14%
4	Республика Хакасия	0,961615			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	63,57	66,10752	2,537522	3,99%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	2362	2549,374	187,3739	7,93%
	ВРП на душу населения (руб.)	30036,1	31235,05	1198,95	3,99%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	235	533,9468	298,9468	127,21%
5	Алтайский край	0,994749			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	66,3	66,65	0,35	0,53%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	1691	2309	618	36,55%
	ВРП на душу населения (руб.)	18391,3	22608,2	4216,9	22,93%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	246	338	92	37,40%

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6
6	Красноярский край	1			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	63,34	63,34	0	0,00%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	3526	3526	0	0,00%
	ВРП на душу населения (руб.)	71730	71730	0	0,00%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	350	350	0	0,00%
7	Иркутская область	0,947806			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	61,82	65,2243	3,404301	5,51%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	2758	2909,877	151,8774	5,51%
	ВРП на душу населения (руб.)	38998,5	44846,11	5847,609	14,99%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	347	706,7025	359,7025	103,66%
8	Кемеровская область	0,973001			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	62,77	64,51178	1,74178	2,77%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	3058	3142,855	84,85523	2,77%
	ВРП на душу населения (руб.)	31447,8	55011,86	23564,06	74,93%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	276	571,8207	295,8207	107,18%
9	Новосибирская область	1			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	66,26	66,26	0	0,00%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	2126	2126	0	0,00%
	ВРП на душу населения (руб.)	28093,3	28093,3	0	0,00%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	554	554	0	0,00%
10	Омская область	1			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	66,65	66,65	0	0,00%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	2309	2309	0	0,00%
	ВРП на душу населения (руб.)	22608,2	22608,2	0	0,00%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	338	338	0	0,00%
11	Томская область	1			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	65,49	65,49	0	0,00%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	2823	2823	0	0,00%
	ВРП на душу населения (руб.)	41055,3	41055,3	0	0,00%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	757	757	0	0,00%
12	Читинская область	0,926403			
	Унифицированный вход	1	1	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)	61,48	66,36423	4,884226	7,94%
	Среднедушевые доходы населения (руб.)	1574	2435,627	861,6274	54,74%
	ВРП на душу населения (руб.)	25154,4	27152,77	1998,37	7,94%
	Численность студентов гос. вузов на 10 000 человек населения	179	441,2235	262,2235	146,49%

Этап 2. Оценка уровня состояния здоровья населения регионов России.

На данном этапе выполняется два микроисследования: первое касается основных демографических показателей (смертности и рождаемости), а во втором анализируются показатели заболеваемости населения.

Этап 2а. Оценка демографической ситуации в регионах.

Показатели. Воспользуемся очень простым набором показателей. В качестве входного показателя будем использовать общий коэффициент смертности, т.е. число умерших на 1000 человек населения. В качестве выходного показателя будем использовать общий коэффициент рождаемости, т.е. число родившихся на 1000 человек населения. В данном случае между этими показателями нет технологической связи, т.е. из коэффициента смертности невозможно "произвести" коэффициент рождаемости. Однако для первого из показателей желательно уменьшение значений, а для второго желательно увеличение значений. Это вписывается в логику решаемой задачи по оценке демографической ситуации в регионах.

Модели DEA. При выборе моделей будем исходить из следующих соображений. Во-первых, следует учесть, что прирост населения (а для России актуальна проблема именно увеличения прироста населения) может достигаться как за счет повышения рождаемости, так и за счет снижения смертности. Во-вторых, возможна демографическая ситуация, когда наряду с высокой рождаемостью имеет место высокая смертность, или прямо противоположная картина, когда при низкой смертности имеет место низкая же рождаемость. Первый тип ситуации характерен для стран Азии, а второй – для развитых стран Европы и Северной Америки. В России также есть регионы, в которых демографические процессы протекают по первому или по второму типу. Потому при сравнении регионов и при выборе регионов-эталонов необходимо учитывать тип демографической ситуации, т.е. желательно, чтобы для региона с первым типом демографических процессов в качестве эталонов назначались регионы, развивающиеся по этому же типу. Аналогичное пожелание справедливо и для второго типа регионов. Для учета описанной специфики необходимо выбирать модели,

учитывающие *переменный эффект масштаба*. В моделях такого типа каждый неэффективный объект сопоставляется с эффективными объектами, имеющими структуру (соотношения) значений показателей, наиболее близкую к структуре этого неэффективного объекта. Для выбора "направления" (способа) повышения прироста численности населения следует воспользоваться моделями DEA, ориентированными как на вход, так и на выход. В первом случае будут получены конкретные количественные рекомендации по снижению уровня смертности, а во втором случае – по увеличению рождаемости.

Подводя итог, выбираем две модели, принимающие условие переменного эффекта масштаба: одна из них – с ориентацией на вход, а вторая – с ориентацией на выход. Это модели (1.1) (с добавлением условия (1.2)) и (1.6) соответственно.

Исходные данные. Выбираются данные по 12 регионам Сибирского федерального округа за 2001 год (таблица А.5).

Таблица А.5 – Исходные данные*

Номер п/п	Регионы Сибирского федерального округа	Смертность	Рождаемость
1	Республика Алтай	14,0	14,7
2	Республика Бурятия	13,5	11,4
3	Республика Тыва	13,4	16,1
4	Республика Хакасия	14,8	9,6
5	Алтайский край	14,7	9,6
6	Красноярский край	14,5	9,9
7	Иркутская область	15,1	10,7
8	Кемеровская область	16,8	9,4
9	Новосибирская область	14,4	9,1
10	Омская область	13,4	8,5
11	Томская область	13,3	9,6
12	Читинская область	14,4	11,7

**Источник:* Регионы России.– М., 2002.– С. 48–51.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню демографической ситуации и установка целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей (см. таблицы А.6, А.7 и А.8).

