Р О С С И Й С К А Я   А К А Д Е М И Я   Н А У К

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ им. В. А. ТРАПЕЗНИКОВА

Н.Г. Андронникова, С.А. Баркалов,

В.Н. Бурков, А.М. Котенко

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ

П Р Е П Р И Н Т

Москва 2001

УДК 65.012

***Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Котенко А.М.* Модели и методы оптимизации региональных программ развития.** М.: ИПУ РАН, 2001. – 60 с.

В работе рассматриваются методы комплексного оценивания региональных программ развития. Дается постановка моделей оптимизации региональных программ и предлагаются методы решения соответствующих задач. Рассматриваются также механизмы экспертных оценок, обеспечивающие достоверность оценок, сообщаемых экспертами.

Препринт представляет интерес для специалистов в области управления социально-экономическими системами.

Рецензент: д.т.н. А. В. Щепкин

Текст препринта воспроизводится в том виде, в котором представлен авторами.

Утверждено к печати Редакционным советом Института.

Оглавление

Введение

В настоящее время типичным состоянием любого региона России является следующее [1]:

– большинство предприятий находятся в кризисном или предкризисном состоянии, то есть попадает под формальные критерии банкротства; в то же время имеется уже достаточно большой опыт [2], показывающий, что при грамотном проведении ряда мероприятий, называемых обычно реформированием предприятия, большая их часть имеет собственные резервы для успешной их деятельности. Сказанное относится как к промышленным предприятиям, так и к предприятиям агропромышленного комплекса.

– резкий дефицит бюджетных средств, вызванный как низким уровнем экономики, так и слабой собираемостью налогов существенно затрудняет решение социальных задач. Это приводит к низкому уровню жизни (отношение среднедушевого дохода к величине прожиточного минимума), большой доле населения, живущей «за чертой бедности», тяжёлой демографической ситуации.

– в то же время на уровне региональных администраций России постепенно формируется понимание того, что преодоление кризисного положения, подъём экономики невозможен без прямого участия администрации, изменения всей системы управления регионом, превращение её в антикризисный штаб комплексного решения стоящих проблем.

Решение задач такой сложности требует серьёзного методического обеспечения, разработки моделей и методов оптимизации региональных программ развития и создание на этой основе систем поддержки принятия решений. Ряд таких моделей и методов рассматривается в данной работе. В их основе лежит система комплексного оценивания состояния региона (как в настоящем, так и в будущем) [3].

Имея систему комплексного оценивания состояния региона, можно ставить задачу разработки региональной программы (стратегии развития), обеспечивающей увеличение комплексной оценки состояния до уровня, который определяется поставленными экономическими и социальными целями, так чтобы минимизировать требуемые для этого средства. Поскольку реализация программы сопровождается определёнными рисками, то возникает задача оценки этих рисков и выработки компенсационных мер. Наконец, прогноз ряда показателей проектов программы (ожидаемый эффект, затраты, риски), как правило, осуществляется с привлечением экспертов. Важно обеспечить условия, при которых эксперты заинтересованы в сообщении объективных данных. Поэтому в работе рассматриваются механизмы стимулирования экспертов, при которых получаемые на основе экспертизы оценки близки к объективным.

1. Задача стратегического развития региона

Рассмотрим, следуя [1], ряд общих понятий стратегического управления (управления разработкой и реализацией стратегии развития региона).

Слова «стратегический фактор», «стратегическое решение», «стратегически важный» имеют в контексте рассматриваемой задачи смысл «существенно важный для получения результата», «поворотное, судьбоносное решение» и т.д. Для стратегических решений в отличие от технических прежде всего характерна необходимость выбора из ряда взаимоисключающих (альтернативных) вариантов действий; крупные масштабы изменений при переходе от одной альтернативы к другой; необходимость сопоставить и комплексно оценить различные аспекты, факторы и критерии, необходимость сделать принципиальный выбор и т.д. При этом, если главный, стратегических выбор сделан, то дальше остаётся конкретизировать, детализировать программу работ и контролировать её реализацию, так чтобы достигнуть намеченного результата. Это тоже необходимые задачи, но уже не такие масштабные, не требующих принципиальных решений. Такие задачи называют тактическими, текущими, они сравнительно легко решаются в повседневной практике.

Функционирование региона как ячейки всей страны – это целостный процесс деятельности, направленный на удовлетворение потребностей населения в товарах и услугах (услуги понимаются в широком смысле – здравоохранение, быт, культура, спорт и др.). Деятельность эта включает различные области.

1. Связи с внешней средой:
   - внешний рынок продукции (покупатели, конкуренты);

– внешний рынок поставщиков ресурсов (сырья, материалов, энергетических ресурсов и т. п.);
– приток и отток населения (эмигранты, беженцы, переселенцы и т.д.);
– привлечение внешних инвестиций;
– взаимоотношения с другими регионами и федеральными властями.

2. Управление собственной деятельностью.
   – обеспечение производства товаров и услуг в необходимых объемах и требуемого качества;
   – управление бюджетом и внебюджетными фондами;
   – управление социальной сферой (образование, здравоохранение, спорт, культура, охрана правопорядка).

Важнейшими элементами стратегического управления являются цели и критерии их достижения.

Четкая формулировка целей и критериев обеспечивает возможность управления по результатам, создание системы мотивации, повышающей надежность успешной реализации программы, сопоставления и оценки вариантов решений и в конечном счете – концентрация сил на приоритетных направлениях деятельности, обеспечивающих успех.

Цели на рассматриваемый период (обычно, это год и четыре – пять лет) рекомендуется структурировать в виде четырех групп целей и критериев их достижения.

1. Рыночные цели (критерии – доля самообеспечения, то есть доля потребления, обеспечиваемая за счет продукции и услуг, производимых в регионе; объем валового регионального продукта; экономические приоритеты). Пример формулировки типичной це-

левой установки: увеличить валовый региональный продукт на 20% в первую очередь за счет увеличения производства агропромышленного комплекса.

2. Финансово-экономические цели (критерии: величина бюджета, прибыль, рентабельность, финансовая устойчивость, прирост фондов и др.). Пример формулировки типичной целевой установки: стабильное обеспечение финансовыми ресурсами программы развития, рост бюджетных поступлений на 30%, рост прибыли на 40%, увеличение регионального капитала за счет строительства новых предприятий и реконструкции старых в полтора раза.

3. Социальные цели (критерии: уровень жизни населения, доля населения, находящихся за чертой бедности, то есть с доходом ниже прожиточного минимума, уровень бытовых услуг, здравоохранения, образования и др.).

4. Экологические и природоохранные цели.

Для достижения поставленных целей разрабатываются мероприятия (проекты), оцениваются требуемые ресурсы и сроки реализации. Кроме того, каждое мероприятие оценивается по вкладу (эффекту), который оно вносит в достижение поставленных целей.

Для того чтобы оценить потенциал отрасли, и тем самым, потенциальную возможность достичь поставленных целей, строится зависимость «затраты – эффект» по каждому критерию.

Рассмотрим метод её построения на примере [4].

Пусть определена совокупность возможных мероприятий, данные о которых приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Мероприятие №	Затраты S	Эффект Q	Эффективность Э = Q/S
1	40	80	2
2	100	300	3

3	50	50	1
4	60	240	4

Далее изменяем номера мероприятий так, чтобы самое эффективное мероприятие получило номер 1, следующее за ним – №2 и т.д. При новой нумерации строим таблицу, в которой помимо затрат и эффекта по каждому мероприятию добавляются столбцы, в которых определяются затраты и эффект нарастающим итогом.

Таблица 1.2.

Мероприятия	Затраты S	Эффект Q	Затраты нарастающим итогом	Эффект нарастающим итогом
1	60	240	60	240
2	100	300	160	540
3	40	80	200	620
4	50	50	250	670

Таблица затрат и эффекта нарастающим итогом, в которой мероприятия пронумерованы в порядке убывания эффективности и является зависимостью «затраты-эффект» по соответствующему критерию. График этой зависимости приведен на рис 1.1. Эта зависимость имеет замечательное свойство, она определяет максимальный эффект по данному критерию, который можно получить от заданного множества мероприятий при заданной величине финансирования. Фактический эффект может быть меньше за счет дискретности мероприятий. Действительно, если мы имеем 140 единиц финансовых ресурсов, то мы не можем реализовать первые два мероприятия, требующие 160 единиц ресурса. Оптимальный вариант – реализовать второе и третье мероприятия, что дает суммарный эффект 380 единиц, что меньше, чем получается по зависимости 1.1. – эффект 480 единиц. Конечно, если бы каждое мероприятие можно было реализовать частично, с пропорциональным уменьшением и затрат и эффекта, то зависимость 1.1 соответствовала бы реальному эффекту при любом уровне затрат.

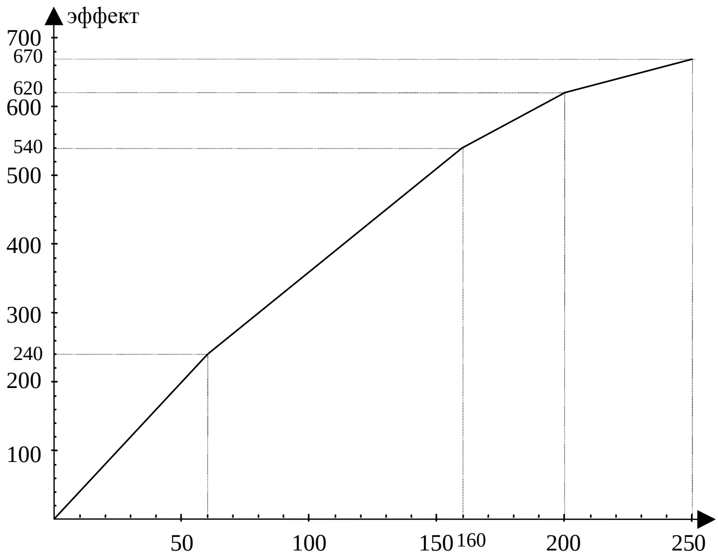

Рис. 1.1. Зависимость «Затраты-Эффект»

Для построения реальной зависимости «затраты-эффект» необходимо решить так называемую задачу о ранце, задавая различные уровни финансирования. Дадим математическую формулировку этой задачи.

