Данный файл является фрагментом электронной копии издания, опубликованного со следующими выходными данными:

УДК 338.9
ББК 65(2Р5)30-1
Т 338

Рецензенты

Казанцев Сергей Владимирович – доктор экономических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института экономики и организации промышленного производства СО РАН

Миллер Александр Емельянович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономики и финансовой политики» Омского государственного университета

Т 338 **Теория и практика оценки экономической безопасности (на примере регионов Сибирского федерального округа)** / под общ. ред. В.В. Карпова, А.А. Кораблевой. – Новосибирск: изд-во ИЭОПП СО РАН, 2017. – 146 с.

ISBN 978-5-89665-316-5

В монографии представлены результаты научного исследования, выполненного коллективом сотрудников Омского научного центра СО РАН совместно с лабораторией экономических исследований Омской области ИЭОПП СО РАН. Книга посвящена развитию теоретико-методических основ экономической безопасности региона, разработке системы индикаторов и методики оценки экономической безопасности, моделированию отдельных направлений региональной экономической безопасности.

Адресуется научным и практическим работникам, представителям государственного и муниципального управления, предпринимателям, студентам и аспирантам, интересующимся вопросами регионального социально-экономического развития и оценки экономической безопасности регионов.

Карпов В.В. – д.э.н. (п. 1.2)
Кораблева А.А. – к.э.н. (введение, п. 1.1, 1.2, 2.3, заключение)
Лагздин А.Ю. – к.ф.-м.н. (п. 2.2)
Логинов К.К. – к.ф.-м.н. (п. 2.1)
Симанчев Р.Ю. – к.ф.-м.н. (п. 2.3)
Хасанов Р.Х. – к.э.н. (п. 1.3)

УДК 338.9
ББК 65(2Р5)30-1

ISBN 978-5-89665-316-5

© ИЭОПП СО РАН, 2017 г.
© Коллектив авторов, 2017 г
© ОНЦ СО РАН, 2017

Полная электронная копия издания расположена по адресу:
http://lib.ieie.su/docs/2017/Teoriya_i_praktika_ocenki_economicheskoj_bezopasnosti.pdf

Глава 2

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА

2.1. Методика оценки экономической безопасности региона

В данном разделе монографии рассмотрена методика проведения мониторинга и оценки состояния экономической безопасности, апробированная на примере регионов Сибирского федерального округа. Данная методика может служить одной из отправных точек для формирования и обоснования целевых показателей Стратегии развития региона или ожидаемых результатов региональных программ, а также при разработке сценариев социально-экономического развития региона.

Оценка индикаторов экономической безопасности регионов

Одним из основных методов оценки экономической безопасности является метод сравнения фактических значений индикаторов с их пороговыми значениями. В Приложении 5 представлены значения индикаторов регионов СФО и РФ за 2015 год. Здесь и далее в расчетах использовались данные Федеральной службы государственной статистики [112] и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [108]. Обращаем внимание, что с 2015 года в официальной статистике перестал публиковаться показатель поступления иностранных инвестиций в основной капитал (приводится лишь сальдо операций платежного баланса), поэтому данный индикатор не учитывался в расчете.

Также в указанных источниках отсутствует значение показателя «Энергоемкость ВРП» за 2015 год. Поэтому данное значение для регионов СФО и России было спрогнозировано на основе ретроспективных данных за 2009–2014 гг. Для России, Республик Алтай и Хакасия, Алтайского, Забайкальского, Красноярского края, Иркутской, Новосибирской и Томской областей, учитывая ярко выраженную линейную тенденцию изменения энергоемкости, были выбраны модели Хольта и Брауна; для остальных регионов прогноз на 2015 год строился с использованием обобщен-

ных моделей авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (ARIMA) [28; 67].

Для удобства оценки степени удаленности индикаторов от своих пороговых значений индикаторы приводятся к безразмерному виду с помощью различных нормировок и отображаются в единой системе координат (например, на лепестковой диаграмме). Выбор нормировки определяет, как правило, динамический диапазон визуализации результатов. Авторы использовали нормировку, приведенную в работе Митякова С.Н. и др. [73]:

– для соотношения «не менее порогового значения»:

$$\bar{x} = \begin{cases} 2^{(1-a/x)/\ln(10/3)}, & x > a, \\ 2^{-\log_{10/3}(a/x)}, & x \le a, \end{cases} \tag{2.1}$$

– для соотношения «не более порогового значения»:

$$\bar{x} = \begin{cases} 2^{(1-x/a)/\ln(10/3)}, & x < a, \\ 2^{-\log_{10/3}(x/a)}, & x \ge a, \end{cases} \tag{2.2}$$

В выражениях (2.1), (2.2) x – фактическое значение индикатора, a – его пороговое значение, $\bar{x}$ – нормированное значение. При такой нормировке случай $\bar{x} = 1$ соответствует случаю равенства индикатора и его порогового значения, случай $\bar{x} < 1$ свидетельствует о наличии угрозы экономической безопасности (индикатор не достиг своего порогового значения). Выражение $\bar{x} > 1$ соответствует случаю достижения индикатором своего порогового значения, т.е. в этом случае индикатор находится в безопасной зоне. На наш взгляд, использование этой нормировки представляется наиболее удачным, т.к. позволяет существенно расширить динамический диапазон визуализации результатов. В частности, степенная зависимость позволяет игнорировать несущественные детали в случае значительного превышения показателями своих пороговых значений.

На рис. 2.1–2.3 представлены лепестковые диаграммы с нормированными значениями экономических индикаторов регионов СФО и РФ за 2015 год.

Анализируя рис. 2.1–2.3 и Приложение 5, можно выявить сильные и слабые стороны экономического развития Омской об-

ласти, характеризующие экономическую безопасность региона. К позитивным факторам следует отнести достаточно высокий объем продукции промышленности и сельского хозяйства на душу населения. В Омской области значительна доля обрабатывающих производств, однако следует обратить внимание на то, что основной вклад принадлежит здесь нефтехимической промышленности.

Индикатор «Степень износа основных фондов» также находится в безопасной зоне, однако этот аспект требует более детального отраслевого анализа. Следует отметить довольно низкую долю продукции машиностроения. К проблемным индикаторам также относится доля инновационной продукции. Этот показатель существенно меньше порогового и среднероссийского значения, что свидетельствует о кризисной ситуации в научно-технической сфере, либо о неполных официальных данных в этой области. Валовой региональный продукт чуть ниже порогового (среднего по России) значения. Наряду с Омской областью лидерами по промышленному производству (из расчета на душу населения) являются Красноярский край, Иркутская и Кемеровская области, в сельском хозяйстве – Республика Алтай и Алтайский край. По процентному содержанию продукции машиностроения в промышленном производстве только Республика Бурятия и Новосибирская область превысили пороговое значение, для остальных регионов этот индикатор гораздо ниже порогового значения.

Объем розничной торговли и предоставления услуг на душу населения во всех регионах ниже Российского значения. Также отметим низкую долю инновационной продукции во всех регионах СФО, особенно в Республиках Тыва и Хакасия. К позитивным факторам следует отнести низкую степень износа основных фондов, а также индекс потребительских цен, который для всех регионов соответствует Российскому значению.

На рис. 2.4–2.6 представлены лепестковые диаграммы с нормированными значениями социальных индикаторов регионов СФО и РФ за 2015 год. При построении диаграмм использовалось сокращение ВПМ – величина прожиточного минимума. Заметим, что для индикаторов «Коэффициент естественного прироста населения на 1000 человек населения» и «Коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения» нельзя непосредственно использовать формулу (2.1) для нормирования, поскольку здесь пороговое значение $a = 0$, однако для практических расчетов можно предложить следующую альтернативу.

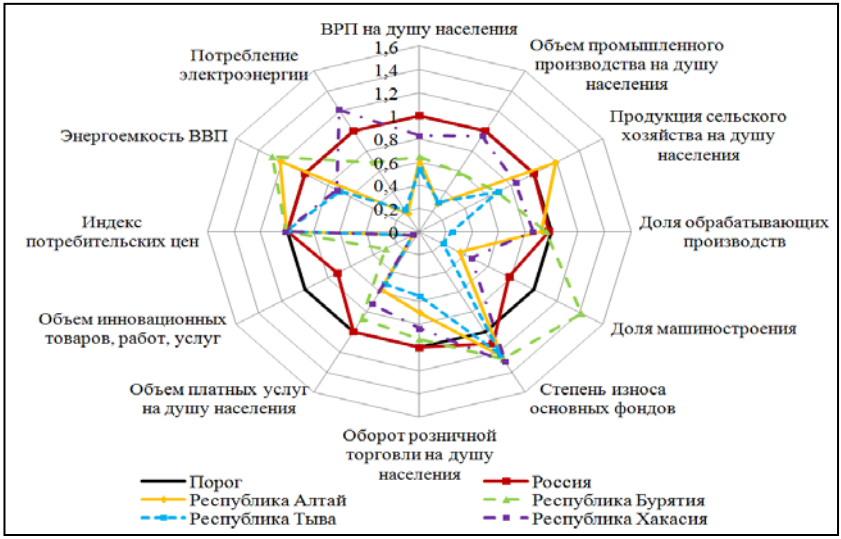

Рис. 2.1. Нормированные значения экономических индикаторов Республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия за 2015 г.