Сначала проведем расчеты по модели, принимающей условие переменного эффекта масштаба, с ориентацией на вход, т.е. по модели (1.1) с добавлением

условия (1.2). Для более наглядного представления результатов покажем регионы на графике, т.к. в данном – двумерном – случае это возможно (см. рисунок А.1). На этом графике нумерация точек совпадает с нумерацией регионов в таблице исходных данных (см. таблицу А.5).

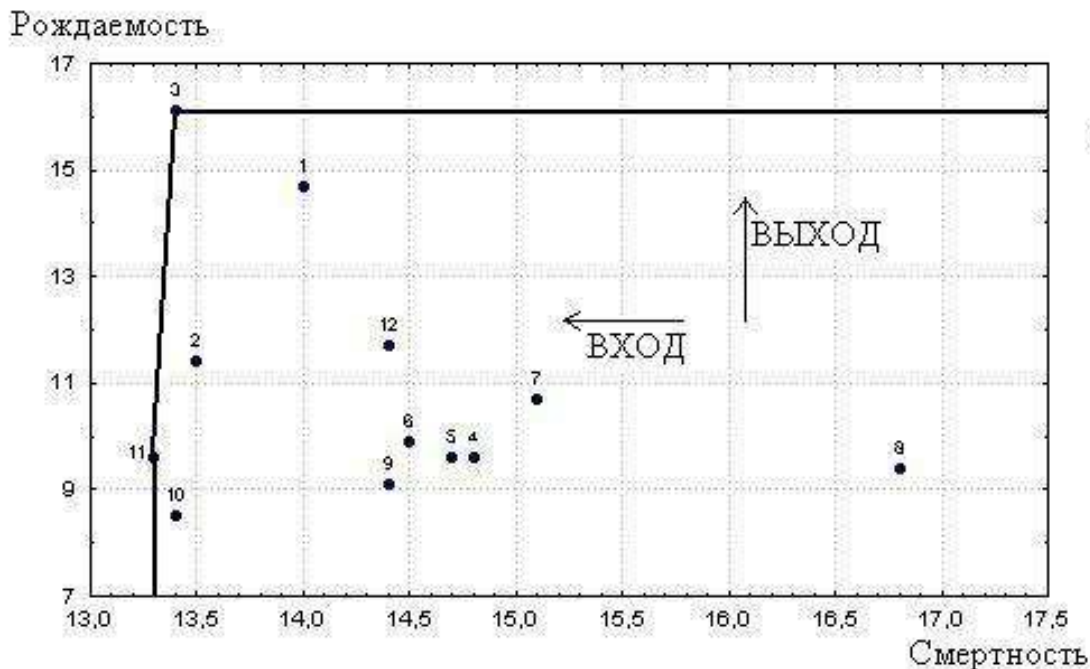


Рисунок А.1 – Граница эффективности для задачи с двумя показателями

Сделаем краткое описание полученных результатов на основе этого рисунка. Он поможет нам проиллюстрировать некоторые теоретические положения на практическом примере. Начнем с самого важного понятия – границы эффективности. В данном случае она состоит из трех фрагментов: отрезка, соединяющего точки 3 и 11, отрезка, проведенного параллельно оси ординат от точки 11 до оси абсцисс (ось "Смертность"), и луча, выходящего из точки 3 параллельно оси абсцисс. Конечно, при наличии в выборке большего числа объектов граница может состоять из гораздо большего числа фрагментов, что позволит подобрать для каждого из неэффективных объектов целевые значения показателей более точно и обоснованно. Однако и такая граница, как на рисунке А.1, дает информацию для анализа. Наличие же двух фрагментов, параллельных

лельных осей координат, объясняется малой величиной выборки (12 объектов) [104, с. 176].

При использовании модели, ориентированной на вход, главной целью является выявление степени возможного снижения входных значений. Направление для проецирования точек на границу эффективности показано стрелкой "ВХОД". Для модели, ориентированной на выход, когда главная цель – увеличение выходных значений, это направление обозначено стрелкой "ВЫХОД".

Для каждого неэффективного объекта (в данном случае – региона) формируется точка-проекция на границе эффективности. Эта точка представляет собой цель для неэффективного объекта и является гипотетическим объектом, который образуется как линейная комбинация (сумма) одного или более эффективных (эталонных) – реальных – объектов (регионов). В линейную комбинацию реальные объекты входят с различными весовыми коэффициентами. Чем больше этот коэффициент, тем ближе структура (соотношения) значений показателей неэффективного объекта к структуре значений показателей этого реального объекта. Например, если точку 2 (Республика Бурятия) спроецировать на границу эффективности в направлении стрелки "ВХОД", то проекция расположится на участке, соединяющем точки 3 и 11, причем *ближе* к точке 11 (Томская область), чем к точке 3 (Республика Тыва). Посмотрев в таблицу А.6, можно увидеть, что весовой коэффициент для эталонного объекта 11 *больше* весового коэффициента для объекта 3: 0,723077 против 0,276923. Таким образом, показатели для объекта "Республика Бурятия" ближе к показателям объекта "Томская область", но объект "Республика Тыва" также вносит свой вклад в формирование целевого гипотетического объекта.