Обозначим $x_i = 1$, если мероприятие i реализуется и $x_i = 0$ в противном случае. Пусть объем финансирования равен R. Задача о ранце имеет вид для рассматриваемого примера:

$$240x_1 + 300x_2 + 80x_3 + 50x_4 \rightarrow \max \text{ при ограничении}$$

$$60x_1 + 100x_2 + 40x_3 + 50x_4 \leq R.$$

Для решения этой задачи при различных значениях R эффективным является метод динамического программирования. Для применения метода предварительно строим на плоскости систему координат, одна ось которой соответствует мероприятиям, а вторая – объему финансирования. По оси мероприятий отмечаем номера мероприятий – 1, 2, 3, 4. Из начала координат проводим две дуги – одна горизонтальная, в точку (1,0), а другая – в точку (1,60), где 60 – объем финансирования первого мероприятия. Первая дуга соответствует случаю, когда первое мероприятие не финансируется, а вторая, – когда оно финансируется. Из каждой полученной точки ((1,0) и (1,60)) проводим также по две дуги, для второго мероприятия. Получаем уже четыре точки – (2,0), (2,60), (2,100) и (2,160), соответствующие четырем возможным вариантам для двух первых мероприятий (если бы оба мероприятия требовали одинакового финансирования, то мы получили бы три точки). Продолжая таким же образом, получаем сеть, приведенную на рис. 1.2. Очевидно, что любой путь в сети из начальной вершины (0,0) в конечные вершины соответствует некоторому набору мероприятий. И наоборот, любому набору мероприятий соответствует вполне определенный путь в сети, соединяющий начальную вершину с конечной.

Значение координаты по второй оси равно объему финансирования соответствующего набора мероприятий (или пакета проектов, или портфеля проектов, названия бывают различные). Примем длины горизонтальных дуг равными 0, а длины наклонных – эффектам от соответствующих мероприятий. В этом случае длина пути , соединяющего начальную вершину с одной из конечных, будет равна суммарному эффекту от соответствующего этому пути множества мероприятий. Следовательно, путь максимальной длины, соединяющий начало координат и точку (4,S) будет соответствовать множеству мероприятий, дающему максимальный эффект среди всех множеств мероприятий, требующих совокупного финансирования ровно S единиц. Таким образом, мы получаем оптимальные наборы мероприятий при любых объемах финансирования.

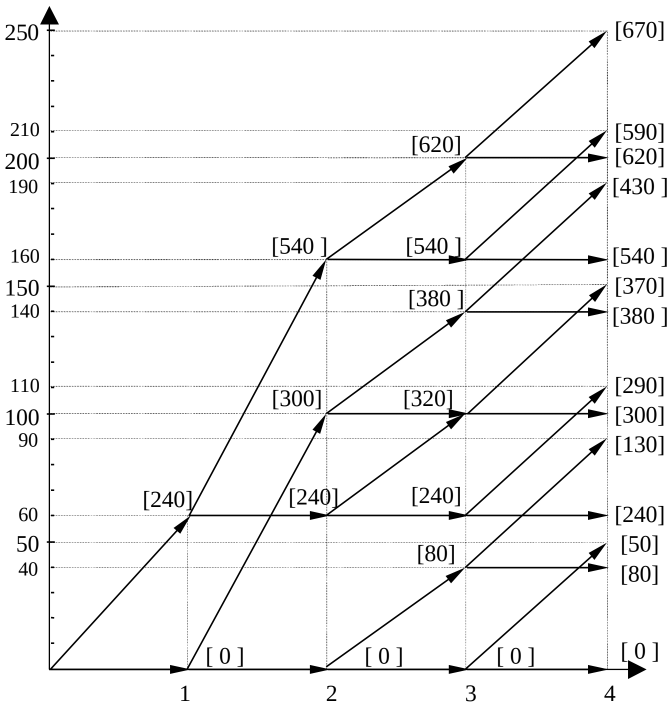

Рис. 1.2.

Анализируя приведенные решения (рис 1.2), можно заметить любопытный парадокс. При финансировании, например, в объеме 100 единиц, мы получаем эффект в 300 единиц, а при увеличении объема финансирования на 10 эффект составляет всего 290 единиц, то есть на 10 единиц меньше. Аналогичная картина наблюдается при сравнении эффектов при объемах финансирования 200 и 210 единиц, 140 и 150 и т.д. Парадокс в том, что если задать вопрос, в каком случае будет больший эффект, – при финансировании в 100 или в 110 единиц, то любой здравомыслящий человек скажет, что чем больше объем финансирования, тем больше эффект, естественно, при оптимальном наборе мероприятий. Этот парадокс возникает из-за дискретности задачи. Понятно, что варианты, нарушающие монотонность (парадоксальные варианты) мы не должны рассматривать Полученные значения максимального эффекта при различных объемах финансирования выпишем в таблицу.

Таблица 1.3.

Объем финансирования	40	60	100	140	160	200	250
Эффект	80	240	300	380	540	620	670

График этой зависимости приведен на рис. 1.3. На этом же рисунке тонкой линией показан прежний график «затраты-эффект» (см. рис. 1.1).

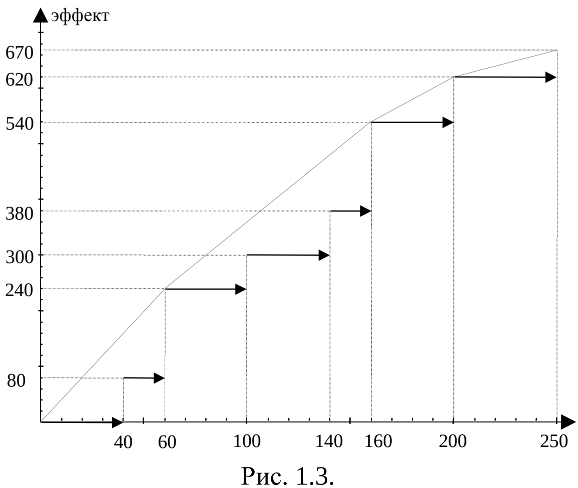

Рис. 1.3.

Имея зависимость «затраты-эффект» можно решать и задачи привлечения дополнительных финансовых ресурсов, в частности, взятия кредита. Пусть, например, имеется 90 единиц ресурса, а кредит можно взять под 300% . Какой величины кредит взять, чтобы получить максимальный финансовых результат?

Из графика на рис. 1.3 видно, что рассмотреть следует 4 варианта – взять кредит10, 70, 110 или 160 единиц. При взятии кредита 10 единиц дополнительный эффект составит 300 - 240 = 60 единиц, то есть эффективность равна 600%, что выше, чем ставка кредита. Это значит, что брать кредит целесообразно. Если взять кредит в размере 70 единиц, то дополнительный эффект составит 540 - 240 = 300 единиц, что дает эффективность 430%, что также больше ставки кредита. При кредите в 110 единиц дополнительный эффект составит 620 - 240 = 380 единиц, что дает эффективность 345%, то есть больше, чем ставка кредита. Наконец, при кредите в 160 единиц дополнительный эффект составит 670 - 240 = 430 единиц, что дает эффективность 281%, то есть ниже ставки кредита. Таким образом оптимальная величина кредита равна 70 единиц, что дает эффект 540 единиц и, за вычетом процентов за кредит 540 - 3·70 = 330 единиц.

Зависимость «затраты-эффект» характеризует потенциал отрасли по соответствующему критерию. Зная эту зависимость, можно определить минимальный уровень финансирования, достаточный для достижения поставленных целей. И наоборот, при ограниченных финансах определяется максимальный уровень, который можно достичь по данному критерию. Так например, если поставлена цель обеспечить по данному критерию эффект в 600 единиц, то при заданном множестве мероприятий для этого потребуется не менее 200 единиц финансовых ресурсов (из графика видно, что эффект составит 620 единиц, но при уменьшении финансирования он сразу падает до 540, то есть поставленная цель не достигается). Если же имеется всего 150 единиц финансовых ресурсов, то максимальный уровень эффекта, который можно достичь, составит 380 единиц (причем достаточно для достижения цели всего 140 единиц ресурса).

2. Комплексная оценка вариантов программы

Описанный метод «затраты-эффект» позволяет оценить потенциал развития по каждому критерию. Заметим, что ряд критериев взаимосвязаны в том смысле, что мероприятие, улучшающее значение одного критерия, одновременно улучшает и значение другого. Например, мероприятия, обеспечивающие рост прибыли, одновременно увеличиваются и валовый региональный продукт, рост валового регионального продукта, как правило, сопровождается ростом прибыли и бюджетных поступлений и т.д. Однако, имеются и относительно независимые критерии. К ним относятся в первую очередь такие, как уровень жизни, финансово-экономическая эффективность (например, прибыль) и уровень экологической безопасности. Действительно, мероприятия, повышающие уровень жизни непосредственно не влияют на финансово-экономическую эффективность (хотя косвенное влияние естественно имеется, поскольку рост заработной платы, например, связан с ростом объёмов продаж, а, значит, с ростом прибыли и т.д.). Аналогично мероприятия, обеспечивающие рост финансово-эконо-мической эффективности непосредственно не влияют на уровень экологической безопасности (хотя внедрение новых технологий и развитие новых производств может приводить как к ухудшению, так и к улучшению экологической обстановки). Для того чтобы учесть основные цели развития, рассмотрим задачу формирования программы развития с учётом всех основных критериев. Эта задача является задачей многокритериальной оптимизации.

Существует несколько подходов к решению задач многокритериальной оптимизации. Большинство из них так или иначе связаны с формированием комплексной оценки, которая в агрегированном виде отражает все цели программы. Пусть программа оценивается по m критериям. Обозначим x_j – значение j-го критерия. Наиболее простой формой представления комплексной оценки является линейная свертка

$$F = \sum_{j=1}^{m} \lambda_j x_j ,$$

где λ_j – вес j-го критерия, определяемый, как правило, на основе экспертных заключений. Недостатком линейных сверток является опасность потери эффективных вариантов. Вариант называется эффективным (паретооптимальным) если не существует другого варианта, который не хуже данного по всем критериям (мы считаем, что любые два варианта программы отличаются хотя бы по одному критерию). Эту опасность иллюстрирует рис. 2.1.

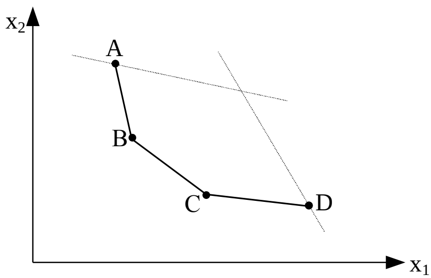

Рис. 2.1.

Легко видеть, что какие бы веса λ_1, λ_2 мы ни взяли, будет выбран либо вариант A, либо вариант D, но никогда не будут выбраны варианты B и C. Для того, чтобы избежать этой опасности можно применить нелинейное преобразование шкал, таким образом, чтобы в новом пространстве варианты программы располагались так, как показано на рис. 2.2.

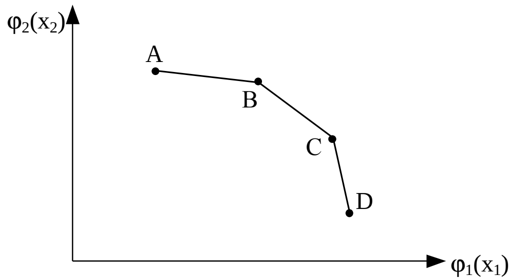

Рис. 2.2.