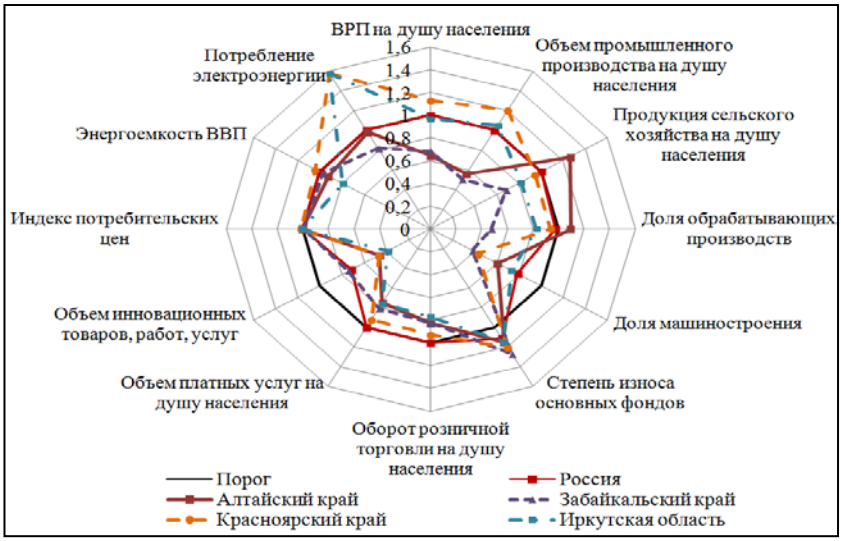

Рис. 2.2. Нормированные значения экономических индикаторов Алтайского, Забайкальского, Красноярского края и Иркутской области за 2015 г.

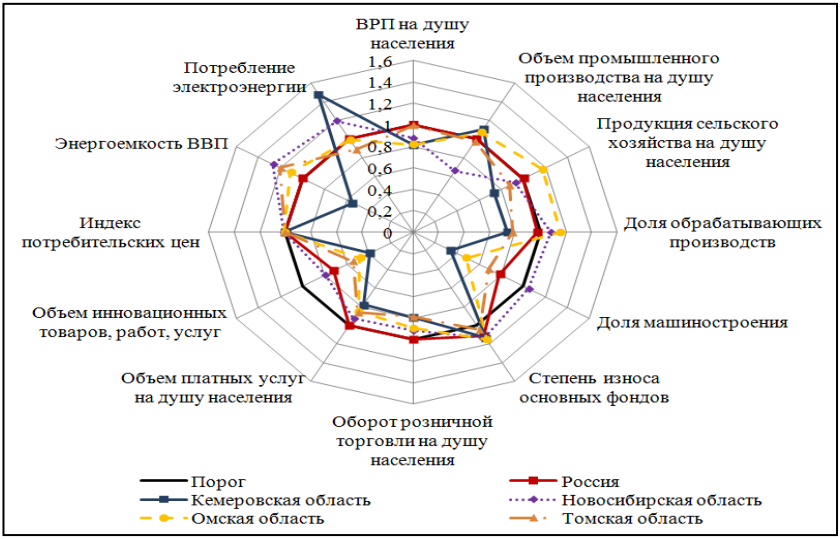

Рис. 2.3. Нормированные значения экономических индикаторов Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей за 2015 г.

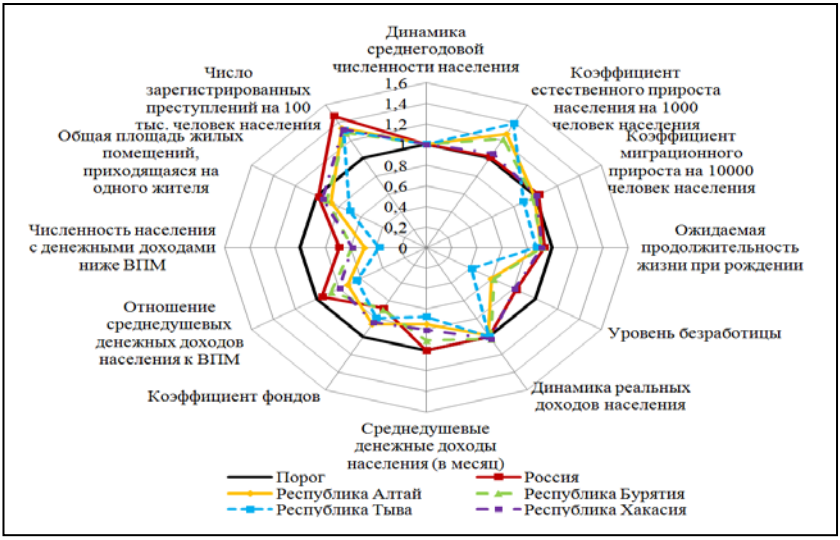

Рис. 2.4. Нормированные значения социальных индикаторов Республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия за 2015 г.

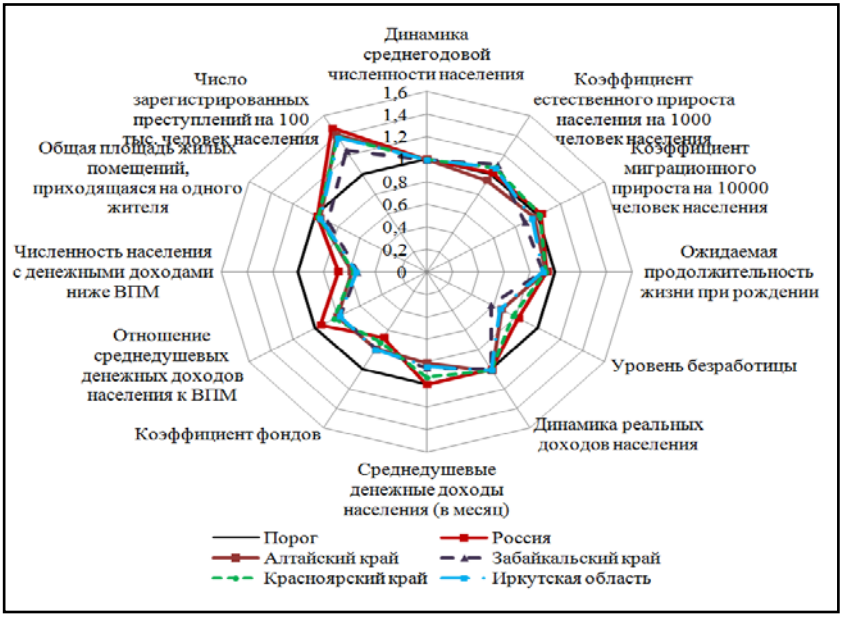

Рис. 2.5. Нормированные значения социальных индикаторов Алтайского, Забайкальского, Красноярского края и Иркутской области за 2015 г.

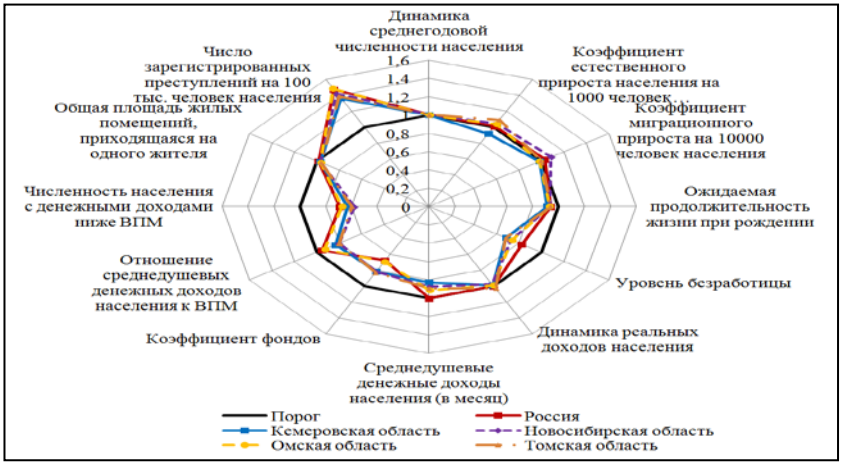

Рис. 2.6. Нормированные значения социальных индикаторов Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей за 2015 г.

Обозначим через G – коэффициент естественного прироста населения на 1000 человек населения, M – коэффициент миграционного прироста на 10000 человек населения, P – среднегодовую численность населения, $c^{(b)}$ – общий коэффициент рождаемости, $c^{(d)}$ – общий коэффициент смертности, A – число прибывших в регион за год, L – число покинувших регион за год. Тогда $G = c^{(b)} - c^{(d)}$, и неравенство $G \geq 0\ (< 0)$ эквивалентно неравенству $\frac{c^{(b)}}{c^{(d)}} \geq 1\ (< 1)$. Поэтому вместо индикатора «Коэффициент естественного прироста населения на 1000 человек населения» с пороговым значением 0 можно использовать показатель «Отношение общих коэффициентов рождаемости и смертности» с пороговым значением 1. Аналогично $M = \frac{(A-L)}{P} \times 10000$, и неравенство $M \geq 0\ (< 0)$ эквивалентно неравенству $\frac{A}{L} \geq 1\ (< 1)$. Следовательно, вместо индикатора «Коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения» с пороговым значением 0 можно использовать показатель «Отношение числа прибывших и покинувших регион за год» с пороговым значением 1.

Обращает на себя внимание схожая практически для всех регионов ситуация в социальной сфере. Во всех регионах высока численность населения с доходами ниже ВПМ и в целом достаточно низкий уровень доходов большинства населения по отношению к этой величине; высок уровень безработицы и коэффициент фондов, что в совокупности отражает существенное имущественное расслоение общества и низкий уровень финансовой обеспеченности граждан и является потенциальной угрозой экономической безопасности регионов. Явным аутсайдером здесь выступает Республика Тыва, однако в ней зафиксирован максимальный среди регионов СФО коэффициент естественного прироста населения. К позитивным факторам можно отнести существенно низкий уровень преступности во всех регионах.

На рис. 2.7–2.9 представлены лепестковые диаграммы с нормированными значениями финансовых индикаторов регионов СФО и РФ за 2015 год.