Посмотрим на точку 10 (Омская область). Если ее спроецировать на границу эффективности в направлении стрелки "ВХОД", то проекция расположится на участке, соединяющем точку 11 и ось абсцисс (ось "Смертность"). В соответствии с принципом оптимальности Парето эта точка-проекция не будет являться оптимальной точкой, поскольку точка 11 имеет показатель "Рождаемость" *лучше* (больше), чем эта точка-проекция, а показатель "Смертность" – *не*

хуже (такой же). Таким образом, можно, не увеличивая (*не ухудшая*) значения показателя "Смертность", увеличить (*улучшить*) значение показателя "Рождаемость" путем перехода от точки-проекции к оптимальной точке 11. В таблице А.8 это отражено в колонке "Значения показателей (рекомендуемые)" – рекомендуется повысить значение выходного показателя "Рождаемость" с 8,5 до 9,6. Важно заметить, что на данном этапе мы использовали модель DEA, ориентированную на вход, т.е. главной целью было снижение значений показателя "Смертность". Однако в тех случаях, когда проекции неэффективных точек оказались на участке границы эффективности, проходящем от точки 3 к оси абсцисс (ось "Смертность"), для таких точек – точки 8, 9 и 10 – рекомендовано не только сокращение значений входного показателя "Смертность", но также еще и увеличение значений выходного показателя "Рождаемость" – в соответствии с принципом оптимальности Парето. Это рассуждение справедливо и для задач большей размерности, а не только для рассматриваемого сейчас случая с одним входом и одним выходом.

Таблица А.6 – Результат оценки эффективности и эталонные регионы

Но-мер	Регион	Показатель эффективности	Место (ранг)	Эталонные регионы (и коэффициенты, с которыми они формируют гипотетический объект)			
1	Республика Алтай	0,955604	5	Республика Тыва	0,784615	Томская область	0,215385
2	Республика Бурятия	0,987236	4	Республика Тыва	0,276923	Томская область	0,723077
3	Республика Тыва	1	1	Республика Тыва	1		
4	Республика Хакасия	0,898649	10	Томская область	1		
5	Алтайский край	0,904762	9	Томская область	1		
6	Красноярский край	0,91756	8	Республика Тыва	4,62E-02	Томская область	0,953846
7	Иркутская область	0,881915	11	Республика Тыва	0,169231	Томская область	0,830769
8	Кемеровская область	0,791667	12	Томская область	1		
9	Новосибирская область	0,923611	7	Томская область	1		
10	Омская область	0,992537	3	Томская область	1		
11	Томская область	1	1	Томская область	1		
12	Читинская область	0,925855	6	Республика Тыва	0,323077	Томская область	0,676923

Только два региона – Республика Тыва и Томская область являются эффективными регионами и потому служат в качестве ориентиров для других регионов. При этом следует напомнить, что весовые коэффициенты, приписываемые эталонным регионам, означают величину "вклада" данного эталонного региона в гипотетический объект, который уже будет являться целевым регионом для данного неэффективного региона. Например, для Красноярского края эталонным множеством будут являться Республика Тыва (с весом 0,0462) и Томская область (с весом 0,953846). Поскольку весовой коэффициент для Томской области больше, чем для Республики Тыва, то это значит, что структура значимых показателей Красноярского края значительно ближе к структуре показателей Томской области.

Для Республики Хакасия и Алтайского края эталоном является Томская область, т.к. значения выходного показателя "Рождаемость" у всех этих трех регионов одинаковое – 9,6. В результате проекции точек 4 и 5 на границу эффективности в точности совпадают с точкой 11.

Таблица А.7 – Регионы, упорядоченные по значению показателя эффективности

Место	Регион	Показатель эффективности
1	Республика Тыва	1
1	Томская область	1
3	Омская область	0,992537
4	Республика Бурятия	0,987236
5	Республика Алтай	0,955604
6	Читинская область	0,925855
7	Новосибирская област	0,923611
8	Красноярский край	0,91756
9	Алтайский край	0,904762
10	Республика Хакасия	0,898649
11	Иркутская область	0,881915
12	Кемеровская область	0,791667

Среднее значение показателя эффективности равно 0,931616, минимальное значение – 0,791667, при небольшом стандартном отклонении, равном 0,058375, что указывает на сравнительно однородную группу регионов. Немного больше отстает Кемеровская область.

Как было сказано ранее, метод DEA формирует рекомендуемые значения показателей для неэффективных объектов, в данном случае это – регионы, имеющие значение показателя эффективности меньше единицы. Если бы неэффективные регионы достигли рекомендуемых значений показателей, то они вышли бы на границу эффективности. В приведенной ниже таблице А.8 показаны рекомендуемые значения показателей для всех двенадцати регионов. У регионов, имеющих значение показателя эффективности равное единице, рекомендуемые значения показателей совпадают с исходными значениями.

Поскольку используемая модель ориентирована на вход, т.е. на первоочередное уменьшение входного показателя, то рекомендуемые значения этого показателя у всех неэффективных регионов уменьшены по сравнению с их исходными значениями. Для Кемеровской, Новосибирской и Омской областей рекомендовано также увеличение значений выходного показателя "Рождаемость" (объяснение см. выше).

Таблица А.8 – Рекомендуемые значения показателей

Но- мер	Регион	Показатель эффективно- сти			
	Входы/Выходы	Значения по- казателей (исходные)	Значения по- казателей (рекомендуе- мые)	Разность абсолютная	Разность в процентах
1	2	3	4	5	6
1	Республика Алтай	0,955604			
	Смертность	14	13,37846	-0,62154	-4,44%
	Рождаемость	14,7	14,7	0	0,00%
2	Республика Бурятия	0,987236			
	Смертность	13,5	13,32769	-0,17231	-1,28%
	Рождаемость	11,4	11,4	0	0,00%
3	Республика Тыва	1			
	Смертность	13,4	13,4	0	0,00%
	Рождаемость	16,1	16,1	0	0,00%
4	Республика Хакасия	0,898649			
	Смертность	14,8	13,3	-1,5	-10,14%
	Рождаемость	9,6	9,6	0	0,00%
5	Алтайский край	0,904762			
	Смертность	14,7	13,3	-1,4	-9,52%
	Рождаемость	9,6	9,6	0	0,00%
6	Красноярский край	0,91756			
	Смертность	14,5	13,30462	-1,19538	-8,24%
	Рождаемость	9,9	9,9	0	0,00%