При таком расположении для любого варианта всегда существуют веса λ_1 и λ_2, при которых будет выбран именно этот вариант. Заметим, что нелинейное преобразование может быть выбрано различными способами, однако при этом затрудняется работа экспертов по определению весов в новом пространстве, если оно не имеет достаточно хорошей содержательной интерпретации. В этом случае веса можно определять на основе экспертной информации о сравнительной эффективности выбранных базовых вариантов. Пусть например, выбраны четыре базовых варианта A, B, C, D (рис 2.2) и эксперты установили следующие оценки сравнительной эффективности этих вариантов:

$$D > C > A > B.$$

Пусть варианты имеют следующие оценки по двум критериям в преобразованном пространстве:

Таблица 2.1.

Вариант	**A**	**B**	**C**	**D**
Критерий 1	1	2	3	4
Критерий 2	7	6	4	1

Очевидно, что веса λ_1 и λ_2 должны быть такими, чтобы выполнялись неравенства

$$4\lambda_1 + \lambda_2 > 3\lambda_1 + 4\lambda_2 > \lambda_1 + 7\lambda_2 > 2\lambda_1 + 6\lambda_2.$$

Решим следующую задачу линейного программирования: определить λ_1, λ_2 и ε, такие что

$$\varepsilon \to \max,$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1,$$

$$4\lambda_1 + \lambda_2 \geq 3\lambda_1 + 4\lambda_2 + \varepsilon,$$

$$3\lambda_1 + 4\lambda_2 \geq \lambda_1 + 7\lambda_2 + \varepsilon,$$

$$\lambda_1 + 7\lambda_2 \geq 2\lambda_1 + 6\lambda_2 + \varepsilon.$$

Подставляя $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$, преобразуем неравенства к виду:

$$\frac{1-\varepsilon}{2} \geq \lambda_1 \geq \frac{3+\varepsilon}{4}.$$

Из этого уравнения определяем $\varepsilon = -{}^1/_3$, $\lambda_1 = {}^2/_3$.

Отрицательная величина ε означает, что оценки экспертов противоречивы. Тем не менее, мы получили значения весов, при которых это противоречие свелось к минимуму. Другими словами система неравенств не имеет решения, но мы нашли решение с минимальной невязкой. При полученных значениях весов комплексные оценки вариантов будут следующими:

$$F_A = 3,\ F_B = 3{}^1/_3,\ F_C = 3{}^1/_3,\ F_D = 3.$$

Заметим, что такого противоречия не возникает, если эксперты просто назовут лучший вариант из предъявленных. Пусть это вариант B. Тогда получаем следующую задачу:

$$\varepsilon \to \max,$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1,$$

$$2\lambda_1 + 6\lambda_2 \geq \lambda_1 + 7\lambda_2 + \varepsilon,$$

$$2\lambda_1 + 6\lambda_2 \geq 4\lambda_1 + \lambda_2 + \varepsilon,$$

$$2\lambda_1 + 6\lambda_2 \geq 3\lambda_1 + 4\lambda_2 + \varepsilon.$$

Эта система неравенств сводится к следующей:

$$\frac{1+\varepsilon}{2} \leq \lambda_1 \leq \min\left(\frac{5-\varepsilon}{7};\frac{2-\varepsilon}{3}\right).$$

Соответствующее решение с максимальной величиной ε имеет вид:

$$\varepsilon = {}^1/_5;\ \lambda_1 = {}^3/_5;\ \lambda_2 = {}^2/_5.$$

При этих значениях весов получаем следующие комплексные оценки вариантов:

$$F_A = 3{,}4;\ F_B = 3{,}6;\ F_C = 3{,}4;\ F_D = 2{,}8.$$

Недостатком описанного выше подхода является достаточно большая нагрузка на экспертов, вынужденных давать оценки весов всех критериев. В последнее время большую популярность получил метод формирования комплексной оценки на основе построения иерархической структуры (дерева) критериев. Идея в том, что все критерии организуются в определенную иерархическую структуру. На каждом уровне этой структуры происходит построение агрегированной оценки критериев предыдущего уровня. На рис. 2.3 приводится иерархическая структура для трех критериев оценки программы развития – экономической эффективности, уровня жизни и экологической безопасности (обозначим их соответственно буквами Э, Ж и Б).

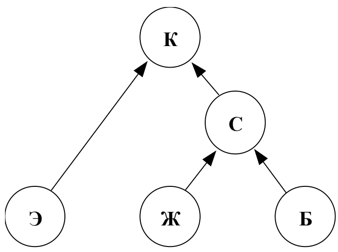

Рис. 2.3.

Представляется естественным сначала объединить критерии уровня жизни и экологической безопасности в один агрегированный критерий социального уровня (С). Далее, объединяя социальный уровень с экономической эффективностью, получим комплексную оценку социально-экономического уровня, который обеспечивает анализируемый вариант программы развития. Особенностью иерархической структуры рис. 2.3 является агрегирование в каждом узле дерева только двух оценок. Это крайне привлекательная особенность. Дело в том, что комплексная оценка должна отражать приоритеты развития региона. Формирование этих приоритетов, а значит и формирование комплексной оценки должно проводиться первыми лицами (главой администрации, его заместителями, начальниками управлений), то есть лицами, принимающими решения. Здесь мы сталкиваемся с чисто психологической проблемой. Человек способен эффективно оценить (соразмерить) только ограниченное число целей и лучше всего, если на каждом шаге оценки приходится сравнивать не более двух критериев. Такое сравнение в случае двух критериев удобно проводить, представляя результаты в виде таблицы (матрицы). Предварительно перейдем к дискретной шкале оценок по каждому критерию, а именно, будем оценивать состояние отрасли по каждому критерию по четырехбалльной шкале: плохо, удовлетворительно, хорошо, отлично, или в числовых оценках –один, два, три, четыре. В таких же шкалах будем оценивать агрегированную и комплексную оценки. На рис. 2.4 приведен пример свертки критерия «уровень жизни» с критерием «экологическая безопасность».

4	2	3	4	4
3	1	2	3	3
2	1	2	3	3
1	1	1	1	2
Б / Ж	**1**	**2**	**3**	**4**

Рис. 2.4.

Как уже отмечалось, эта матрица отражает общественные приоритеты, так при критическом положении в области экологии и по уровню жизни приоритет отдается обоим критериям. При удовлетворительном положении в области экологической безопасности приоритет имеет показатель «уровень жизни», поскольку состояние с хорошей оценкой по безопасности и удовлетворительной по уровню жизни оценивается как удовлетворительное, а обратная картина (оценка «хорошо» по уровню жизни и «удовлетворительно» по безопасности) оценивается как оценка «хорошо». С ростом уровня жизни приоритет смещается в сторону показателя экологической безопасности, поскольку состояние «отлично» возможно только при оценке «отлично» по показателю безопасности (при этом, возможна оценка «хорошо» по уровню жизни). Имея оценку социального уровня, мы можем построить матрицу свертки для комплексной оценки социально-экономического уровня. Пример такой оценки приведен на рис. 2.5.

4	2	3	4	4
3	2	2	3	3
2	1	2	3	3
1	1	1	2	2
С / Э	**1**	**2**	**3**	**4**

Рис. 2.5.

Здесь также можно заметить изменение системы приоритетов. При кризисном положении в экономике и обществе приоритет имеют оба показателя – и социальный уровень и уровень экономической эффективности. При удовлетворительном или хорошем значении этих показателей приоритет смещается в сторону экономической эффективности. Наконец, при высоких оценках (хорошо или отлично) приоритет снова имеет показатель социального уровня. Граничные состояния, отделяющие плохие состояния от удовлетворительных, удовлетворительные от хороших и хорошие от отличных, можно также определять по разному. Более того, эти границы могут и должны меняться со временем. Так, состояние «плохо» соответствует сегодняшнему состоянию и по экономической эффективности в регионе, и по уровню жизни ее работников, и по уровню экологической безопасности. Состояние «удовлетворительно» может соответствовать средним значениям соответствующих показателей по другим регионам. Состояние «хорошо» – лучшим значениям показателей по регионам, а «отлично» – средним значениям по другим странам в соответствующих направлениях. При росте эффективности экономики и уровня жизни цели могут измениться. Так, состояние «отлично»может соответствовать лучшим значениям показателей в мире. Обе матрицы, объединенные в графическую схему формирования комплексной оценки социально-экономического уровня, приведены на рис. 2.6.

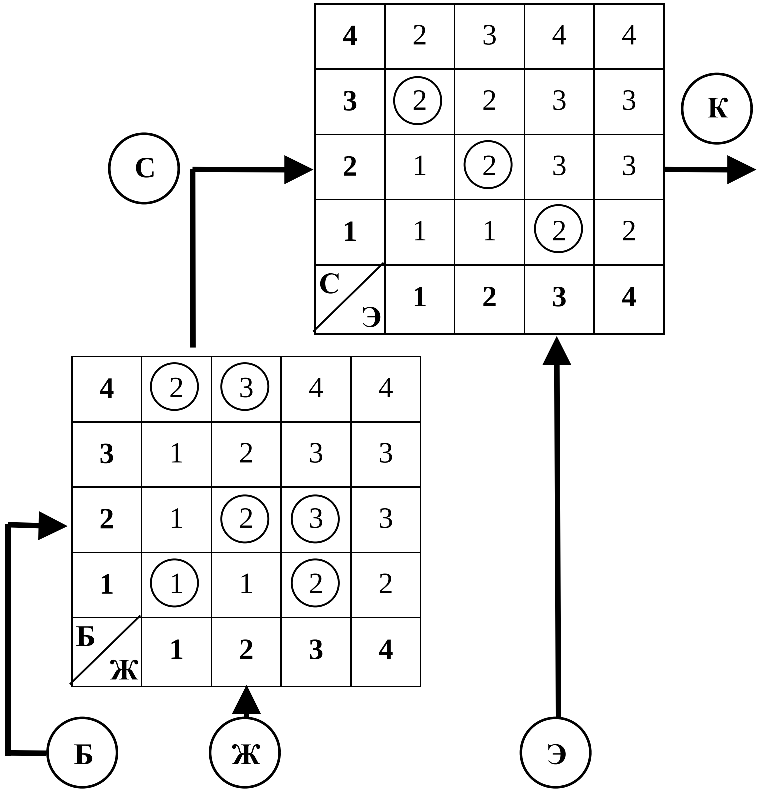

Рис.2.6.

Имея дерево свертки критериев можно оценивать любой вариант программы развития региона и на основе этого выбирать оптимальный вариант. Рассмотрим задачу выбора программы развития, обеспечивающей переход от состояния «плохо» к состоянию «удовлетворительно». Для этого определим понятия напряженных вариантов программы. Каждый вариант будем описывать вектором $x = \{x_Ж, x_Б, x_Э\}$, компоненты которого определяют оценки по соответствующим критериям.

Определение 2.1. Вариант x называется напряженным, если не существует другого варианта y, имеющего то же значение комплексной оценки, у которого оценки по всем критериям не выше, чем у варианта x.