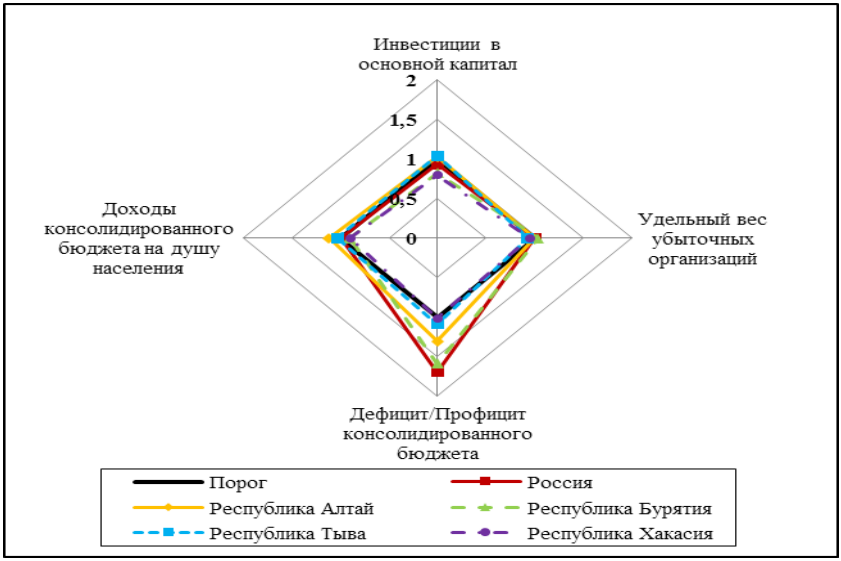

Рис. 2.7. Нормированные значения финансовых индикаторов Республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия за 2015 г.

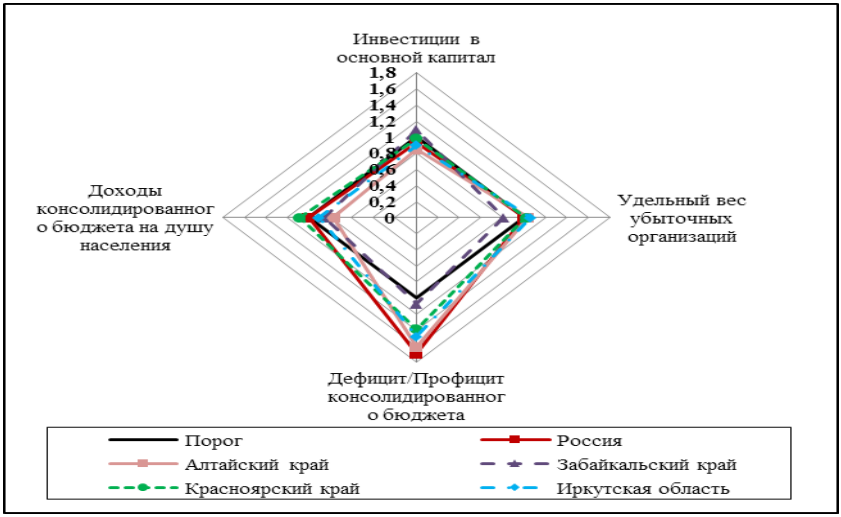

Рис. 2.8. Нормированные значения финансовых индикаторов Алтайского, Забайкальского, Красноярского края и Иркутской области за 2015 г.

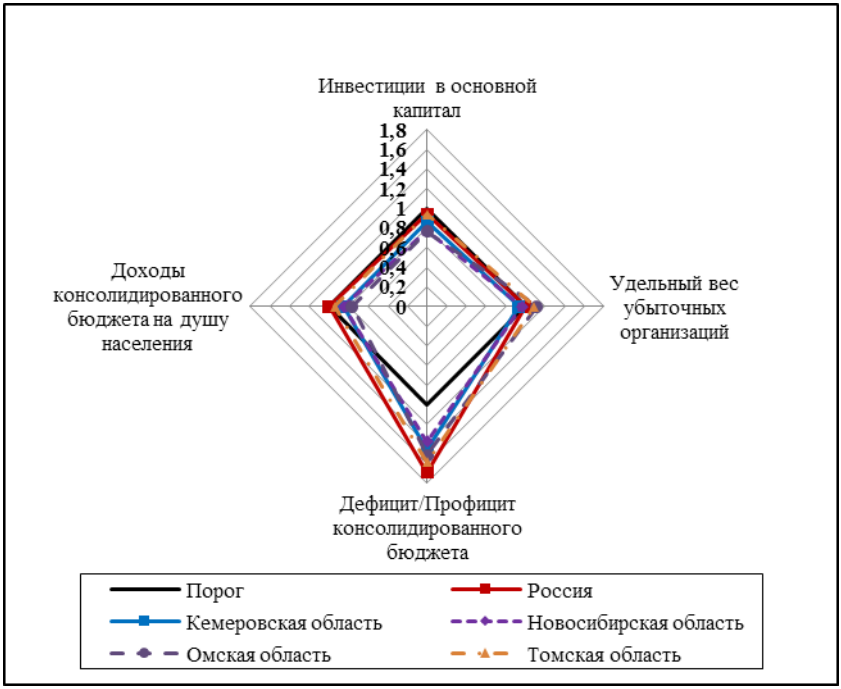

Рис. 2.9. Нормированные значения финансовых индикаторов Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей за 2015 г.

Также, как и в социальной, в финансовой сфере наблюдается схожая картина для всех регионов СФО. Особо следует отметить достаточно низкий по отношению к валовому продукту дефицит регионального бюджета во всех регионах. Лидерами по доходам бюджета на душу населения являются Республика Алтай и Красноярский край, в то время как Омская область находится в нижней части рейтинга по этому индикатору. Также в Омской области низок объем инвестиций в структуре валового продукта, где лидерами выступают Республика Тыва и Забайкальский край.

Расчет интегральных индексов экономической безопасности

Помимо анализа отдельных индикаторов ЭБР не менее важным аспектом является получение комплексной (интегральной) оценки безопасности в определенных сферах системы экономической безопасности. Для этого обычно вычисляется интегральный индекс, представляющий собой среднюю степень достижения индикаторами своих пороговых значений в рамках рассматриваемой сферы (взвешенную сумму нормированных индикаторов). Пусть n – количество индикаторов в сфере системы ЭБР. Тогда интегральный индекс I рассчитывается по формуле (2.3):

$$I = \sum_{i=1}^{n} w_i \, \bar{x}_i, \tag{2.3}$$

где $\bar{x}_i$ – нормированное по формулам (2.1), (2.2) значение i-го индикатора, w_i – весовой коэффициент, отражающий степень значимости i-го индикатора в рамках рассматриваемой сферы, $i = 1, \dots, n$, $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$. Весовые коэффициенты w_i можно рассчитывать, например, различными экспертными методами (методы ранжирования, попарного сопоставления и др.) [72], или использовать метод главных компонент [46; 49], преимущество которого заключается в использовании официальных статистических данных, что снижает субъективный фактор, присущий экспертным оценкам. Сравнивая интегральный индекс с единицей («интегральный порог»), оценивается уровень экономической безопасности рассматриваемой сферы развития региона. Значение интегрального индекса меньше единицы свидетельствует о кризисном состоянии в исследуемой сфере. В данном разделе при вычислении интегральных индексов все индикаторы в рамках экономической, социальной и финансовой сфер для всех регионов и РФ считались равнозначными, т.е. весовые коэффициенты полагались равными $w_i = \frac{1}{n}$, $i = 1, \dots, n$.

На рис. 2.10–2.12 представлены графики интегральных индексов экономической сферы регионов СФО и РФ за 2009–2015 гг.

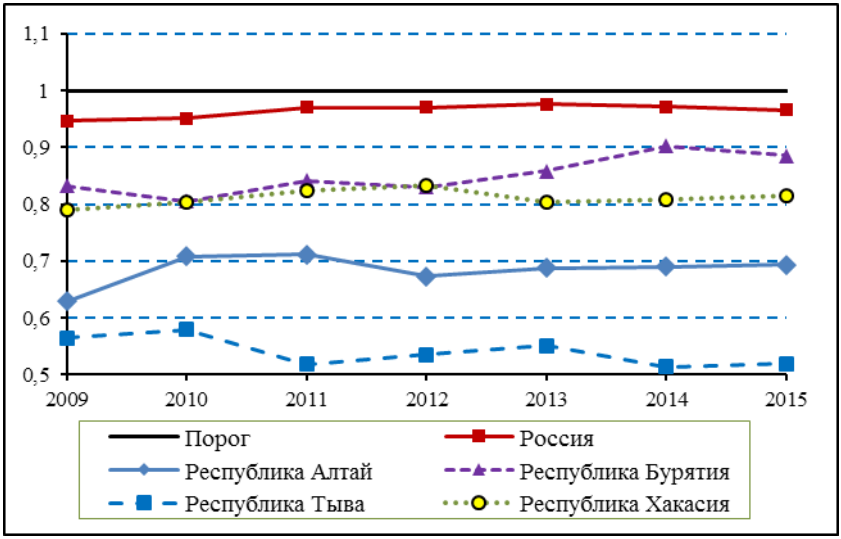

Рис. 2.10. Интегральные индексы экономической сферы
Республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия

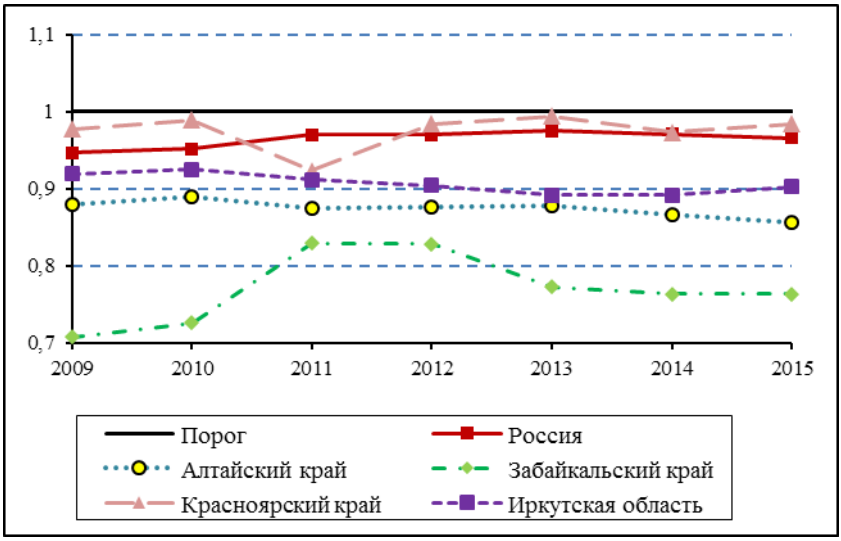

Рис. 2.11. Интегральные индексы экономической сферы
Алтайского, Забайкальского, Красноярского края и Иркутской области