Продолжение таблицы А.8

1	2	3	4	5	6
7	Иркутская область	0,881915			
	Смертность	15,1	13,31692	-1,78308	-11,81%
	Рождаемость	10,7	10,7	0	0,00%
8	Кемеровская область	0,791667			
	Смертность	16,8	13,3	-3,5	-20,83%
	Рождаемость	9,4	9,6	0,2	2,13%
9	Новосибирская область	0,923611			
	Смертность	14,4	13,3	-1,1	-7,64%
	Рождаемость	9,1	9,6	0,5	5,49%
10	Омская область	0,992537			
	Смертность	13,4	13,3	-0,1	-0,75%
	Рождаемость	8,5	9,6	1,1	12,94%
11	Томская область	1			
	Смертность	13,3	13,3	0	0,00%
	Рождаемость	9,6	9,6	0	0,00%
12	Читинская область	0,925855			
	Смертность	14,4	13,33231	-1,06769	-7,41%
	Рождаемость	11,7	11,7	0	0,00%

Теперь проведем расчеты по модели, принимающей условие переменного эффекта масштаба, с ориентацией на *выход*, т.е. по модели (1.6). Результаты представлены в таблицах А.9, А.10 и А.11.

Таблица А.9 – Результат оценки эффективности и эталонные регионы

Но-мер	Регион	Показатель эф-фективности	Место (ранг)	Эталонные регионы (и коэффициенты, с которыми они формируют гипотетический объект)	
1	Республика Алтай	0,913043	3	Республика Тыва	1
2	Республика Бурятия	0,708075	5	Республика Тыва	1
3	Республика Тыва	1	1	Республика Тыва	1
4	Республика Хакасия	0,596273	8	Республика Тыва	1
5	Алтайский край	0,596273	8	Республика Тыва	1
6	Красноярский край	0,614907	7	Республика Тыва	1
7	Иркутская область	0,664596	6	Республика Тыва	1
8	Кемеровская область	0,583851	10	Республика Тыва	1
9	Новосибирская область	0,565217	11	Республика Тыва	1
10	Омская область	0,52795	12	Республика Тыва	1
11	Томская область	1	1	Томская область	1
12	Читинская область	0,726708	4	Республика Тыва	1

Так же, как и при использовании модели, ориентированной на вход, только два региона – Республика Тыва и Томская область – являются эффективными регионами. При этом следует напомнить, что при изменении ориентации модели множество эффективных объектов остается тем же самым (в нашем случае это Республика Тыва и Томская область), но изменяются значения пока-

зателей эффективности для неэффективных объектов. Это объясняется тем, что граница эффективности остается одной и той же при ориентации модели как на вход, так и на выход, как и показано на рисунке А.1. Ориентация влияет только на *направление проецирования* неэффективных точек на эту границу. На рисунке А.1 направление проецирования при ориентации на выход показано стрелкой с пометкой "ВЫХОД". Как видно на этом рисунке, расстояния от одной и той же неэффективной точки до границы эффективности, измеренные в направлении стрелок "ВХОД" и "ВЫХОД" – в общем случае – различаются. Вот почему различаются и значения показателя эффективности для одной и той же точки в зависимости от выбранной ориентации модели ДЕА. Из рисунка становится ясно, почему для всех регионов, кроме, конечно, Томской области, эталоном является Республика Тыва.

Таблица А.10 – Регионы, упорядоченные по значению показателя эффективности

Место	Регион	Показатель эффективности
1	Республика Тыва	1
1	Томская область	1
3	Республика Алтай	0,913043
4	Читинская область	0,726708
5	Республика Бурятия	0,708075
6	Иркутская область	0,664596
7	Красноярский край	0,614907
8	Алтайский край	0,596273
8	Республика Хакасия	0,596273
10	Кемеровская область	0,583851
11	Новосибирская област	0,565217
12	Омская область	0,52795

Среднее значение показателя эффективности равно 0,708075, минимальное значение – 0,52795, при несколько большем, чем в предыдущем расчете, стандартном отклонении, равном 0,162443, что указывает на менее однородную группу регионов. Только Республика Алтай находится почти на границе эффективности. Остальные регионы значительно отстают.

В приведенной ниже таблице А.11 показаны рекомендуемые значения показателей для всех двенадцати регионов.

Поскольку используемая модель ориентирована на выход, т.е. на первоочередное увеличение выходного показателя "Рождаемость", то рекомендуемые значения этого показателя у всех неэффективных регионов увеличены по сравнению с их исходными значениями. Для всех регионов, за исключением эффективной Томской области, рекомендовано также уменьшение значений входного показателя "Смертность". Это объясняется тем, что при проецировании точек на границу эффективности в направлении стрелки "ВЫХОД" все они попадают на участок границы, выходящий из точки 3 параллельно оси абсцисс. Конечно, так бывает не всегда даже при малой выборке объектов исследования. Как было сказано выше, в соответствии с принципом оптимальности Парето все точки-проекции еще не являются оптимальными. Чтобы они стали оптимальными, их нужно переместить вдоль этого участка границы до точки 3. А это равнозначно уменьшению значения входного показателя "Смертность" для этих точек, что и отражено в таблице А.11.

Необходимо добавить, что при наличии в задаче *не одного* входного показателя, как в данном случае, а большего их числа, подобные *дополнительные* перемещения точек *параллельно* осям координат могут выполняться не для каждого из входных показателей, а только для части из них. Это зависит от конфигурации границы эффективности.