Так, вариант x = (2, 2, 4), имеющий комплексную оценку К = 3, не является напряженным, так как имеется вариант y = (2, 2, 3), имеющий такое же значение комплексной оценки и в то же время его оценки по критериям не превышают оценок варианта x. Для варианта y = (2, 2, 3) таких вариантов не существует. Поэтому он является напряженным. Значение напряженных вариантов в том, что варианты программы развития, обеспечивающие получение требуемого значения комплексной оценки с минимальными затратами должны быть напряженными. Фактически напряженные варианты это Парето-оптимальные варианты в пространстве критериев. Таким образом, мы можем ограничиться рассмотрением только напряженных вариантов. Опишем алгоритм построения всех напряженных вариантов.

Пусть поставлена задача перехода из состояния x_0 = (1, 1, 1) с комплексной оценкой «плохо» в состояние с комплексной оценкой «удовлетворительно». Рассматриваем матрицу сверток показателей социального уровня и уровня экономической эффективности. Отмечаем все элементы матрицы, имеющие оценку 2 (удовлетворительно, рис. 2.6) и являющиеся напряженными. Это элементы, имеющие оценку 1 и слева и снизу от них. Имеем три таких элемента: (1; 3), (2; 2) и (3; 1). Для получения каждого из указанных состояний необходимо достичь соответствующих значений по показателям социального уровня (С) и экономической эффективности (Э). Так состояние (1; 3) достигается при достижении оценки 1 по показателю «С» и оценки 3 по показателю «Э». На рис. 2.6 отмечены значения показателей «С» и «Э», которые должны быть достигнуты для получения каждого из трех указанных выше состояний.

Показатели экономической эффективности являются исходными показателями. Показатель социального уровня является агрегированным показателем. Поэтому на основе матрицы свертки показателей «Ж» и «Б» необходимо указать все напряженные варианты, которые дают соответствующие оценки по показателю «С». Так, например, оценка «удовлетворительно» (2) по показателю «С» может быть получена тремя способами: (1; 4), (2; 2) и (3, 1), оценка 3 – двумя способами: (2; 4) и (3; 2), оценка 1 всего одним способом – (1; 1). Это соответствует сохранению существующего положения в области уровня жизни и экологической безопасности. Полученный граф называется сетью напряженных вариантов. Он приведен на рис. 2.7. Как следует из алгоритма его построения, он содержит все напряженные варианты, имеющие комплексную оценку «удовлетворительно».

Для получения какого-либо напряженного варианта поступаем следующим образом. Рассматриваем начальную вершину (вход) сети. Из нее исходят три дуги. Берем любую из них, например, дугу, ведущую в вершину (2; 2). Из вершины (2; 2) исходят две дуги. Отмечаем обе эти дуги. Дуга, ведущая в вершину 2 по показателю «Э» указывает, что по этому показателю требуется достичь состояния

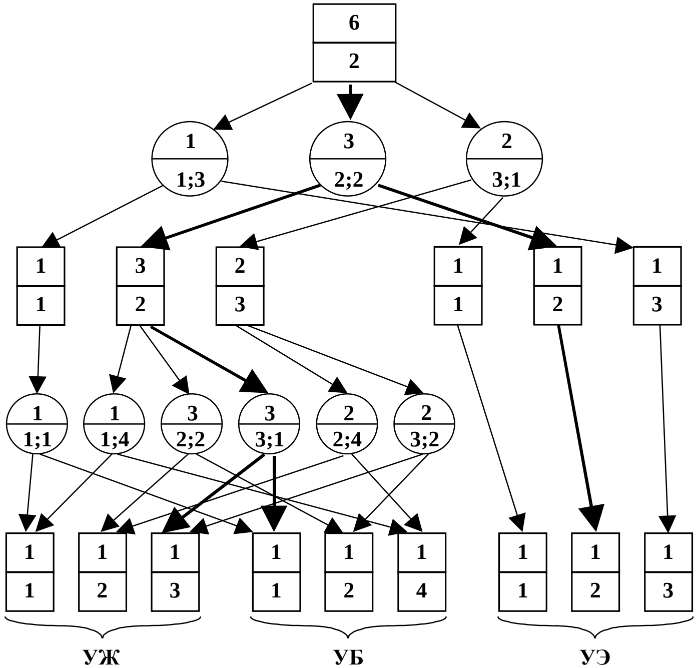

Рис.2.7.

«удовлетворительно». Дуга, ведущая в вершину 2 по показателю «С» указывает, что по этому показателю также требуется достичь состояния «удовлетворительно». Из трех вариантов достижения оценки 2 по показателю «С» выбираем любой (например, вариант (3; 1), что соответствует оценке «хорошо» по показателю «Ж» и оценке «плохо» по показателю «Б». Полученному напряженному варианту соответствует подграф сети, выделенный на рис. 2.7 толстыми дугами. Он определяет напряженный вариант (3; 1; 2). Имея сеть напряженных вариантов нетрудно определить число напряженных вариантов, обеспечивающих получение требуемой оценки. Для этого применяем следующий алгоритм индексации (пометки) вершин сети:

1 шаг. Помечаем конечные вершины сети индексами 1 (индексы указаны в верхней половине вершины).

2 шаг. Двигаясь снизу вверх последовательно помечаем все вершины. Индекс вершины-кружка на рис 2.7 равен произведению индексов смежных с ней двух вершин нижнего уровня. Индекс вершины-квадрата на рис 2.7 равен сумме индексов смежных с ней вершин нижнего уровня. Индекс начальной вершины-квадрата определяет число напряженных вариантов.

Обоснование алгоритма непосредственно следует из описанного способа определения индексов. Индексы вершин указаны на рис. 2.7 в верхней части вершин. Число напряженных вариантов равно 6.

Построив сеть напряженных вариантов можно решать различные задачи формирования программы развития с учетом факторов стоимости и риска. Рассмотрим сначала задачу выбора варианта программы, обеспечивающего достижение поставленной цели с минимальными затратами. Пусть для каждого критерия i определены затраты s_{ij}, необходимые для обеспечения уровня j, то есть разработана подпрограмма (система мероприятий), выполнение которой обеспечивает рост критерия до уровня j. Примем, что подпрограммы по различным критериям независимы, то есть мероприятия i-ой подпрограммы не влияют на другие направления (цели). В этом случае существует эффективный алгоритм определения программы минимальной стоимости. В его основе также лежит метод индексации вершин сети напряженных вариантов снизу вверх.

1 шаг. Помечаем нижние вершины сети индексами s_{ij}.

Общий шаг. Вершины следующего (более высокого) уровня сети напряженных вариантов помечаются только после того, как помечены все смежные вершины нижележащего уровня. При этом индекс вершины-квадрата (в таких вершинах записывается одно число – оценка соответствующего агрегированного критерия) равен минимальному из индексов смежных вершин-кружков нижележащего уровня, а индекс вершины-кружка (в кружке записаны два числа – это пара оценок критериев нижнего уровня, агрегирование которых дает соответствующую оценку критерия верхнего уровня) равен сумме индексов смежных вершин-квадратов нижележащего уровня.

При описанной процедуре индекс начальной вершины-квадрата равен минимальным затратам на реализацию соответствующей программы. Оптимальный вариант находится «обратным ходом» – сверху вниз. Сначала находим вершину-кружок, смежную с начальной вершиной сети и имеющую минимальный индекс среди всех вершин, смежных с начальной. Из этой вершины-кружка исходят две дуги к вершинам-квадратам нижележащего уровня. Для каждой вершины-квадрата находим вершину-кружок, имеющую минимальный индекс среди всех вершин, смежных с соответствующей вершиной-квадратом и т.д. В результате будет выделен подграф, определяющий оптимальный вариант программы.

Рассмотрим работу алгоритма на примере сети напряженных вариантов рис. 2.7.

Пример2.1. Пусть матрица затрат (s_{ij}) имеет следующий вид:

Таблица 2.2.

i \ j	**1**	**2**	**3**	**4**
Ж	2	7	20	60
Б	3	10	35	50
Э	1	8	50	100

Индексы вершин сети, полученные на основе описанного алгоритма, указаны на рис. 2.8 в верхней половине соответствующих вершин. Оптимальный вариант выделен толстыми линиями. Это вариант (2; 2; 2) с затратами $s^0 = 25$, соответствующий сбалансированному развитию по всем направлениям.

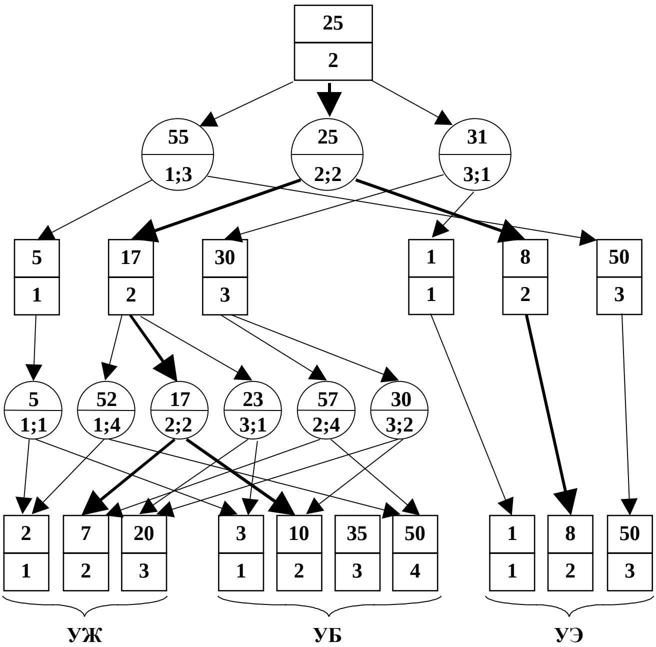

Рис.2.8.

К сожалению, в весьма редких случаях предположение о независимости отдельных подпрограмм по направлениям выполняется. Как правило, подпрограммы зависимы, то есть выполнение мероприятий по одной подпрограмме влияет на критерии других подпрограмм. Особенно это касается подпрограммы повышения уровня экономической эффективности, которая влияет и на уровень жизни, и на уровень экологической безопасности. При этом, если влияние на уровень жизни, как правило, является положительным (рост экономической эффективности приводит к росту оплаты труда, росту занятости, росту выпуска продуктов и услуг, что повышает уровень жизни), то влияние на уровень экологической безопасности является, как правило, отрицательным (истощение природных ресурсов, увеличение риска аварий и катастроф и т.д.).

Таким образом, с ростом уровня экономической эффективности следует ожидать снижения затрат на достижение требуемой величины уровня жизни, и рост затрат на достижение требуемой величины уровня экологической безопасности. Пусть для каждой оценки уровня экономической эффективности заданы затраты ($s_{Жj}$) и ($s_{Бj}$), требуемые для достижения оценки j, соответственно по критериям (Б) и (Ж). В этом случае, метод определения программы минимальной стоимости основан на переборе возможных оценок уровня экономической эффективности. При каждом значении уровня экономической эффективности решается задача построения программы минимальной стоимости по остальным критериям. Из четырех вариантов, соответствующих четырем возможным значениям уровня экономической эффективности, выбирается наилучший.