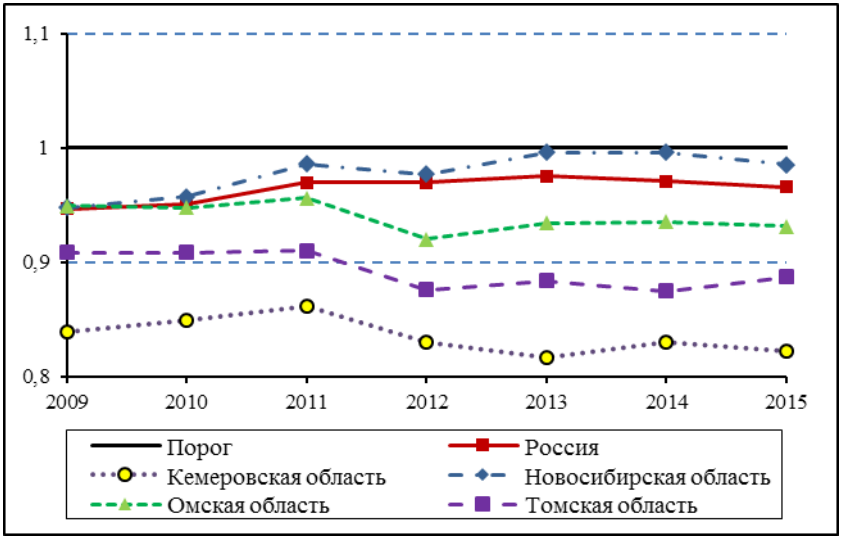

Рис. 2.12. Интегральные индексы экономической сферы Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей

Из рис. 2.10–2.12 видно, что интегральные индексы в экономической сфере всех регионов СФО меньше порогового значения, т.е. сфера реальной экономики СФО находится в кризисной зоне. Наиболее низкий уровень безопасности в экономике наблюдается в Республике Тыва, также относительно низкие значения индексов в Республиках Алтай и Хакасия, в Забайкальском крае и Кемеровской области. В зоне умеренного риска ($I \geq 0.85$ по состоянию на 2015 год) находятся Республика Бурятия, Иркутская, Новосибирская, Омская и Томская области, однако положительной тенденции приближения индексов к пороговому значению не прослеживается.

На рис. 2.13–2.15 представлены графики интегральных индексов социальной сферы регионов СФО и РФ за 2009–2015 гг.

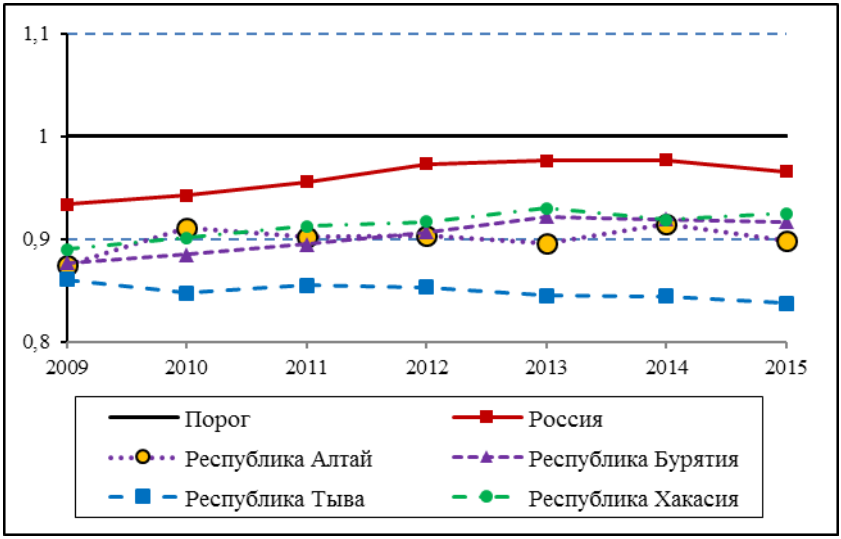

Рис. 2.13. Интегральные индексы социальной сферы
Республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия

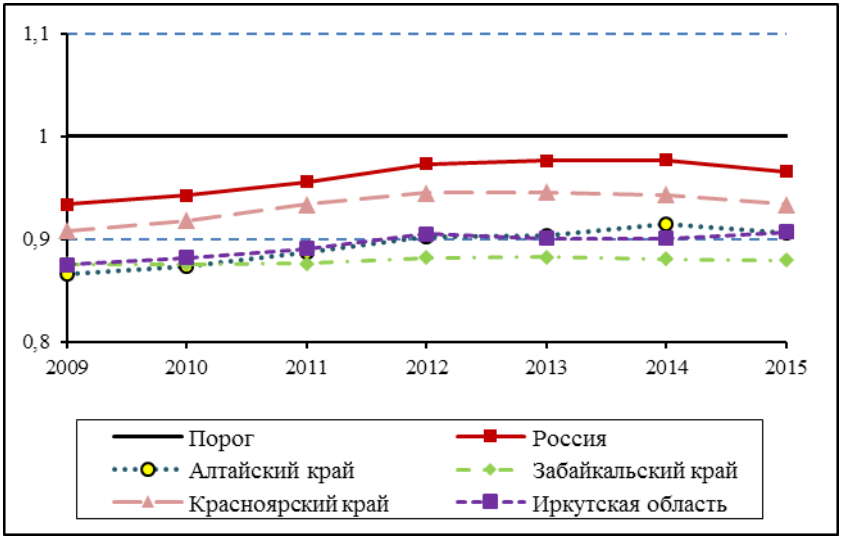

Рис. 2.14. Интегральные индексы социальной сферы
Алтайского, Забайкальского, Красноярского края и Иркутской области

Рис. 2.15. Интегральные индексы социальной сферы Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей

В социальной сфере также все регионы СФО находятся в кризисной зоне, хотя большинство регионов в зоне умеренного риска. Однако наблюдается негативная тенденция удаления интегральных индексов от порогового значения. Замыкают рейтинг Республика Тыва и Забайкальский край.

На рис. 2.16–2.18 представлены графики интегральных индексов финансовой сферы регионов СФО и РФ за 2009–2015 гг.

В финансовой сфере наблюдается большой разброс значений интегральных индексов по годам, и довольно трудно говорить об общей тенденции изменения индексов. Но по состоянию на 2015 год лишь в Республике Хакасия, Забайкальском крае и Новосибирской области значение интегрального индекса чуть меньше порогового. Остальные регионы находятся в зоне стабильности ($I > 1$), хотя следует отметить, что основной вклад здесь вносит низкий по отношению к валовому продукту дефицит консолидированного регионального бюджета, что нивелирует вклад остальных индикаторов в интегральный индекс. Обращает на себя внимание резкое падение Российского индекса в 2013 году, что, конечно, связано с осложнением в этот период мировой политической и экономической обстановки. Но в целом можно говорить о безопасном состоянии финансовой сферы регионов СФО и России.

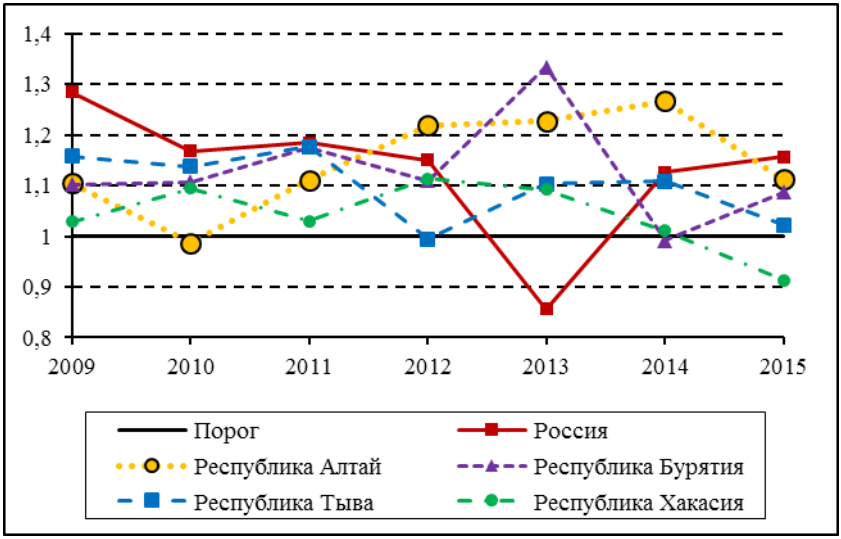

Рис. 2.16. Интегральные индексы финансовой сферы
Республик Алтай, Бурятия, Тыва и Хакасия

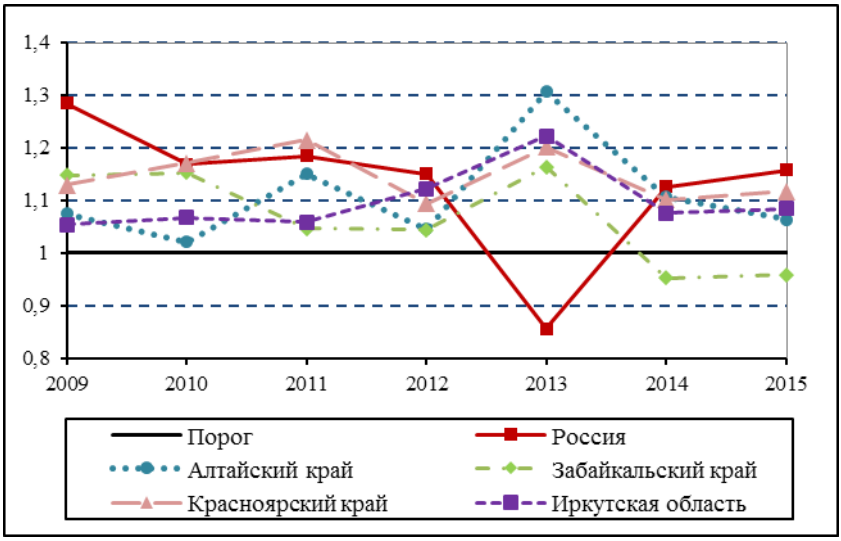

Рис. 2.17. Интегральные индексы финансовой сферы
Алтайского, Забайкальского, Красноярского края и Иркутской области