Таблица А.11 – Рекомендуемые значения показателей

Но-мер	Регион	Показатель эффективности			
	Входы/Выходы	Значения показателей исходные)	Значения показателей (рекомендуемые)	Разность абсолютная	Разность в процентах
1	2	3	4	5	6
1	Республика Алтай	0,913043			
	Смертность	14	13,4	-0,6	-4,29%
	Рождаемость	14,7	16,1	1,4	9,52%
2	Республика Бурятия	0,708075			
	Смертность	13,5	13,4	-1,00E-01	-0,74%
	Рождаемость	11,4	16,1	4,7	41,23%
3	Республика Тыва	1			
	Смертность	13,4	13,4	0	0,00%
	Рождаемость	16,1	16,1	0	0,00%

Продолжение таблицы А.11

1	2	3	4	5	6
4	Республика Хакасия	0,596273			
	Смертность	14,8	13,4	-1,4	-9,46%
	Рождаемость	9,6	16,1	6,5	67,71%
5	Алтайский край	0,596273			
	Смертность	14,7	13,4	-1,3	-8,84%
	Рождаемость	9,6	16,1	6,5	67,71%
6	Красноярский край	0,614907			
	Смертность	14,5	13,4	-1,1	-7,59%
	Рождаемость	9,9	16,1	6,2	62,63%
7	Иркутская область	0,664596			
	Смертность	15,1	13,4	-1,7	-11,26%
	Рождаемость	10,7	16,1	5,4	50,47%
8	Кемеровская область	0,583851			
	Смертность	16,8	13,4	-3,4	-20,24%
	Рождаемость	9,4	16,1	6,7	71,28%
9	Новосибирская область	0,565217			
	Смертность	14,4	13,4	-1	-6,94%
	Рождаемость	9,1	16,1	7	76,92%
10	Омская область	0,52795			
	Смертность	13,4	13,4	0	0,00%
	Рождаемость	8,5	16,1	7,6	89,41%
11	Томская область	1			
	Смертность	13,3	13,3	0	0,00%
	Рождаемость	9,6	9,6	0	0,00%
12	Читинская область	0,726708			
	Смертность	14,4	13,4	-1	-6,94%
	Рождаемость	11,7	16,1	4,4	37,61%

При установлении целей для регионов можно комбинировать рекомендуемые изменения показателя "Смертность" с изменениями показателя "Рождаемость". В данном случае мог бы быть бы полезным подход, основанный на формировании группы искусственных эталонных регионов, имеющих определенные комбинации значений показателей. При использовании искусственных эталонных регионов можно было бы сформировать более "разнообразную" границу эффективности, состоящую из большего числа фрагментов, соответствующих различным комбинациям значений показателей. Наличие большего числа фрагментов границы позволило бы задать цели для неэффективных регионов более точно, более избирательно. Комбинации значений для искусственных регионов могли бы быть установлены экспертами. Поскольку комбинация, включающая минимальный уровень смертности и максимальный уровень рождаемости, вряд ли практически реализуема, то, вероятнее всего, было бы

предложено несколько принципиально реализуемых комбинаций, в которых значения показателей не являются предельными.

Еще одним из путей дальнейшего прояснения демографической картины может быть использование расширенного набора показателей, например, такого: общий коэффициент смертности, коэффициент младенческой смертности, общий коэффициент рождаемости и ожидаемая продолжительность жизни.

Возможно также и расширение выборки регионов, например, включение в нее регионов других федеральных округов или даже всех регионов России.

Этап 2б. Оценка уровня состояния здоровья населения в регионах.

Показатели. Воспользуемся показателями, которые характеризуют уровень заболеваемости по основным группам заболеваний. В качестве входных показателей примем заболеваемость на 1000 человек населения: новообразования, болезни системы кровообращения, осложнения во время беременности, родов и в послеродовой период. Для данных показателей желательно уменьшение значений, поэтому логично использовать их в качестве входных, что согласуется с принципами работы моделей DEA.

В качестве выходного показателя будем использовать унифицированный выход. Принцип его использования уже был объяснен при выполнении этапа 1.

Модели DEA. Модель, ориентированная на вход и принимающая условие постоянного эффекта масштаба, т.е. модель (1.1). Выбирается эта модель, т.к. целью этапа является выдача рекомендаций по *уменьшению* значений показателей.

Исходные данные. Выбираются данные по 12 регионам Сибирского федерального округа за 2001 год (см. таблицу А.12).

Таблица А.12 – Исходные данные*

Регион	Заболеваемость на 1000 человек населения			Унифицированный выход
	новообразования	болезни системы кровообращения	беременность, роды и послеродовой период	
Республика Алтай	6,3	25,6	80,7	1
Республика Бурятия	4,3	14,2	47,5	1
Республика Тыва	2,8	11,7	62,3	1
Республика Хакасия	7,8	12,0	52,7	1
Алтайский край	13,6	49,2	95,7	1
Красноярский край	9,4	15,1	39,9	1
Иркутская область	7,0	17,2	42,4	1
Кемеровская область	7,9	13,9	53,0	1
Новосибирская область	9,6	15,3	77,6	1
Омская область	6,3	21,8	82,2	1
Томская область	11,7	19,5	61,6	1
Читинская область	5,8	19,4	45,3	1

*Источник: Регионы России.– М., 2002.– С. 260–261.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню состояния здоровья населения и установка целей для неэффективных (небезопасных) регионов по достижению определенных значений показателей. Результаты представлены в таблицах А.13, А.14 и А15.