Пример 2.2. Пусть затраты ($s_{Жj}$) и ($s_{Бj}$) для различных уровней экономической эффективности имеют значения, приведенные в таблице 2.3.

Для каждого уровня экономической эффективности мы получаем некоторую сеть напряженных вариантов, которая является подграфом сети 2.7. Заметим, однако, что эти подграфы пересекаются только в начальной вершине и некоторых конечных вершинах. Разделим конечные вершины, в которых пересекаются подграфы, на несколько вершин, так чтобы все подграфы имели только одну

Таблица 2.3.

Э	i \ j	1	2	3	4
1	Ж	2	7	20	60
	Б	3	10	35	50
2	Ж	1	3	10	30
	Б	5	15	45	70
3	Ж	0	1	5	15
	Б	8	30	60	100
4	Ж	0	0	2	5
	Б	18	40	70	120

общую вершину, а именно начальную, рис 2.9. Теперь для получения сети применяем описанный выше алгоритм определения

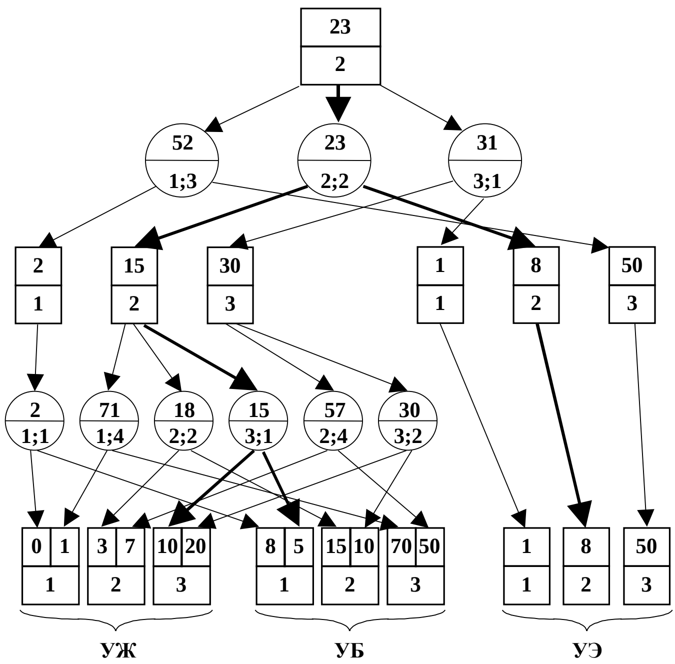

Рис. 2.9.

варианта минимальной стоимости. Оптимальный вариант показан на рис. 2.9 толстыми линиями. Это вариант (3; 1; 2) с затратами $s = 23$. Таким образом можно определять оптимальные варианты программы развития отрасли и для случая, когда одно из направлений влияет на другие.

3. Методы построения гибких систем комплексного оценивания

Описанный выше подход показывает перспективность использования смысловых (матричных) свёрток для оценки социально-экономического состояния региона и разработке на этой основе программы его развития. Следует отметить, что важным условием эффективности системы оценивания на основе матричных свёрток является её согласованность с существующей структурой регионального управления.

Смысл в том, что руководитель каждого структурного подразделения должен отвечать за некоторую промежуточную оценку, величина которой характеризует эффективность его работы. С другой стороны, каждая оценка должна быть адресной, то есть должно быть структурное подразделение, отвечающее за эту оценку. Отсюда следует, что в идеале структура дерева целей (оценок) должна соответствовать структуре управления регионом. Однако, в этом случае дерево целей получается излишне громоздким, поскольку число логических матриц на единицу меньше числа структурных подразделений. Как совместить требования согласованности системы оценивания и требования её достаточной простоты? Выход состоит в разработке гибкой системы оценивания. Суть в том, что в рассматриваемом периоде времени в системе оценивания учитываются только важнейшие (критические) показатели (и соответствующие структурные подразделения), требующие особого внимания и разработки неотложных программ улучшения состояния в соответствующей области. Остальные показатели, находящиеся в относительно удовлетворительных или хороших пределах, составляют определенный фон для всей системы оценивания. Разумеется, за этими показателями ведется контроль, разрабатываются меры по их дальнейшему росту (или снижению в зависимости от содержательного смысла), но это происходит в режиме обычной (нормальной) работы аппарата. Однако, как только тот или иной показатель приближается к критической границе, включается «сигнал тревоги», и этот показатель входит в состав показателей комплексной системы оценивания. Ниже рассматривается метод построения новой системы оценивания, включающей введенный показатель. В основе метода лежит идея максимального учета информации, содержащейся в старой системе. Описание метода дается на примере системы оценивания, структура которой приведена на рис. 3.1.

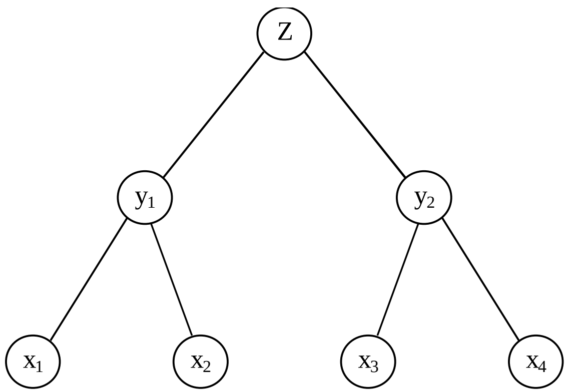

Рис.3.1.

Пусть разработана система оценивания, дерево целей которой представлено на рис. 3.1.

Висячим вершинам дерева целей (x_1, x_2, x_3, x_4) соответствуют существенные (критически важные) для рассматриваемого периода показатели социально-экономического состояния региона, промежуточным вершинам y_1 и y_2 соответствуют обобщенные оценки работы руководителей, курирующих соответствующие группы структурных подразделений (например, зам. главы администрации), наконец, комплексная оценка Z отражает уровень социально-экономического состояния региона.

Предположим, что в определенный момент времени один из «фоновых» показателей (то есть показателей, не входящих в комплексную систему оценивания), приблизился к критическому уровню. Согласно методологии гибких систем комплексного оценивания, этот показатель должен быть включен в систему. Примем, что этот показатель соответствует структурному подразделению, входящему в группу подразделений, непосредственно курируемых руководителем с оценкой y_2. Более того, содержательно этот показатель близок к показателю x_3 в том смысле, что существует некоторый обобщенный показатель y_3, который в содержательном смысле отражает эффективность работы обоих структурных подразделений x_3 и x_5 (либо показатель x_5 курирует то же подразделение, что и показатель x_3). Так например, если показатель x_3 соответствует комитету по образованию, показатель x_4 – центру занятости населения, а показатель x_5 – отделу по культуре, то логично объединить оценки уровня образования и уровня культуры в обобщенную оценку «уровень образования и культуры». Таким образом, новая структура дерева целей будет выглядеть следующим образом (рис. 3.2).

Возникает проблема построения соответствующих матриц свертки (нужно построить 4 матрицы, поскольку показателей 5). Заметим, что построение (заполнение) логических матриц происходит с непременным участием соответствующих руководителей как экспертов. Это очень ответственная процедура, поскольку логические матрицы отражают политику (приоритеты) руководства и являются

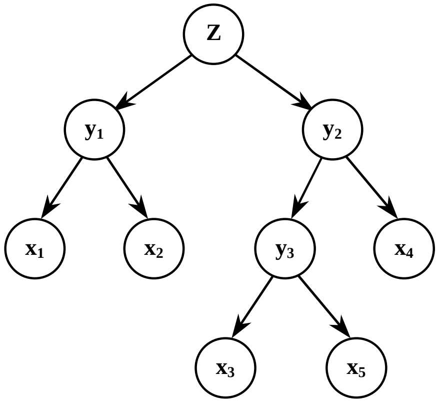

Рис.3.2.

основой дальнейшей разработки программы развития. Как правило, эта процедура занимает много времени у руководителей. Поэтому, если эта работа уже проведена при настройке системы оценивания со структурой рис. 3.1, то желательно максимально использовать эту информацию для построения новой системы оценивания со структурой рис. 3.2. Для этого поступим следующим образом. Сначала рассмотрим промежуточную структуру, приведенную на рис. 3.3.

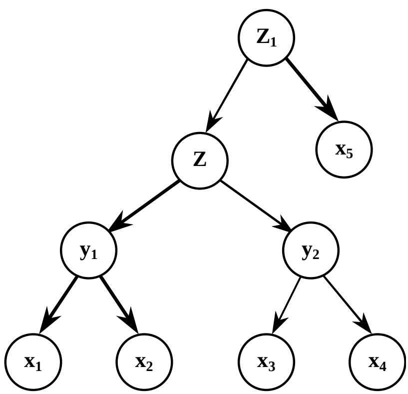

Рис.3.3.

Для построения системы оценивания со структурой рис. 3.3 достаточно заполнить одну матрицу свертки интегральной оценки Z и новой оценки x_5. Теперь можно перейти от системы оценивания со структурой рис. 3.3 к требуемой системе со структурой рис. 3.2, в которой показатели x_3 и x_5 агрегируются в обобщенную оценку y_2. Назовем ***расстоянием*** между показателями x_i и x_j число ребер цепи, соединяющей соответствующие висящие вершины дерева. Заметим, что расстояние между показателями, которые агрегируются друг с другом, равно 2. В структуре рис. 3.3 расстояние между показателями x_3 и x_5 равно 4. Для уменьшения расстояния между показателями x_3 и x_5 рассмотрим следующую операцию преобразования структуры. Выделим две ветви дерева рис. 3.3 (они показаны на рисунке жирными линиями) и поменяем их местами. Получим структуру, показанную на рис. 3.4, в которой расстояние между показателями x_3 и x_5 равно 3, то есть на единицу меньше.

Задача свелась к построению двух матриц $P(x_5,y_2)$ и $P(Z,y_1)$ таким образом, чтобы при любых возможных значениях оценок показателей x_5, y_2 и y_1 значения интегральной оценки системы оценивания со структурой рис. 3.4 совпадали со значением интегральной оценки системы оценивания со структурой рис. 3.3. Пусть число градаций шкал всех показателей равно m. Определим матрицу Q с m строками и m столбцами. Строка (i,j) матрицы Q соответствует паре оценок (i,j) показателей x_5 и y_2 , а столбец к – оценке к показателя y_1. Элемент матрицы Q на пересечении строки (i,j) и столбца к равен значению соответствующей интегральной оценки Z_1. Задача заключается в назначении весов (целых положительных чисел) столбцов матрицы Q, которые и определяют элементы матрицы $P(x_5,y_2)$, а следовательно, и матрицу $P(Z,y_1)$. При этом должно выполняться ***условие согласования шкал***: веса двух различающихся столбцов должны быть различными. Действительно, если два различных столбца имеют одинаковые веса, то мы не сможем однозначно определить элементы матрицы $P(Z,y_1)$. Отсюда следует, что минимальное число различных элементов матрицы $P(x_5,y_2)$ равно числу различных столбцов матрицы Q.