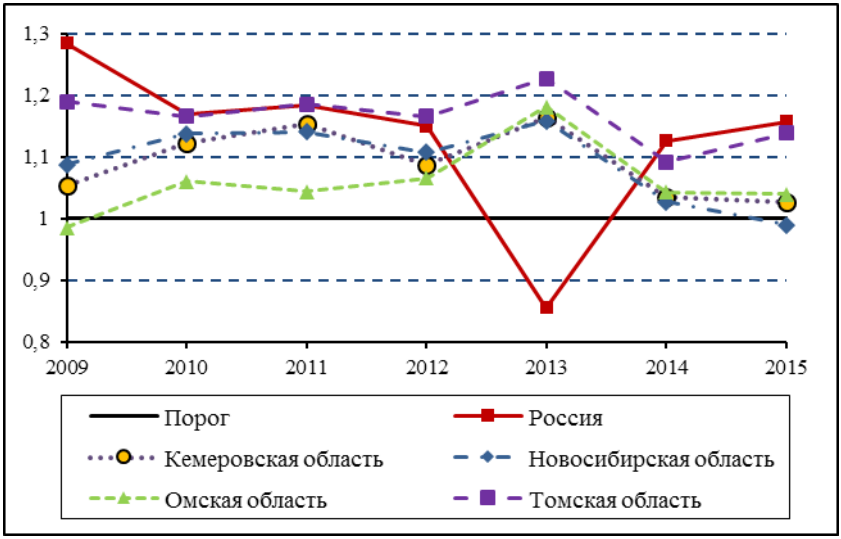

Рис. 2.18. Интегральные индексы финансовой сферы Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей

Следует отметить, что при расчете интегрального индекса ЭБР, включающего социальную, экономическую и финансовую сферы, возможно использование двух подходов.

Первый подход заключается в том, что интегральный индекс рассчитывается как среднее арифметическое нормированных индикаторов по всем трем сферам, т.е. $I = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i}{n}$, где $n = 28$ – количество индикаторов во всех рассматриваемых трех сферах. В табл. 2.1 и на рис. 2.19 представлен пример расчета интегрального индекса экономической безопасности Омской области с использованием данного подхода.

Таблица 2.1

Интегральный индекс экономической безопасности Омской области за 2009–2015 гг. (вариант 1)

Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Индекс	0,9400718	0,952403	0,962567	0,955327	0,976328	0,9618525	0,9529632

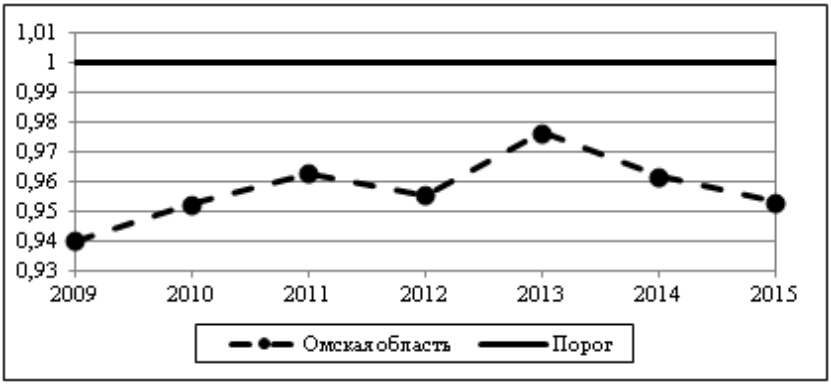

Рис. 2.19. Интегральный индекс экономической безопасности Омской области за 2009–2015 гг. (вариант 1)

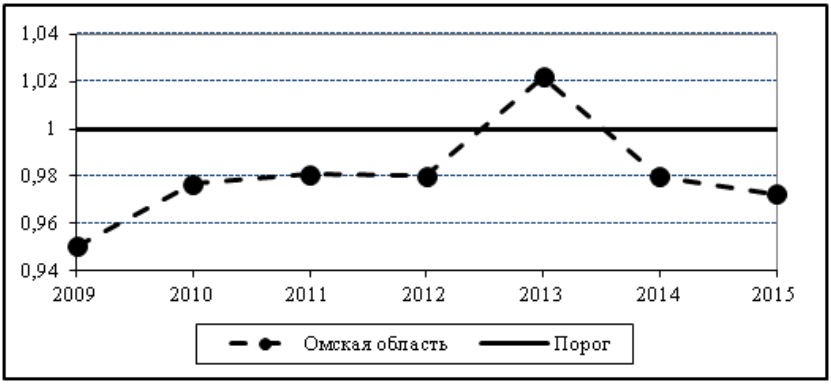

Рис. 2.20. Интегральный индекс экономической безопасности Омской области за 2009–2015 гг. (вариант 2)

Используя второй подход, интегральный индекс рассчитывается как среднее арифметическое интегральных индексов экономической, социальной и финансовой сфер, т.е. $I = \frac{I^{(e)}+I^{(s)}+I^{(f)}}{3}$, где $I^{(e)}$ – интегральный индекс сферы реальной экономики, $I^{(s)}$ – интегральный индекс социальной сферы, $I^{(f)}$ – интегральный индекс финансовой сферы (табл. 2.2., рис. 2.20).

Таблица 2.2

Интегральный индекс экономической безопасности Омской области за 2009–2015 гг. (вариант 2)

Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Индекс	0,9502394	0,976591	0,980599	0,98001	1,0218339	0,9797967	0,9723243

Как видно, при втором варианте расчета интегральный индекс экономической безопасности региона в 2013 г. вышел за пределы кризисной зоны, что не наблюдалось на предыдущем графике. Преимущество второго подхода в том, что расчет с его помощью несколько проще: здесь нет необходимости каждый раз учитывать все индикаторы ЭБР. Расчеты опираются на сформированные интегральные индексы экономической безопасности исследуемых сфер. При этом есть возможность назначать веса значимости этих сфер или полагать их равнозначными. В следующем разделе монографии используется данный подход.

2.2. Прогнозирование экономической безопасности регионов

В разделе предложена методика прогнозирования оценки состояния экономической безопасности. Также приведен алгоритм расчета весовых коэффициентов индикаторов методом главных компонент для более точной оценки экономической безопасности регионов. Произведен расчет прогнозных значений интегрального индекса экономической безопасности для регионов Сибирского федерального округа. Предложенный подход может быть полезным для региональных властей при формировании Стратегий развития регионов и оценке прогнозных состояний региона.

Методика прогнозирования показателей экономической безопасности региона

Для оценки состояния экономической безопасности в будущем необходимо иметь методику ее прогноза. Для этого будем вычислять прогноз количественных показателей социально-экономического развития региона и далее строить интегральный

индекс, как было показано в предыдущем параграфе. Пусть имеется набор статистических данных показателей социально-экономического развития региона за предыдущие годы. Необходимо определить значения показателей в следующие моменты времени. Существует множество методов прогнозирования временных рядов (экспертных оценок, корреляционно-регрессионный анализ и т.п.).

Пусть имеются показатели $X_i, i = 1, \dots, n$, такие, что для всех $i = 1, \dots, n$ значение X_i в следующий момент времени зависит от значений $X_j, j = 1, \dots, n$ в предыдущий момент времени. Таким образом, прогноз величин в следующий момент времени зависит только от предыдущих значений этих же показателей и не зависит от внешних факторов. Математическую модель можно представить в следующем виде:

$$X_1(t + \Delta t) = b_{11}X_1(t) + b_{12}X_2(t) + \dots + b_{1n}X_n(t),$$

$$\dots$$

$$X_n(t + \Delta t) = b_{n1}X_1(t) + b_{n2}X_2(t) + \dots + b_{nn}X_n(t),$$

где $B = \|b\|_{i,j=1}^{n}$ – матрица, которая показывает влияние величин $X_i(t), i = 1, \dots, n$ на величины $X_j(t), j = 1, \dots, n$.

Данную систему уравнений можно также представить в виде:

$$X_1(t + \Delta t) - X_1(t) = (b_{11} - 1)X_1(t) + b_{12}X_2(t) + \dots + b_{1n}X_n(t),$$

$$\dots$$

$$X_n(t + \Delta t) - X_n(t) = b_{n1}X_1(t) + b_{n2}X_2(t) + \dots + (b_{nn} - 1)X_n(t).$$

Разделив на Δt и устремив $\Delta t \to 0$, в пределе получим:

$$\frac{\partial}{\partial t}X(t) = AX, \tag{2.4}$$

где $X = (X_1, \dots, X_n)^T$, $A = \|a\|_{i,j=1}^{n}$.

В результате получена система обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Зная статистические значе-

ния величин $X_i, i = 1, \dots, n$ за прошлые временные интервалы, можно вычислить значения элементов матрицы $A = \|a\|_{i,j=1}^{n}$ и, следовательно, построить прогноз на последующие периоды времени.

Следует отметить, что приведенным подходом хорошо прогнозируются показатели, которые зависят только друг от друга и не зависят от «внешних факторов». В частности, данная методика может применяться при прогнозировании различных политических и экономических процессов [19; 106]. Однако, если на показатели воздействуют еще и внешние факторы, ошибка прогноза, полученного таким методом, будет достаточно существенна. В частности, в роли внешних факторов может выступать региональная власть, проводящая мероприятия по улучшению показателей экономической безопасности.

Рассмотрим случай – пусть имеется некоторая отрасль (сфера) региона и набор показателей, в нее входящих. Необходимо оценить, как комплекс мер, направленных на улучшение отдельных показателей заданной отрасли (сферы), повлияет на экономическую безопасность отрасли (сферы) в целом. Известен перечень показателей, на улучшение значений которых направлен комплекс мероприятий. Пусть задан некоторый «главный» показатель данной сферы. Предполагается сценарий, при котором определенные показатели примут заданные плановые значения. Необходимо найти прогнозное значение главного показателя и, следовательно, экономической безопасности в целом.