Таблица А.13 – Результат оценки эффективности и эталонные регионы

Но-мер	Регион	Показатель эффективности	Место (ранг)	Эталонные регионы (и коэффициенты, с которыми они формируют гипотетический объект)					
				5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Республика Алтай	0,629474	10	Республика Бурятия	0,777124	Республика Тыва	0,222876		
2	Республика Бурятия	1	1	Республика Бурятия	1				
3	Республика Тыва	1	1	Республика Тыва	1				
4	Республика Хакасия	1	1	Республика Хакасия	1				
5	Алтайский край	0,458215	12	Республика Бурятия	0,284546	Иркутская область	0,715454		
6	Красноярский край	1	1	Красноярский край	1				

Продолжение таблицы А.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Иркутская область	1	1	Иркутская область	1				
8	Кемеровская область	0,933269	7	Республика Бурятия	0,200428	Республика Хакасия	0,628123	Красноярский край	0,171449
9	Новосибирская область	0,769922	8	Республика Тыва	0,733956	Республика Хакасия	0,266044		
10	Омская область	0,622933	11	Республика Бурятия	0,749654	Республика Тыва	0,250346		
11	Томская область	0,72198	9	Республика Бурятия	9,18E-02	Республика Хакасия	0,30282	Красноярский край	0,605353
12	Читинская область	0,988742	6	Республика Бурятия	0,468629	Иркутская область	0,531371		

Таблица А.14 – Регионы, упорядоченные по значению показателя эффективности

Место	Регион	Показатель эффективности
1	Республика Бурятия	1
1	Республика Тыва	1
1	Республика Хакасия	1
1	Красноярский край	1
1	Иркутская область	1
6	Читинская область	0,988742
7	Кемеровская область	0,933269
8	Новосибирская область	0,769922
9	Томская область	0,72198
10	Республика Алтай	0,629474
11	Омская область	0,622933
12	Алтайский край	0,458215

Среднее значение показателя эффективности равно 0,843711, минимальное значение – 0,458215, при стандартном отклонении, равном 0,185898, что указывает на наличие неоднородности в группе регионов. Заметно отстают от лидеров Республика Алтай и Омская область, а Алтайский край имеет значение показателя эффективности менее 50 процентов.

Таблица А.15 – Рекомендуемые значения показателей

Но- мер	Регион	Показатель эффективности			
	Входы/Выходы	Значения пока- зателей (исходные)	Значения пока- зателей (рекомендуемые)	Разность абсолютная	Разность в процентах
1	2	3	4	5	6
1	Республика Алтай	0,629474			
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (новообразова- ния)	6,3	3,965687	-2,33431	-37,05%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (болезни систе- мы кровообращения)	25,6	13,64281	-11,9572	-46,71%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (беременность, роды и послеродовой период)	80,7	50,79856	-29,9014	-37,05%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
2	Республика Бурятия	1			
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (новообразова- ния)	4,3	4,3	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (болезни систе- мы кровообращения)	14,2	14,2	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (беременность, роды и послеродовой период)	47,5	47,5	0	0,00%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
3	Республика Тыва	1			
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (новообразова- ния)	2,8	2,8	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (болезни систе- мы кровообращения)	11,7	11,7	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (беременность, роды и послеродовой период)	62,3	62,3	0	0,00%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
4	Республика Хакасия	1			
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (новообразова- ния)	7,8	7,8	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (болезни систе- мы кровообращения)	12	12	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 чело- век населения (беременность, роды и послеродовой период)	52,7	52,7	0	0,00%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%

Продолжение таблицы А.15

1	2	3	4	5	6
5	Алтайский край	0,458215			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	13,6	6,231725	-7,36827	-54,18%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	49,2	16,34636	-32,8536	-66,78%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	95,7	43,85119	-51,8488	-54,18%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
6	Красноярский край	1			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	9,4	9,4	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	15,1	15,1	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	39,9	39,9	0	0,00%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
7	Иркутская область	1			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	7	7	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	17,2	17,2	0	0,00%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	42,4	42,4	0	0,00%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
8	Кемеровская область	0,933269			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	7,9	7,372821	-0,52718	-6,67%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	13,9	12,97243	-0,92757	-6,67%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	53	49,46323	-3,53677	-6,67%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
9	Новосибирская область	0,769922			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	9,6	4,130219	-5,46978	-56,98%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	15,3	11,77981	-3,52019	-23,01%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	77,6	59,74598	-17,854	-23,01%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%

Продолжение таблицы А.15

1	2	3	4	5	6
10	Омская область	0,622933			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	6,3	3,92448	-2,37552	-37,71%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	21,8	13,57413	-8,22587	-37,73%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	82,2	51,20513	-30,9949	-37,71%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
11	Томская область	0,72198			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	11,7	8,447168	-3,25283	-27,80%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	19,5	14,07861	-5,42139	-27,80%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	61,6	44,47398	-17,126	-27,80%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%
12	Читинская область	0,988742			
	Заболеваемость на 1000 человек населения (новообразования)	5,8	5,734703	-6,53E-02	-1,13%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (болезни системы кровообращения)	19,4	15,79411	-3,60589	-18,59%
	Заболеваемость на 1000 человек населения (беременность, роды и послеродовой период)	45,3	44,79001	-0,50999	-1,13%
	Унифицированный выход	1	1	0	0,00%

Этап 3. Оценка эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" в регионах России.

Показатели. В качестве входных показателей выберем следующие: число больничных коек на 10 000 человек населения (характеризует капитальные вложения в отрасль); численность врачей на 10 000 человек населения; численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения. В качестве выходного показателя возьмем ожидаемую продолжительность жизни при рождении. Этот показатель в интегральной форме характеризует эффективность работы системы здравоохранения. Следует добавить, что этот показатель зависит не

только от эффективности работы данной отрасли, но также от уровня развития экономики, от экологических показателей.

Модели DEA. При выборе моделей примем во внимание, что все входные показатели являются удельными (относительными) величинами. А поскольку требуется получить рекомендации как по сокращению издержек, так и по увеличению ожидаемой продолжительности жизни при рождении, то будем использовать две модели, принимающие условие постоянного эффекта масштаба: с ориентацией на вход – модель (1.1) – и с ориентацией на выход – модель (1.5).

Исходные данные. Выбираются данные по 12 регионам Сибирского федерального округа за 2001 год (см. таблицу А.16).