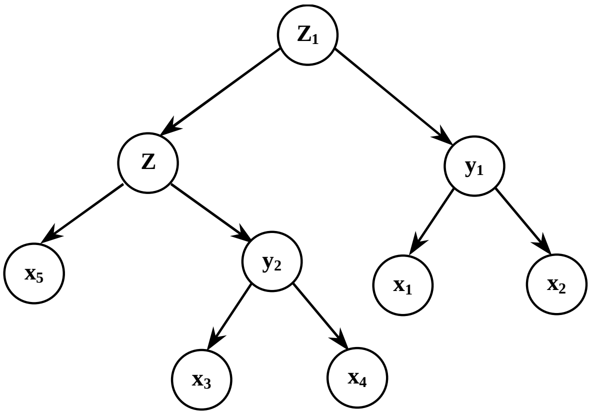

Рис.3.4.

Пример 3.1. Пусть m=3 и матрицы $P(y_1,y_2)$ и $P(Z,x_5)$ имеют вид (рис. 3.5):

	3	2	3	3
y_2	2	1	2	3
	1	1	2	2
		1	2	3
			y_1	

$$\xrightarrow{z}$$

3	2	3	3
2	1	2	3
1	1	2	2
	1	2	3
		x_5	

Рис.3.5.

Построим матрицу Q.

Таблица 3.1.

y_1 \ (x_5,y_2)	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
1	1	1	1	2	2	2	2	2	3
2	1	1	2	2	2	2	3	3	3
3	1	2	2	2	2	2	3	3	3
ω	1	2	3	4	4	4	5	5	6

В последней строке указаны веса столбцов. Получилось шесть различных весов, поэтому матрица $P(Z,y_1)$ будет иметь размерность (6×3).

Окончательный вид системы оценивания со структурой рис. 3.4. приведен на рис. 3.6 (приведена только часть системы, полученная в результате преобразований).

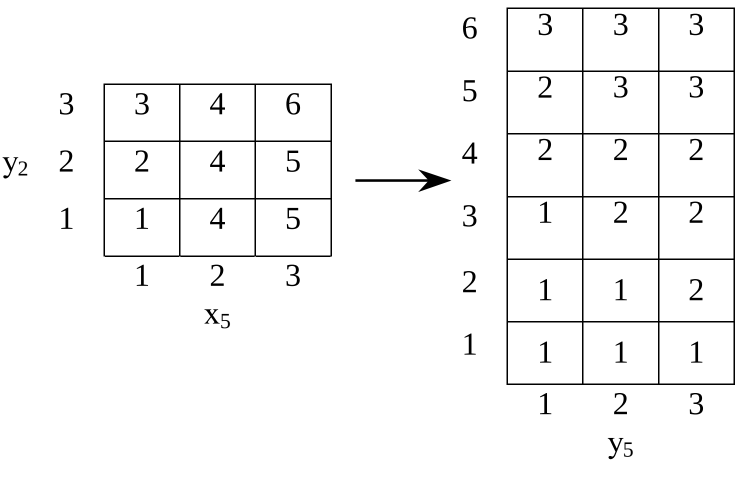

Рис.3.6.

Описанная процедура преобразования структуры обратима, то есть мы можем перейти от системы оценивания со структурой рис. 3.4 к системе со структурой рис.3.3, применяя описанный выше алгоритм. При этом мы получим систему рис. 3.5 (естественно, при соответствующем назначении весов). Чтобы убедиться в этом достаточно построить матрицу Q, столбцы которой соответствуют парам оценок показателей y_1, y_2, а строки – показателю x_5.

Таблица 3.2.

(y_1,y_2) / x_5	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	3	3	3	3	3	3	3
ω	1	1	2	2	2	3	2	3	3

Теперь осталось из структуры рис. 3.4 получить структуру рис. 3.2. Для этого повторяем описанную выше процедуру для показателей x_3, x_4, x_5, а именно, меняем местами показатели x_4 и x_5. Пусть матрица $P(x_3,x_4)$ имеет вид:

Таблица 3.3.

	3	2	3	3
x_2	2	1	2	3
	1	1	2	2
		1	2	3
			x_3	

$\xrightarrow{y_2}$

Строим матрицу Q, столбцы которой соответствуют парам оценок (x_3,x_5), а строки – оценке x_4.

Таблица 3.4.

x_4 \ (x_3,x_5)	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
1	1	4	5	2	4	5	2	4	5
2	1	4	5	2	4	5	3	4	6
3	2	4	5	3	4	6	3	4	6
ω	1	4	5	2	4	6	3	4	7

Окончательный вид системы оценивания со структурой рис. 3.2 приведен на рис. 3.7 (матрица $P(x_1,x_2)$ исключена, поскольку она не менялась при всех преобразованиях, изменены также обозначения обобщенных оценок в соответствии со структурой рис. 3.2.

Z

y_1 \ y_2	1	2	3	4	5	6
3	1	2	2	2	3	3
2	1	1	2	2	3	3
1	1	1	1	2	2	3

y_2

x_4 \ y_3	1	2	3	4	5	6	7
3	2	3	3	4	5	5	6
2	1	2	3	4	5	5	6
1	1	2	2	4	5	5	5

y_3

x_5 \ x_3	2	2	3
3	5	6	7
2	4	4	4
1	1	2	3

Рис. 3.7.

Таким образом, получена система оценивания в новой структуре, эквивалентная исходной системе со структурой рис. 3.3.

4. Анализ рисков. Управление рисками.

При реализации мероприятий программы всегда существует риск того, что намеченная мера либо не будет реализована, либо не даст ожидаемого эффекта. Это, в свою очередь, может привести к тому, что цели программы не будут достигнуты. Пусть разработан вариант программы, в котором критерий i принимает значение j(i). Пусть далее определены вероятности P_{ik} того, что фактическое значение оценки по i-му критерию будет равно к. поставим задачу определить вероятности P_k того, что фактическое значение комплексной оценки будет равно k, $k = \overline{1, m}$.

Опишем алгоритм определения этих вероятностей, предполагая, что фактические значения оценок по критериям являются независимыми случайными событиями. В основе алгоритма лежит процедура определения распределения вероятностей некоторой обобщенной оценки при известных распределениях вероятностей исходной пары критериев, свертка которых дает обобщенную оценку. Пусть, например, матрица свертки двух критериев i и j имеет вид, приведенный в таблице.

Таблица 4.1.

0	2	3	4	4
0,1	1	2	3	3
0,7	1	2	3	3
0,2	1	1	2	2
P_j / P_i	0,1	0,2	0,6	0,1

В первом столбце и первой строке указаны вероятности соответствующих оценок. Определим вероятности различных значений обобщенной оценки. Оценка 1 может быть получена в четырех случаях: (1,1), (1,2), (2,1) и (3,1), где первое число указывает оценку по критерию i, а второе – по критерию j. Следовательно, согласно известным фактам теории вероятности, вероятность того, что обобщенная оценка будет равна единице определяется выражением:

$$P(1) = p_{11} \cdot p_{21} + p_{12} \cdot p_{21} + p_{11} \cdot p_{22} + p_{11} \cdot p_{23} =$$

$$0{,}1 \cdot 0{,}2 + 0{,}2 \cdot 0{,}2 + 0{,}1 \cdot 0{,}7 + 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}14$$

Оценка 2 может быть получена в пяти случаях: (3,1), (4,1), (2,2), (2,3) и (1,4). Аналогично предыдущему имеем:

$$P(2) = p_{13} \cdot p_{21} + p_{14} \cdot p_{21} + p_{12} \cdot p_{22} + p_{12} \cdot p_{23} + p_{11} \cdot p_{24} = 0{,}3$$

Действуя аналогичным образом, получаем:

$$P(3) = p_{13} \cdot p_{22} + p_{14} \cdot p_{22} + p_{13} \cdot p_{23} + p_{14} \cdot p_{23} + p_{12} \cdot p_{24} = 0{,}56$$

$$P(4) = p_{13} \cdot p_{24} + p_{14} \cdot p_{24} = 0$$

Заметим, что если планируемые значения критериев равны 3 по критерию i и 2 по критерию j, то планируемое значение обобщенной оценки равно 3. Таким образом, вероятность успеха, то есть вероятность того, что фактическое значение обобщенной оценки равно 3, составляет 0,56. Для получения распределения вероятностей комплексной оценки достаточно применять описанный алгоритм, двигаясь снизу вверх от исходных критериев к комплексной оценке. Применим описываемый алгоритм к системе оценивания рис. 2.6. Распределение вероятностей по критериям экологической безопасности, уровня жизни и экономической эффективности указаны в таблице.

Таблица 4.2.

	1	2	3	4
$P_б$	0,2	0,7	0,1	0
$P_ж$	0,1	0,2	0,6	0,1
$P_э$	0,8	0,1	0,1	0

Вычисления удобно проводить непосредственно помещая результаты в клетках матриц свертки. Для этого каждую клетку делим по диагонали на две части. В верхней части записываем результат свертки (обобщенную или комплексную оценку в зависимости от матрицы), а в нижней – произведение соответствующих вероятностей (рис. 4.1).

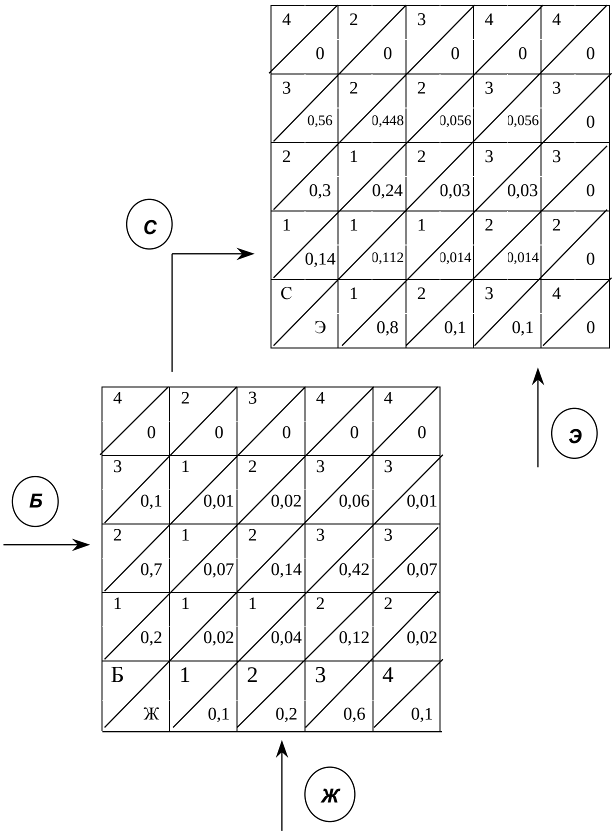

Рис. 4.1.