Для решения поставленной задачи зачастую используется статистический анализ. Для корректного анализа необходимо выбрать перечень показателей, влияющих на главный показатель, таким образом, чтобы они не коррелировали между собой (отсутствовала мультиколлинеарность).

Строится модель линейной регрессии, которая имеет вид:

$$Y = C + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon, \qquad (2.5)$$

где C – константа, ε – ошибка модели, $a_i, i = 1, .., n,$ – коэффициенты регрессии. Коэффициенты регрессии подбираются так, чтобы значения ε были минимальными, и таким образом значения линейной модели максимально приближались к реальным. В адекватной модели линейной регрессии остатки ε не должны автокоррелировать.

На практике заранее ни для каких показателей неизвестны их прогнозные значения, и необходимо построить прогноз точнее, чем при ограничении на замкнутость системы. Основным методом для прогнозирования временных рядов в экономике в этом случае является прогнозирование моделью авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС, или ARIMA в зарубежной литературе) [27]. Дадим ее определение.

Пусть $\{x_t\}$ – временной ряд,

B – оператор сдвига такой, что $Bx_t = x_{t-1}$, и

$\nabla = 1 - B$ – оператор разности, $\nabla x_t = x_t - x_{t-1}$.

Обозначим $w_t = \nabla^d x_t$ – d-я разность ряда.

Тогда следующее уравнение описывает модель Бокса-Дженкинса (без учета сезонности):

$$w_t = a_1\, w_{t-1} + a_2\, w_{t-2} + \cdots + a_p\, w_{t-p} + \varepsilon_t - m_1\, \varepsilon_{t-1} - m_2\, \varepsilon_{t-2} - \cdots - m_q\, \varepsilon_{t-q}, \quad (2.6)$$

где p – порядок авторегрессии;

q – порядок скользящего среднего;

$\{\varepsilon_t\}$ – белый шум;

$a_i = const$ – параметры модели авторегрессии;

$i = 1, \dots, p$; $m_j = const$ – параметры модели скользящего среднего;

$j = 1, \dots, q$;

d – порядок разности модели.

Модель, задаваемая приведенным выражением, называется моделью авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (с параметрами *p, d, q)* и обозначается АРПСС(*p,d,q*) (или ARIMA(*p,d,q*) в зарубежной литературе).

Для определения модели АРПСС для рассматриваемого временного ряда необходимо выполнить перечисленные этапы:

– идентификация модели;

– оценка параметров модели;

– исследование адекватности модели;

– прогнозирование.

Идентификация модели состоит в выборе параметров p, d, q по траектории ряда. Отдельно выделяются модели Хольта и Брауна, которые относятся к классу АРПСС(0,2,2), и широко используются при прогнозировании рядов с выраженным линейным

трендом [67]. После идентификации модели и оценки ее параметров исследуется адекватность полученной модели. Для этого оцениваются остатки – разности между предсказанными значениями и фактическими статистическими данными. При правильном выборе модели поведение остатков будет белым шумом, то есть между ними не будет сильных корреляций, а также периодических колебаний и систематических смещений. После оценки адекватности модели строится прогноз будущих значений.

Отметим, что при анализе оценки экономической безопасности рассматриваемой отрасли (сферы) исследователи зачастую сталкиваются с необходимостью упорядочения входящих в сферу показателей по их «важности», а также с определением того, как представленные показатели влияют на оценку безопасности в целом. Частым допущением при оценке экономической безопасности является полагаемая равнозначность всех показателей, входящих в рассматриваемую сферу, что может быть не совсем корректным при выборе в сфере нескольких показателей, схожих по своей сути.

Можно назначить весовые коэффициенты показателям, например, методом экспертной оценки [72]. Однако очевиден его основной недостаток – субъективность. Другой способ проранжировать показатели – применив статистические методы. На основе известных статистических данных из системы большого числа взаимосвязанных факторов выделяется система с меньшим числом факторов. Полученная система определяет вариацию рассматриваемой, т.е. по информативности сопоставима с оригинальной. К плюсам данного подхода следует отнести то, что он позволяет находить скрытые взаимосвязи между факторами, которые могут быть не обнаружены при субъективном экспертном рассмотрении.

В данной работе будет использоваться метод главных компонент, предложенный Карлом Пирсоном [70]. Идея метода состоит в поиске n главных компонент, которые определяют дисперсию исходных n случайных величин. Полученные главные компоненты упорядочиваются в порядке убывания их суммарной доли в дисперсию исходных величин. В случае если вклад последних компонент в дисперсию является малым, их можно отбросить и рассматривать только первые компоненты. Вычислив вклад случайных величин в дисперсию оставшихся главных компонент, можно проранжировать величины по их информативности.

Пусть задано несколько сфер со своими наборами показателей. При этом возможен вариант, когда в сфере выделен один или несколько «главных» показателей (к примеру, «Валовый региональный продукт» для экономической сферы). Тогда, применяя метод статистического анализа, можно вычислить весовые коэффициенты «влияния» сфер показателей на главные и группу главных показателей в целом и, следовательно, коэффициенты влияния самих сфер на экономическую безопасность в целом.

Так, пусть структура показателей представлена на рис. 2.21.

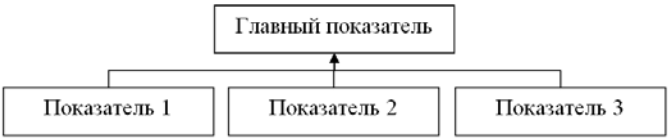

Рис. 2.21. Структура с одним главным показателем

Построив уравнение линейной регрессии относительно зависимости главного показателя от показателей сферы, а также уравнение линейной регрессии относительно зависимости главного показателя от главных компонент, найденных соответственно методом главных компонент, можно вычислить весовые коэффициенты «влияния» показателей сфер на главный показатель, и, соответственно, на саму отрасль (сферу).

Возможен вариант, когда структура показателей сложнее (рис. 2.22). Аналогично предыдущему случаю, применение статистического анализа позволяет рассчитать влияние показателей отрасли (сферы) на каждый главный индикатор по отдельности. Далее, назначив свои весовые коэффициенты главным показателям, можно рассчитать влияние показателей на всю группу главных показателей и, следовательно, отрасль (сферу) в целом. Для расчета весов главных показателей также можно использовать метод главных компонент.

Приведенные подходы можно применять, в частности, при рассмотрении проблем оценки эффективности государственных программ управления, когда необходимо оценить «вклад» показателей в итоговый результат по отрасли (сферы) («главный показатель»). Однако в специфике рассматриваемой в работе задачи в рамках отрасли (сферы) не будут выделяться главные показатели.

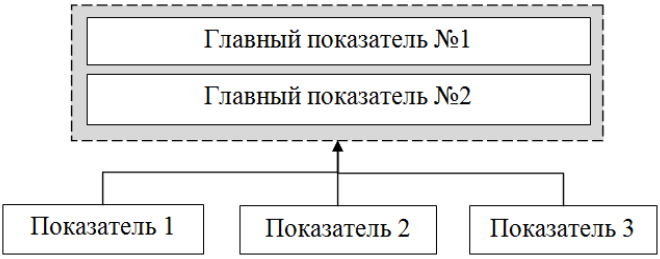

Рис. 2.22. Структура с двумя главными показателями

Для определения весовых коэффициентов «влияния» показателей на отрасль (сферу) в целом будем применять метод главных компонент и алгоритм, приведенный далее. Заметим, что на практике при корректном выборе показателей (т.е. при отсутствии корреляции между ними) весовые коэффициенты будут примерно равны друг другу. Для оценки влияния отрасли (сферы) экономической безопасности на экономическую безопасность региона в целом полагаем коэффициенты самих сфер равными друг другу.

В практических задачах при расчетах с применением статистических методов часто используют специализированное программное обеспечение с встроенными реализациями стандартных методов и алгоритмов. Самыми распространенными и широко применяемыми статистическими пакетами являются STATISTICA (производитель StatSoft) и SPSS Statistics (производитель IBM). В данной работе для расчетов при применении статистических методов используется пакет IBM SPSS Statistics.

Приведем алгоритм вычисления весовых коэффициенты показателей, входящих в состав каждой сферы (экономическая, социальная, финансовая), а также интегральный индекс оценки экономической безопасности региона.

Пусть рассматривается отрасль (сфера) с входящими в нее показателями $\mathrm{X}_1, \dots, \mathrm{X}_\mathrm{n}$.

1. На основе известной статистики анализируем переменные $X_1, \dots, X_n$ методом главных компонент с применением корреляционной матрицы. Получаем главные компоненты $F_1, \dots, F_n$ такие, что $\dot{X} = AF$, где $\dot{X} = (X - MX)$ – центрированный вектор-столбец n-мерного вектора $X = (X_1, \dots, X_n)^\mathrm{T}$, $F = (F_1, \dots, F_n)^T$ – центрированный и нормированный вектор-столбец некоррелированных главных компонент, $A = (a_{ij})$ – матрица нагрузок случайных величин X_i на компоненты F_j, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$.

2. Определяем набор главных компонент $F_1, \dots, F_k, k \leq n$, так, чтобы суммарная дисперсия компонент $F_1, \dots, F_k$ несущественно отличалась от суммарной дисперсии компонент $F_1, \dots, F_n$.

3. Вычисляем вклад $V_1, \dots, V_n$ индикаторов $X_1, \dots, X_n$ в дисперсию главных компонент $F_1, \dots, F_k$ с помощью матрицы нагрузок $A = (a_{ij})$:

$$V_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{k} a_{ij}^2}, i = 1, \dots, n.$$

4. Определяем весовые коэффициенты p_i:

$p_i = \frac{V_i}{\sum_{j=1}^{n} V_j}, i = 1, \dots, n.$

Очевидно, что $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$.

5. Рассчитываем интегральный индекс по сфере q I_q, представляющий собой взвешенную сумму нормированных показателей X_i, по формуле:

$$I_q = \sum_{i=1}^{n} p_i \bar{X}_i, \tag{2.7}$$

где $\bar{X}_i, i = 1, \dots, n,$ – нормированные значения показателей.