Таблица А.16 – Исходные данные*

Номер п/п	Регионы Сибирского федерального округа	Число больничных коек на 10 000 человек населения	Численность врачей на 10 000 человек населения	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет
1	Республика Алтай	124,5	34,6	124,0	62,37
2	Республика Бурятия	98,6	36,5	98,5	62,47
3	Республика Тыва	159,3	38,8	133,8	56,48
4	Республика Хакасия	109,9	34,5	103,4	63,57
5	Алтайский край	111,6	42,6	105,5	66,30
6	Красноярский край	114,1	46,9	106,3	63,34
7	Иркутская область	122,2	44,7	103,4	61,82
8	Кемеровская область	96,2	45,1	104,4	62,77
9	Новосибирская область	125,0	43,3	106,5	66,26
10	Омская область	112,6	53,7	115,0	66,65
11	Томская область	119,6	66,3	106,9	65,49
12	Читинская область	124,8	45,6	99,9	61,48

**Источник:* Регионы России.– М., 2002.– С. 55–56, 232–233, 242–243, 248–249.

Что является результатом этого этапа. Результатом этапа является ранжирование регионов по уровню эффективности функционирования отрасли "Здравоохранение" и установка целей для неэффективных региональных отраслей по достижению определенных значений показателей. Результаты представлены в таблицах А.17, А.18 и А.19.

Сначала проведем расчеты по модели, принимающей условие постоянного эффекта масштаба, с ориентацией на *вход*, т.е. по модели (1.1).

Таблица А.17 – Результат оценки эффективности и эталонные регионы

Но-мер	Регион	Показатель эффективности	Место (ранг)	Эталонные регионы (и коэффициенты, с которыми они формируют гипотетический объект)			
1	Республика Алтай	0,978288	6	Республика Хакасия	0,981123		
2	Республика Бурятия	1	1	Республика Бурятия	1		
3	Республика Тыва	0,790005	12	Республика Хакасия	0,888469		
4	Республика Хакасия	1	1	Республика Хакасия	1		
5	Алтайский край	0,990891	4	Республика Бурятия	1,061309		
6	Красноярский край	0,939528	10	Республика Бурятия	1,013927		
7	Иркутская область	0,942699	9	Республика Бурятия	0,989595		
8	Кемеровская область	1	1	Кемеровская область	1		
9	Новосибирская область	0,980994	5	Республика Бурятия	1,060669		
10	Омская область	0,92709	11	Республика Бурятия	0,784651	Кемеровская область	0,280912
11	Томская область	0,965966	8	Республика Бурятия	1,048343		
12	Читинская область	0,97036	7	Республика Бурятия	0,984152		

Для Красноярского края эталонным регионом является Республика Бурятия.

Таблица А.18 – Регионы, упорядоченные по значению показателя эффективности

Место	Регион	Показатель эффективности
1	Республика Бурятия	1
1	Республика Хакасия	1
1	Кемеровская область	1
4	Алтайский край	0,990891
5	Новосибирская область	0,980994
6	Республика Алтай	0,978288
7	Читинская область	0,97036
8	Томская область	0,965966
9	Иркутская область	0,942699
10	Красноярский край	0,939528
11	Омская область	0,92709
12	Республика Тыва	0,790005

Среднее значение показателя эффективности равно 0,957152, минимальное значение – 0,790005, при стандартном отклонении, равном 0,055734, что указывает на довольно однородную группу регионов. Заметно отстает от лидеров только Республика Тыва.

Таблица А.19 – Рекомендуемые значения показателей

Но-мер	Регион	Показатель эффективности			
	Входы/Выходы	Значения показателей (исходные)	Значения показателей (рекомендуемые)	Разность абсолютная	Разность в процентах
1	2	3	4	5	6
1	Республика Алтай	0,978288			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	124,5	107,8254	-16,6746	-13,39%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	34,6	33,84875	-0,75125	-2,17%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	124	101,4481	-22,5519	-18,19%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	62,37	62,37	0	0,00%
2	Республика Бурятия	1			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	98,6	98,6	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	36,5	36,5	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	98,5	98,5	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	62,47	62,47	0	0,00%
3	Республика Тыва	0,790005			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	159,3	97,64279	-61,6572	-38,71%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	38,8	30,65219	-8,14781	-21,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	133,8	91,86774	-41,9323	-31,34%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	56,48	56,48	0	0,00%
4	Республика Хакасия	1			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	109,9	109,9	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	34,5	34,5	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	103,4	103,4	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	63,57	63,57	0	0,00%

Продолжение таблицы А.19

1	2	3	4	5	6
5	Алтайский край	0,990891			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	111,6	104,6451	-6,95489	-6,23%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	42,6	38,73779	-3,86221	-9,07%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	105,5	104,539	-0,96102	-0,91%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	66,3	66,3	0	0,00%
6	Красноярский край	0,939528			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	114,1	99,97317	-14,1268	-12,38%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	46,9	37,00832	-9,89168	-21,09%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	106,3	99,87178	-6,42822	-6,05%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	63,34	63,34	0	0,00%
7	Иркутская область	0,942699			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	122,2	97,57407	-24,6259	-20,15%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	44,7	36,12022	-8,57978	-19,19%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	103,4	97,47511	-5,92489	-5,73%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	61,82	61,82	0	0,00%
8	Кемеровская область	1			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	96,2	96,2	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	45,1	45,1	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	104,4	104,4	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	62,77	62,77	0	0,00%
9	Новосибирская область	0,980994			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	125	104,582	-20,418	-16,33%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	43,3	38,71442	-4,58558	-10,59%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	106,5	104,4759	-2,02409	-1,90%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	66,26	66,26	0	0,00%

Продолжение таблицы А.19

1	2	3	4	5	6
10	Омская область	0,92709			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	112,6	104,3903	-8,20967	-7,29%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	53,7	41,3089	-12,3911	-23,07%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	115	106,6153	-8,38465	-7,29%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	66,65	66,65	0	0,00%
11	Томская область	0,965966			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	119,6	103,3666	-16,2334	-13,57%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	66,3	38,26453	-28,0355	-42,29%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	106,9	103,2618	-3,63819	-3,40%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	65,49	65,49	0	0,00%
12	Читинская область	0,97036			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	124,8	97,03743	-27,7626	-22,25%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	45,6	35,92156	-9,67844	-21,22%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	99,9	96,93901	-2,96099	-2,96%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	61,48	61,48	0	0,00%

Теперь проведем расчеты по модели, принимающей условие постоянного эффекта масштаба, но с ориентацией на *выход*, т.е. по модели (1.5). Результаты расчетов представлены в таблицах А.20, А.21 и А.22.