Для того, чтобы получить распределение вероятностей комплексной оценки достаточно сложить числа в нижних областях квадратов с одинаковыми значениями комплексной оценки. Имеем:

$$P(1) = 0{,}112 + 0{,}014 + 0{,}24 = 0{,}366$$

$$P(2) = 0{,}014 + 0{,}03 + 0{,}448 + 0{,}056 = 0{,}548$$

$$P(3) = 0{,}03 + 0{,}056 = 0{,}086$$

Таким образом, если планируемый вариант программы соответствует оценкам по критериям $X_б$=2, $X_ж$=3, $X_э$=2, то планируемое значение комплексной оценки равно 2, а вероятность успеха равна сумме вероятностей P(2) + P(3) = 0,634.

Сделаем два предположения, при выполнении которых процедура оценки риска существенно упрощается. Во-первых, примем, что вероятности фактических состояний выше (лучше), чем планируемые равны 0. Это означает, что намеченные цели по каждому критерию не будут превышаться, то есть при достижении какой-либо цели ресурсы перераспределяются на другие цели. Во-вторых, будем рассматривать только напряженные варианты программы. А это значит, что успех программы возможен только в случае достижения запланированных оценок по всем критериям. Если теперь обозначить через q_{ij} – вероятность достижения оценки j по критерию i, если эта оценка является целевой установкой по данному критерию, то вероятность успеха программы равна

$$Q = \prod_i q_{ij(i)} \qquad (4.1)$$

где j(i) – целевая установка по i-му критерию. Соответственно, риск программы равен

$$R = 1 - Q = 1 - \prod_i q_{ij(i)} \qquad (4.2)$$

Если для разработанного варианта программы оценка риска оказалась ниже требуемой величины, то необходимо принять меры по снижению риска. Рассмотрим два подхода к решению этой задачи. В основе первого подхода лежит идея компенсирующих мероприятий, снижающих риск до приемлемого уровня. Естественно, что разработка и реализация компенсирующих мероприятий требует дополнительных затрат. Примем следующую стратегию снижения риска: в первую очередь компенсирующие мероприятия проводятся для снижения риска наиболее рисковых мероприятий. Основание такой стратегии состоит в том, что наиболее рисковые мероприятия оказывают максимальное влияние на уровень риска программы в целом.

Опишем алгоритм решения задачи.

Сначала при заданных затратах S_{ij} определяем оптимальный вариант программы, обеспечивающий требуемое значение комплексной оценки с минимальными затратами. Для этого варианта определяем уровень риска по формуле (4.2)

Если он выше допустимого, то начиная с наиболее рисковых направлений разрабатываем компенсирующие меры уменьшающие риск до требуемой величины. Для определения величины снижения риска обозначим через r_i риск i-го направления, причем примем, что направления нумерованы в порядке убывания рисков, то есть

$$r_1 \geq r_2 \geq \ldots \geq r_n.$$

Шаг 1. Пусть R_T – требуемый риск программы, $\prod_i r_i > R_T$.

Определяем

$$x_1 = \frac{R_T}{\prod_{i>1} r_i}.$$

Если $x_1 \geq r_2$, то задача решена. Если $x_1 < r_2$, то переходим к шагу 2.

Шаг 2. Определяем

$$x_2 = \sqrt{\frac{R_T}{\prod\limits_{i>2} r_i}}\ .$$

Если $x_1 \geq r_2$, то задача решена. Если $x_1 < r_2$, то переходим к шагу 3.

Шаг k. Определяем

$$x_k = \sqrt[k]{\frac{R_T}{\prod\limits_{i>k} r_i}}\ .$$

Если $x_k \geq r_{k+1}$, то задача решена. Если $x_k < r_{k+1}$, то переходим к следующему шагу.

За конечное число k шагов будет определена величина x_k, такая, что $x_k \geq r_{k+1}$. Теперь нужно разработать компенсирующие меры, снижающие риск первых k направлений до величины x_k. Очевидно, что это приведет к росту соответствующих затрат. С новой матрицей затрат S_{ij}^{1} решаем задачу определения оптимального варианта и т.д. Процедура заканчивается, когда будет получен вариант программы с допустимым риском.

Можно предложить более простой, безитерационный алгоритм, а именно, определим одинаковые для всех направлений уровни риска $x = \sqrt[n]{R_T}$, компенсирующие мероприятия, обеспечивающие эти уровни риска и соответствующие затраты $S_{ij}(x)$ на проведение этих мероприятий. Теперь осталось решить задачу выбора оптимального по стоимости варианта при полученных величинах затрат.

Рассмотрим второй подход к управлению риском. Идея этого подхода состоит в том, что допускаются повышенные риски по одному или нескольким направлениям. Однако, этим направлениям уделяется особое внимание и особый контроль. Для применения такого подхода достаточно оценивать риски в качественной шкале. В простейшем случае это двухоценочная шкала типа: «низкий риск», «повышенный риск». Для решения задачи в этом случае применим метод ветвей и границ. Метод решения рассмотрим на примере.

Пример4.1. Рассмотрим сеть напряженных вариантов из примера 2.1 (рис. 2.8.). Предположим, что повышенный риск имеют оценки 2, 3, 4 по направлениям «уровень экономической эффективности» и «уровень экологической безопасности». Примем, что в разрабатываемом варианте программы допускается повышенный риск не более чем по одному направлению. Полученный в примере 2.1 оптимальный по стоимости вариант (2, 2, 2) имеет повышенный риск по двум направлениям. Разобьем множество всех вариантов на два подмножества. В первом подмножестве низкий риск обеспечивается по направлению экономической эффективности, а во втором – по направлению экологической безопасности.

Определим оптимальный по стоимости вариант в первом подмножестве. Для этого достаточно исключить из сети напряженных вариантов (рис. 2.8) все варианты с оценками по направлению УЭ больше, чем 1. Оптимальный вариант программы в оставшейся сети это вариант (3, 2, 1) (оценка «хорошо» по уровню жизни, «удовлетворительно» по уровню экологической безопасности и «плохо» по уровню экономической эффективности) с затратами 31.

Определим оптимальный по стоимости вариант в первом подмножестве, в котором низкий риск имеют мероприятия по обеспечению экологической безопасности на прежнем уровне. Несложные вычисления дают вариант (3, 1, 2) с затратами 33.

Оба варианта удовлетворяют требуемому условию (не более одного направления с повышенным риском). Поэтому оптимальным является вариант (3, 2, 1) с затратами 31.

5. Методы экспертных оценок при разработке региональных программ

Методы экспертных оценок находят широкое применение при разработке региональных программ. Они применяются при оценке затрат на реализацию тех или иных мероприятий, ожидаемого эффекта, а также рисков.

Однако, их существенным недостатком является низкая достоверность получаемой информации, связанная с основном, с незаинтересованностью опрашиваемых а зачастую и с сознательным искажением экспертами сообщаемых данных. Последнее, как правило, связано с наличием собственных интересов у экспертов в решениях, которые будут приниматься на основе экспертизы. Пусть имеются n экспертов, оценивающих какой-либо объект по скалярной шкале (объектом может быть кандидат на пост руководителя, вариант финансирования и т.д.). Каждый эксперт сообщает оценку $d \le s_i \le D,\ i = \overline{1,n}$, где d – минимальная, а D – максимальная оценки. Итоговая оценка $u = p(s)$, на основании которой принимается решение, является функцией оценок, сообщенных экспертами $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$.

Обозначим r_i – субъективное мнение i-го эксперта, то есть его истинное представление об оцениваемом объекте. Предположим, что процедура $p(s)$ формирования итоговой оценки является строго возрастающей функцией s_i, причем $p(a, a, \dots, a) = a$ для всех $d \le a \le D$. Типичными процедурами такого вида являются

$$u = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} s_i \text{ (средняя оценка), или } u = \sum_{i=1}^{n} a_i s_i \text{, где}$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = 1,\ 0 \le a_i \le 1,\ i = \overline{1,n}$$ (взвешенная средняя оценка)

Обычно предполагается, что каждый эксперт сообщает свое истинное мнение r_i, и поэтому при хорошем подборе группы экспертов средняя оценка $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_i$, либо взвешенная средняя оценка $\sum_{i=1}^{n} a_i r_i$ (коэффициенты a_i учитывают квалификацию экспертов) достаточно объективно и точно оценивает объект (гипотеза «объективности в среднем» группы экспертов). Однако, если эксперты заинтересованы в результатах экспертизы, то они не обязательно будут сообщать истинное мнение, то есть механизм $p(s)$ может быть подвержен манипулированию ($s_i \ne r_i$).

Дадим формальное описание интересов экспертов.

Предположим, что каждый эксперт заинтересован в том, чтобы результат экспертизы был максимально близок к его истинному мнению, что можно выразить с помощью целевой функции:

$$f_i(u, r_i) = |u - r_i|,\quad i = \overline{1,n}.$$

При этом эксперт будет сообщать оценку s_i, доставляющую минимум

$$|u(s_1, s_2, \dots, s_n) - r_i|.$$

Пример 5.1. Пусть $n = 3$; $d = 0$; $D = 1{,}2$; $r_1 = 0{,}1$; $r_2 = 0{,}2$; $r_3 = 0{,}3$. В качестве процедуры $p(s)$ применяется «средняя оценка». Если $s_i = r_i$, $i = \overline{1,3}$, то есть все эксперты сообщают истинные оценки, то $u = 0{,}2$. Итоговая оценка совпала с истинным представлением 2-го эксперта, и он удовлетворен полностью. Остальные два эксперта (1-й и 3-й) неудовлетворены, так как $r_1 < 0{,}2$, а $r_3 > 0{,}2$. Следовательно они попытаются сообщить другие оценки, а именно, первый эксперт будет занижать свою оценку (чтобы уменьшить итоговую), а второй – завышать (чтобы увеличить итоговую).

Пусть первый сообщает $s_1 = 0$, а третий – $s_3 = 1{,}2$. В этом случае $u = 0{,}47$. Теперь недоволен и второй эксперт, который также будет занижать свою оценку. Окончательные оценки экспертов будут следующими: $s_1^* = s_2^* = 0$; $s_3^* = 1{,}2$; $u^* = 0{,}4$. Это так называемая ситуация равновесия Нэша. Она характеризуется тем, что ни один эксперт не может приблизить итоговую оценку к своей истинной, изменяя сообщаемую оценку, если остальные эксперты не изменяют своих оценок. Таким образом, итоговая оценка $u^* = 0{,}4$ оказалась за счет манипулирования в два раза выше объективной средней $u_0 = 0{,}2$.

Как построить механизм экспертизы, дающий в ситуации равновесия Нэша итоговую оценку, максимально близкую к объективной средней (или к объективной взвешенной средней)?

В работе [5] было показано, что такой механизм существует в классе так называемых механизмов «честной игры» (неманипулируемых механизмов). Этот класс механизмов описан в работе [6]. Каждый механизм из этого класса определяется множеством чисел $w(Q)$, задаваемых для каждого подмножества Q экспертов, причем $w(\varnothing) = D$, $w(I) = d$, где I – множество всех экспертов. При этом, если $Q_1 \subset Q_2$, то $w(Q_1) \geq w(Q_2)$.