Нормировка проводится с целью приведения показателей к безразмерному виду. Выбор нормировки обычно определяет динамический диапазон отображения результатов. В текущей работе применяется нормировка, указанная в работе Митякова С.Н. и др. [73] (формулы 2.1–2.2).

После того, как вычислены интегральные индексы I_i, $i=1,..,q$ всех q отраслей (сфер) региона, общий интегральный индекс экономической безопасности вычисляется по формуле:

$$I = \sum_{i=1}^{q} \frac{1}{q} I_i. \tag{2.8}$$

Как и было указано ранее, вес каждой отрасли (сферы) полагается равным (т.е. $1/q$ для q сфер).

Определение прогнозных значений интегральных индексов региональной экономической безопасности

Рассмотрим регионы Сибирского федерального округа и проведем исследование прогнозных оценок экономической безопасности данных регионов. Рассматриваются 3 сферы – экономическая, социальная и финансовая. Статистика по показателям социально-экономического развития регионов имеется за 2005–2015 гг. Прогнозные значения показателей были рассчитаны на 2016–2019 гг. Для непосредственно прогнозирования применялся статистический пакет IBM SPSS Statistics 22, который позволяет автоматически выбрать модель прогнозирования с целью минимизации ошибки прогноза. Модель выбирается из перечисленных: линейная экстраполяция, модели Хольта, Брауна и АРПСС (p, d, q). После этого были вычислены интегральные индексы оценки экономической безопасности за весь период 2005–2023 гг.

Полученные значения интегральных индексов по сферам (экономической, социальной, финансовой), а также общих интегральных индексов экономической безопасности регионов СФО приведены в Приложении 6.

Были также построены графики интегральных индексов экономической безопасности рассматриваемых регионов (рис. 2.23–2.34).

Из рис. 2.23 видно, что интегральный индекс экономической безопасности Республики Алтай находится близко к порогу, но по-прежнему в кризисной зоне. По прогнозу индекс будет расти, приближаясь к порогу, но совсем незначительно.

В Республике Бурятия индекс экономической безопасности также находится ниже порогового значения, однако прогноз оптимистичен. Несмотря на снижение индекса в 2014–2015 гг., уже в 2018 году индекс экономической безопасности Республики должен превысить порог, выйти в безопасную зону и продолжить рост (рис. 2.24). Однако тренд нестабилен: есть вероятность, что в 2020 году индекс упадет ниже порога, но далее снова начнет расти.

Оценка экономической безопасности Республики Тыва худшая из всех регионов СФО, прогноз также предполагает нахож-

дение в опасной зоне без выраженных трендов на улучшение или ухудшение ситуации (рис. 2.25).

Рост интегрального индекса экономической безопасности Республики Хакасия в 2013 сменился падением, так и не превысив порог (рис. 2.26). По прогнозу экономика Республики также продолжит оставаться в «опасной» зоне, хоть и очень близко к порогу.

Несмотря на падение индекса Алтайского края в 2014–2015 гг., по прогнозу намечается тренд на небольшой рост и стабилизацию около значения индекса в 0,95 (рис. 2.27).

Похожая на Алтайский край и ситуация в Забайкальском крае (рис. 2.28): экономика находится в кризисной зоне, однако прогнозный тренд на незначительное улучшение интегрального индекса, хоть и не достигающего порога в ближайшие 4 года.

Ситуация в Красноярском крае принципиально другая (рис. 2.29) – несмотря на наметившийся рост интегрального индекса в 2010–2014 гг. и экономику в «безопасной» зоне, по прогнозу уже в 2016 году индекс упадет ниже порога и на ближайшие годы экономика окажется в кризисной зоне.

Как и у многих рассмотренных регионов СФО, оценка экономической безопасности Иркутской области находится вблизи, но все же ниже порога (рис. 2.30). По прогнозу в 2016 году индекс превысит порог, экономика выйдет в безопасную зону и продолжит небольшой рост.

Интегральный индекс Кемеровской области находится вблизи, но ниже порога, по прогнозу ситуация останется стабильной с постепенным плавным ухудшением индекса (рис. 2.31).

В Новосибирской области (рис. 2.32), несмотря на резкое падение индекса в последние два года, по прогнозу в последующие года будет медленный рост интегрального индекса.

Для Омской области, несмотря на прогнозное повышение индекса почти до порогового значения в 2018 году (рис. 2.33), в последующие годы по прогнозу индекс так и не превысит порог.

Для Томской области прогнозные значения интегрального индекса также ниже порога (рис. 2.34), и намечается тенденция на дальнейшее снижение индекса.