Таблица А.20 – Результат оценки эффективности и эталонные регионы

Но-мер	Регион	Показатель эффективности	Место (ранг)	Эталонные регионы (и коэффициенты, с которыми они формируют гипотетический объект)			
				5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Республика Алтай	0,978288	6	Республика Хакасия	1,002899		
2	Республика Бурятия	1	1	Республика Бурятия	1		
3	Республика Тыва	0,790005	12	Республика Хакасия	1,124638		
4	Республика Хакасия	1	1	Республика Хакасия	1		
5	Алтайский край	0,990891	4	Республика Бурятия	1,071066		
6	Красноярский край	0,939528	10	Республика Бурятия	1,079188		

Продолжение таблицы А.20

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Иркутская область	0,942699	9	Республика Бурятия	1,049746		
8	Кемеровская область	1	1	Кемеровская область	1		
9	Новосибирская область	0,980994	5	Республика Бурятия	1,081218		
10	Омская область	0,92709	11	Республика Бурятия	0,846359	Кемеровская область	0,303004
11	Томская область	0,965966	8	Республика Бурятия	1,085279		
12	Читинская область	0,97036	7	Республика Бурятия	1,014213		

Для Красноярского края эталонным регионом является Республика Бурятия.

Таблица А.21 – Регионы, упорядоченные по значению показателя эффективности

Место	Регион	Показатель эффективности
1	Республика Бурятия	1
1	Республика Хакасия	1
1	Кемеровская область	1
4	Алтайский край	0,990891
5	Новосибирская область	0,980994
6	Республика Алтай	0,978288
7	Читинская область	0,97036
8	Томская область	0,965966
9	Иркутская область	0,942699
10	Красноярский край	0,939528
11	Омская область	0,92709
12	Республика Тыва	0,790005

Поскольку нами были выбраны модели, принимающие постоянный эффект масштаба, то для каждого объекта значение показателя эффективности будет одним и тем же, независимо от выбора ориентации модели – на вход или на выход. Таким образом, опять среднее значение показателя эффективности равно 0,957152, минимальное значение – 0,790005, при стандартном отклонении, равном 0,055734, что указывает на довольно однородную группу регионов. Заметно отстает от лидеров только Республика Тыва.

Таблица А.22 – Рекомендуемые значения показателей

Но- мер	Регион	Показатель эффективности			
	Входы/Выходы	Значения пока- зателей (исходные)	Значения пока- зателей (рекомендуемые)	Разность абсолютная	Разность в процентах
1	2	3	4	5	6
1	Республика Алтай	0,978288			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	124,5	110,2186	-14,2814	-11,47%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	34,6	34,6	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	124	103,6997	-20,3003	-16,37%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	62,37	63,75426	1,384261	2,22%
2	Республика Бурятия	1			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	98,6	98,6	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	36,5	36,5	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	98,5	98,5	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	62,47	62,47	0	0,00%
3	Республика Тыва	0,790005			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	159,3	123,5977	-35,7023	-22,41%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	38,8	38,8	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	133,8	116,2875	-17,5125	-13,09%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	56,48	71,49322	15,01322	26,58%
4	Республика Хакасия	1			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	109,9	109,9	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	34,5	34,5	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	103,4	103,4	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	63,57	63,57	0	0,00%
5	Алтайский край	0,990891			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	111,6	105,6071	-5,99289	-5,37%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	42,6	39,09391	-3,50609	-8,23%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	105,5	105,5	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	66,3	66,90949	0,609492	0,92%

Продолжение таблицы А.22

1	2	3	4	5	6
6	Красноярский край	0,939528			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	114,1	106,4079	-7,69208	-6,74%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	46,9	39,39036	-7,50964	-16,01%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	106,3	106,3	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	63,34	67,41686	4,076863	6,44%
7	Иркутская область	0,942699			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	122,2	103,505	-18,695	-15,30%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	44,7	38,31574	-6,38426	-14,28%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	103,4	103,4	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	61,82	65,57764	3,757645	6,08%
8	Кемеровская область	1			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	96,2	96,2	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	45,1	45,1	0	0,00%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	104,4	104,4	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	62,77	62,77	0	0,00%
9	Новосибирская область	0,980994			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	125	106,6081	-18,3919	-14,71%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	43,3	39,46447	-3,83553	-8,86%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	106,5	106,5	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	66,26	67,54371	1,283706	1,94%
10	Омская область	0,92709			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	112,6	112,6	0	0,00%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	53,7	44,55759	-9,14241	-17,02%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	115	115	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	66,65	71,89162	5,24162	7,86%

Продолжение таблицы А.22

1	2	3	4	5	6
11	Томская область	0,965966			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	119,6	107,0085	-12,5915	-10,53%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	66,3	39,61269	-26,6873	-40,25%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	106,9	106,9	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	65,49	67,79739	2,307391	3,52%
12	Читинская область	0,97036			
	Число больничных коек на 10 000 человек населения	124,8	100,0014	-24,7986	-19,87%
	Численность врачей на 10 000 человек населения	45,6	37,01878	-8,58122	-18,82%
	Численность среднего медперсонала на 10 000 человек населения	99,9	99,9	0	0,00%
	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	61,48	63,3579	1,877898	3,05%