Итоговая оценка определяется по следующей процедуре. Упорядочим оценки экспертов по возрастанию и пронумеруем их соответственно, то есть $s_1 \leq s_2 \leq \ldots \leq s_n$. Определяем подмножества экспертов $Q_1 = \{1\}$; $Q_2 = \{1, 2\}, \ldots, Q_n = \{1, 2, \ldots, n\}$ и соответствующие им числа $w_i = w_i(Q_i)$, $i = \overline{1, n-1}$. Находим номер k такой, что

$$w_{k-1} > s_{k-1}, \quad w_k \leq s_k$$

(существует один и только один такой номер) и определяем итоговую оценку:

$$u = \min\ [w_{k-1}, s_k].$$

Итак, мы описали множество всех неманипулируемых механизмов. Рассмотрим задачу определения среди них такого, который минимизирует максимальное абсолютное отклонение полученной итоговой оценки от средневзвешенной. Решение этой задачи определяется следующим множеством чисел $w(Q)$:

$$w(Q) = [1 - A(Q)]D + A(Q)d,$$

где Q – любое подмножество экспертов,

$$A(Q) = \sum_{k \in Q} a_k\ .$$

Пример 5.2. Рассмотрим ситуацию из примера 1. Примем сначала, что $a_i = {}^1/_3$, то есть в качестве итоговой оценки принимается средняя оценка. В этом случае мы получаем всего два различных числа $w(Q)$: $w_1 = 0{,}8$; $w_2 = 0{,}4$; $w_3 = 0$. При прежних истинных оценках экспертов $r_1 = 0{,}1$; $r_2 = 0{,}2$; $r_3 = 0{,}3$ получаем, что $k = 3$, так как

$$w_2 = 0{,}4 > r_2 = 0{,}2$$

$$w_3 = 0 < r_3 = 0{,}3.$$

Поэтому итоговая оценка

$$u^* = \min\ \{w_2; r_3\} = 0{,}3.$$

Абсолютное отклонение от объективной средней равно 0,1, что в два раза меньше, чем в первоначальном механизме получения средней оценки. Пусть теперь третий эксперт является более квалифицированным, и его вес $a_3 = {}^1/_2$, в то время как у первого и второго экспертов $a = ¼$. Определим числа w(Q) для этого случая. Имеем:

$$A(1) = a_1 = {}^1/_4,\quad A(1, 2) = a_1 + a_2 = {}^1/_2,\quad A(1, 2, 3) = 1.$$

Соответственно,

$$w(1) = {}^3/_4 \cdot 1{,}2 = 0{,}9; \quad w(1, 2) = {}^1/_2 \cdot 1{,}2 = 0{,}6; \quad w(1, 2, 3) = 0.$$

Итоговая оценка не изменилась и по-прежнему равна $u^* = 0{,}3$. Заметим, что объективная средневзвешенная оценка равна:

$${}^1/_4 \cdot 0{,}1 + {}^1/_4 \cdot 0{,}2 + {}^1/_2 \cdot 0{,}3 = 0{,}225,$$

так что абсолютная ошибка составляет 0,075. Сравним с механизмом средневзвешенного среднего. При этом механизме в ситуации равновесия оценки экспертов будут следующие:

$$s_1^* = 0; \; s_2^* = 0; \; s_3^* = 1{,}2; \; u^* = 0{,}8.$$

Абсолютное отклонение от объективной средневзвешенной оценки равно 0,575, что более чем в два раза больше, чем в оптимальном механизме.

Рассмотрим еще один класс экспертных механизмов, повышающих достоверность оценок экспертов. Они ведут свою историю от широко известного метода «Делфи» [7]. Эксперты изолированы друг от друга, а экспертный механизм реализуется за несколько разделенных во времени итераций.

Суть процедуры «Делфи» заключается в следующем. Экспертам предъявляется оцениваемый объект. Опрос экспертов осуществляется в несколько итераций. На первой итерации каждый эксперт дает числовую оценку объекта. После этого подсчитывается и сообщается всем экспертам средняя оценка и показатель разброса оценок. Экспертов, давших крайние оценки просят дать письменное обоснование своего мнения, и с ним знакомят всех остальных экспертов, передавая его по сети, после чего проводится вторая итерация опроса. Подобные итерации заканчиваются тогда, когда будет достигнуто достаточное согласование между оценками экспертов. Этот исходный вариант процедуры повлек за собой множество разновидностей и модификаций. Предлагаемая ниже модификация включает некоторый механизм стимулирования экспертов за сближение их оценок и среднего мнения (точнее говоря, механизм наказания за отклонение их оценки от средней). Таким образом, помимо заинтересованности эксперта в приближении итоговой оценки к его истинной оценке, появляется вторая составляющая его интереса. Она заключается в стремлении минимизировать наказание, то есть штрафы за отклонение его оценки от средней. Сначала рассмотрим простой пример.

Пример 5.3. Пусть функция потерь эксперта при отклонении итоговой оценки от его истинной оценки имеет вид

$$a(u - r_i)^2.$$

Возьмем функцию штрафа за отклонение оценки эксперта от итоговой средней в виде

$$b(u - s_i)^2.$$

Очевидно, что эксперт будет сообщать оценку, минимизирующую сумму потерь и штрафов

$$a(u - r_i)^2 + b(u - s_i)^2.$$

Найдем минимум этой функции по s_i, учитывая, что $u = \frac{1}{n}\sum_i s_i$. После несложных вычислений получаем:

$$s_i = \frac{[b(n-1)-a]u + ar_i}{b(n-1)},\ i = \overline{1,n}, \tag{5.1}$$

Определим среднюю оценку:

$$u = \frac{1}{n}\sum s_i = \frac{[b(n-1)-a]u + ar_{\text{ср}}}{b(n-1)}.$$

Решая это уравнение, получаем

$$u = r_{\text{ср}}.$$

Неожиданный результат! Независимо от «силы штрафов», то есть от коэффициента b, средняя оценка в ситуации равновесия Нэша равна объективной средней. Еще более неожиданным представляется случай, когда $b = a/(n\text{-}1)$. Из выражения (1) получаем, что в этом случае $s_i^* = r_i$ для всех экспертов!

Насколько общим является результат примера 3? Для ответа на этот вопрос рассмотрим случай произвольной функции потерь экспертов $j_i(u - r_i)$, которую будем считать непрерывно дифференцируемой выпуклой функцией. Возьмем функцию штрафа в виде

$$c_i(u - s_i) = b\,j_i(u - s_i).$$

Найдем минимум по s_i суммы функции потерь и функции штрафа

$$j_i(u - r_i) + b\,j_i(u - s_i).$$

Имеем уравнение

$$\tfrac{1}{n} j_i'(u - r_i) = b\left(1 - \tfrac{1}{n}\right) j_i'(u - s_i) \qquad (5.2)$$

Если $b(n - 1) = 1$, то уравнение сводится к виду

$$j_i'(u - r_i) = j_i'(u - s_i).$$

Покажем, что если $u - r_i > 0$, то и $u - s_i > 0$. Действительно, если $u > r_i$, то i-ый эксперт будет уменьшать оценку, чтобы уменьшить u, то есть $s_i < r_i < u$. И наоборот, если $u < r_i$, то i-ый эксперт будет увеличивать оценку, чтобы уменьшить u, то есть $s_i > r_i > u$. Отсюда следует, что $u - r_i = u - s_i$ и

$$s_i = r_i \quad \text{для всех экспертов!}$$

Чтобы получить результат об «объективности в среднем», рассмотрим произвольную функцию штрафа $^1/_{(n\text{-}1)}\, c_i(u - s_i)$, являющуюся выпуклой и непрерывно дифференцируемой. Аналогично (2) получаем уравнение

$$j_i'(u - r_i) = c'(u - s_i).$$

Разрешим это уравнение относительно $(u - s_i)$

$$(u - s_i) = x\left[j_i'(u - r_i) \right],\ i = \overline{1,n}, \qquad (5.3)$$

где ξ - функция, обратная c'. Складывая эти n равенств, получаем

$$\sum_{i=1}^{n} x\left[j_i'(u - r_i) \right] = 0 \qquad (5.4)$$

Это значит, что в определенном смысле итоговая оценка объективна.

Пример 5.4. Пусть функции потерь экспертов имеют вид

$$j_i = a_i(u - r_i)^2.$$

Возьмем функцию штрафов в следующем виде:

$$c = \frac{b(u - s_i)^2}{n - 1}.$$

Равенство (3) принимает следующий вид:

$$(u - s_i) = \frac{a_i}{b}(u - r_i),$$

а условие (4)

$$u = \sum_{i=1}^{n} a_i r_i, \quad \text{где} \quad a_i = \frac{a_i}{\sum_j a_j}. \qquad (5)$$

Таким образом, итоговая оценка объективна в средневзвешенном смысле. В качестве весов выступают относительные коэффициенты при функциях потерь экспертов. Рассмотрим обобщение полученных результатов на случай когда итоговая оценка является средневзвешенной оценкой, то есть

$$u = \sum_i a_i s_i.$$

В этом случае уравнение (2) принимает вид

$$a_i j_i'(u - r_i) = b(1 - a_i) j_i'(u - s_i).$$

Если взять

$$a_i = \frac{b_i}{1 + b_i},$$

то снова получаем $s_i = r_i$ для всех экспертов.

Описанная модификация метода «Делфи» представляет собой новый класс неманипулируемых механизмов экспертизы. Представляется целесообразным исследование с позиции активного поведения экспертов других модификаций этого метода (например, удаление крайних оценок или удаление оценок, отклоняющихся от средней на заданную величину и т.д.).

Заключение

В работе рассмотрены методы разработки региональных программ развития, в основе которых лежит комплексная оценка альтернативных вариантов программы. Применение методологии матричных сверток и понятия напряженных вариантов развития позволило разработать эффективные методы оптимизации программы по стоимости с учетом риска.

Дальнейшего развития требует методология гибких систем комплексного оценивания, а также методы повышения достоверности информации в экспертных механизмах.

Литература

1. *С.В. Леонтьев, С.А. Масютин, В.Н. Тренев* Стратегия успеха. – М.: ОАО «Типография НОВОСТИ», 2000.
2. *В.Н. Тренев, В.А. Ириков и др*. Реформирование и реструктуризация предприятий. – М.: Издательство ПРИОР, 1998.
3. *И.Б. Семенов, С.А. Чижов, С.В. Полянский* Комплексное оценивание в задачах управления системами социально-экономического типа. Препринт. – М.: Институт проблем управления, 1996.
4. *В.Н. Бурков, Г.С. Джавахадзе* Экономико-математические модели управления развитием отраслевого производства. Препринт. – М.: Институт проблем управления, 1997.
5. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами – М.: СИНТЕГ-ГЕО, 1997.
6. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели – М.: Мир, 1991.
7. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений – М.: СИНТЕГ, 1998.