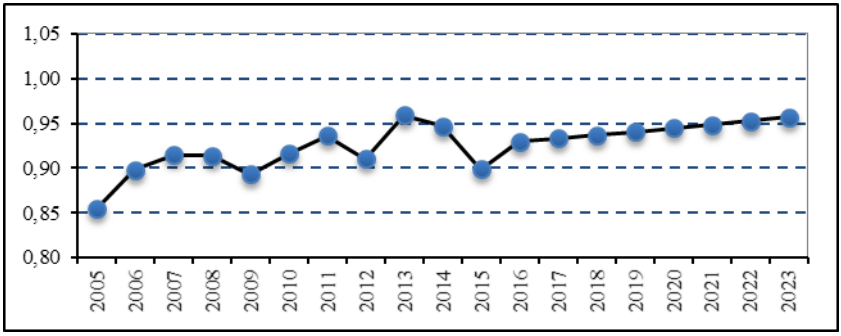

Рис. 2.23. Интегральный индекс экономической безопасности Республики Алтай

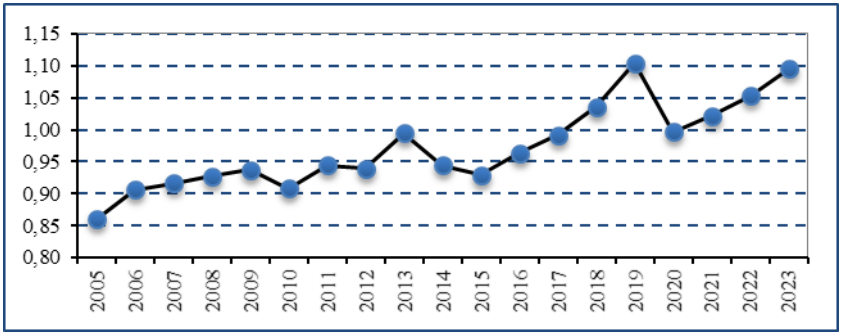

Рис. 2.24. Интегральный индекс экономической безопасности Республики Бурятия

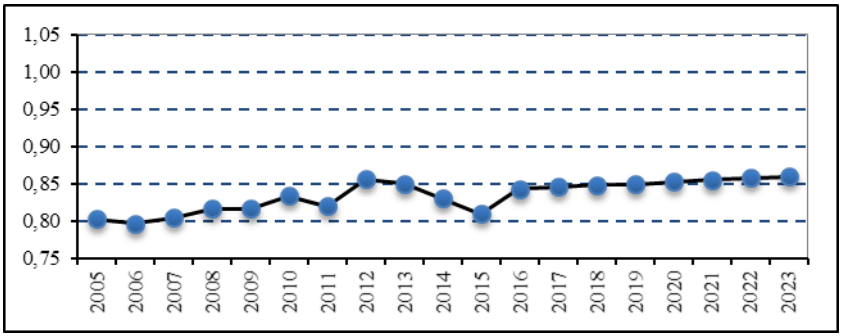

Рис. 2.25. Интегральный индекс экономической безопасности Республики Тыва

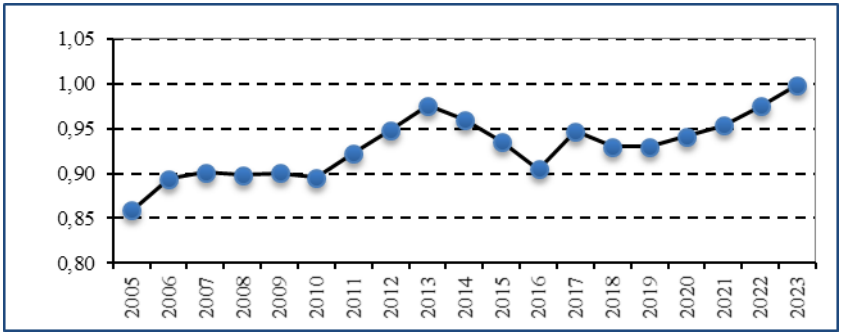

Рис. 2.26. Интегральный индекс экономической безопасности Республики Хакасия

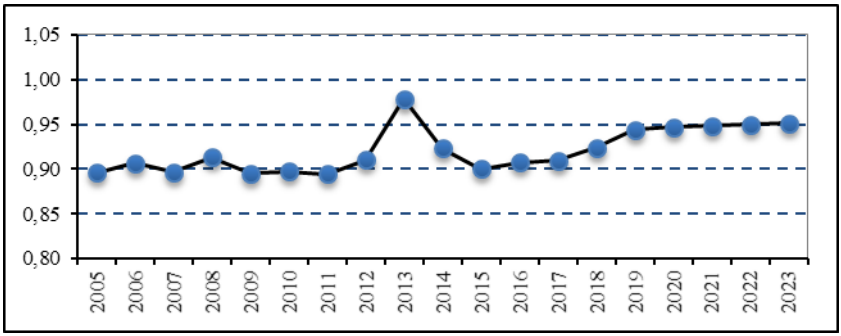

Рис. 2.27. Интегральный индекс экономической безопасности Алтайского края

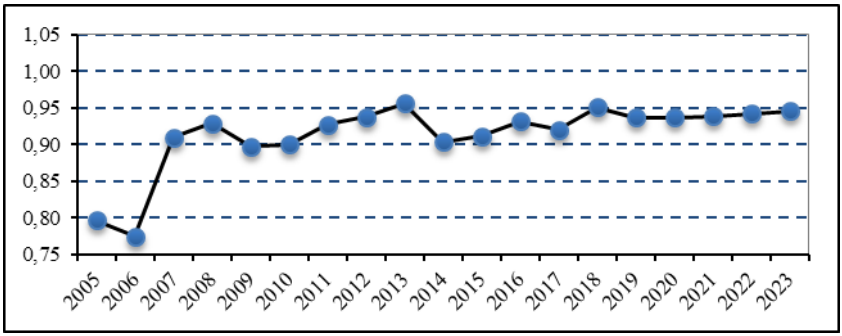

Рис. 2.28. Интегральный индекс экономической безопасности Забайкальского края

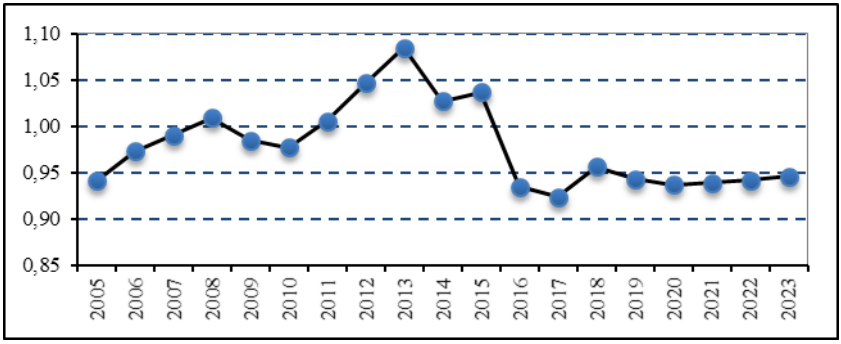

Рис. 2.29. Интегральный индекс экономической безопасности Красноярского края

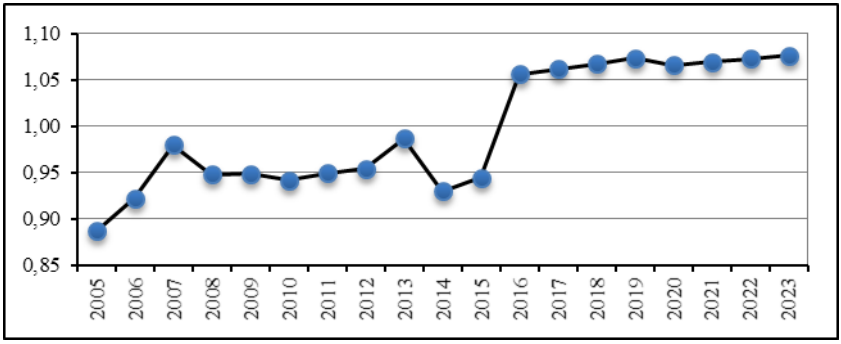

Рис. 2.30. Интегральный индекс экономической безопасности Иркутской области

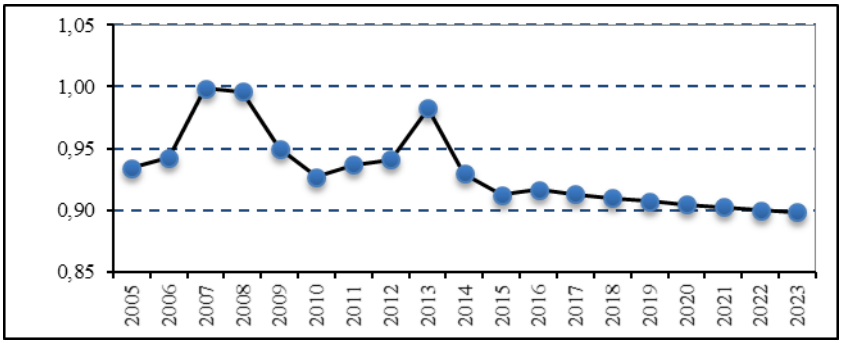

Рис. 2.31. Интегральный индекс экономической безопасности Кемеровской области

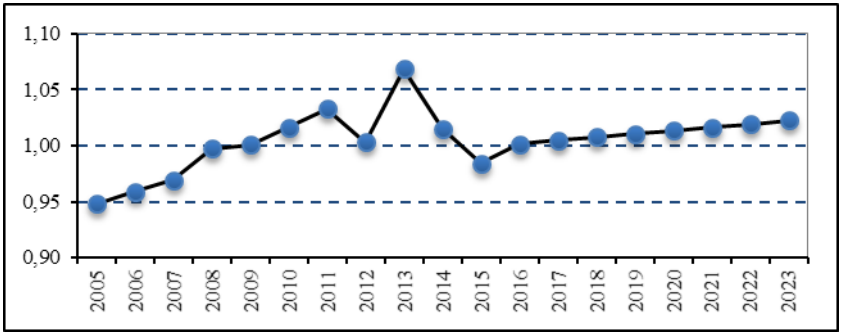

Рис. 2.32. Интегральный индекс экономической безопасности Новосибирской области

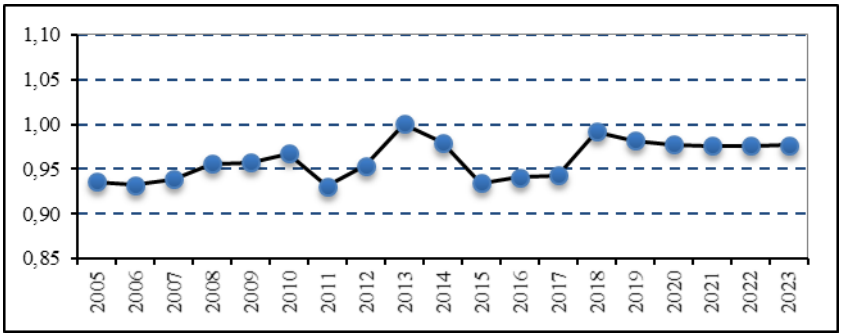

Рис. 2.33. Интегральный индекс экономической безопасности Омской области

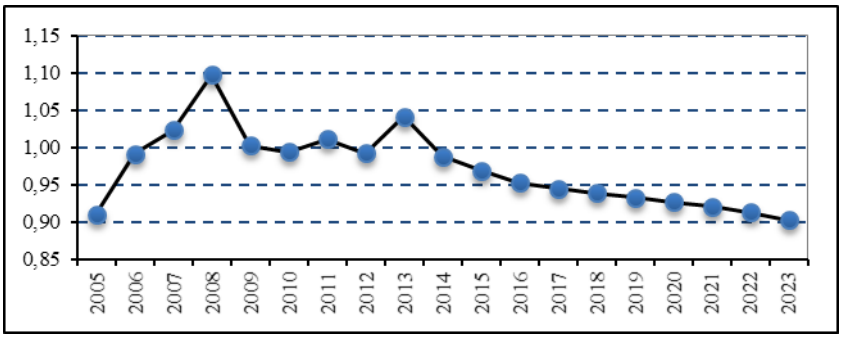

Рис. 2.34. Интегральный индекс экономической безопасности Томской области

Рассмотрев в качестве примера Омскую область более подробно (рис. 2.35), интересно отметить, что индекс экономической сферы показывает рост по прогнозу, в то время как индекс по финансовой сфере снижается, а индекс социальной сферы показывает резкое улучшение в 2018 году, превышая порог, а далее ухудшается.

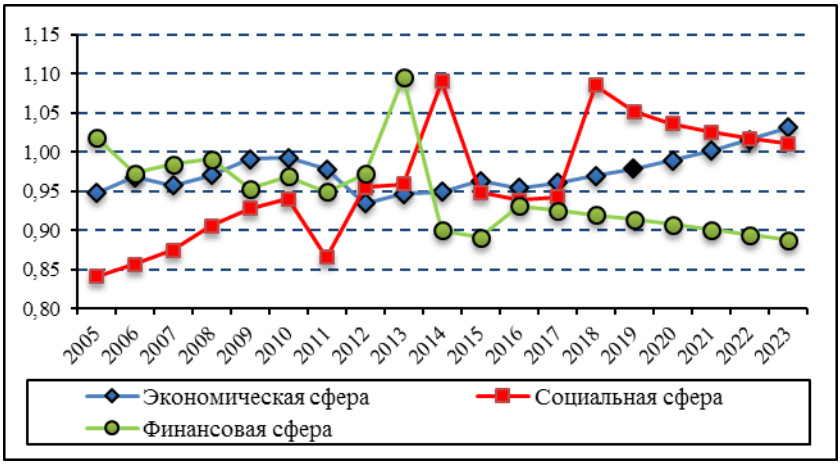

Рис. 2.35. Интегральные индексы сфер экономической безопасности Омской области

Заметим, что большинство регионов находятся в «опасной» зоне. При этом худшие показатели индекса экономической безопасности у Республики Тыва. «Оптимистичным», то есть прогнозирующим выход в безопасную зону и рост индекса экономической безопасности, прогноз является только для Республики Бурятия, Иркутской и Новосибирской областей. Все остальные регионы остаются в кризисной зоне и по прогнозным величинам, в основном без ярко выраженных трендов как на улучшение, так и на ухудшение ситуации. По результатам расчетов отметим, что даже краткосрочное снижение значения интегрального индекса не свидетельствует о дальнейшем падении индекса в прогнозе (рис. 2.24, 2.26). И напротив – если в текущий момент оценка экономической безопасности находится в безопасной зоне, по прогнозу может произойти переход через порог и выход в опасную зону (рис. 2.34).

Результаты свидетельствуют о высоком риске экономических угроз для всех регионов Сибирского федерального округа, и необходимости принятия управленческих мер по улучшению уровня экономической безопасности.

Также был произведен расчет интегрального индекса экономической безопасности Сибирского федерального округа, включая прогнозные значения. Вычисления производились по формуле (2.9):

$$I = \sum_{i=1}^{m} P_i I_i, \qquad (2.9)$$

где $P_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^{m} W_j}$, – вес региона $i = 1, \dots, m$;

W_i – валовый региональный продукт на душу населения региона i;

I_i – интегральный индекс экономической безопасности региона i.

График изменения интегрального индекса экономической безопасности СФО приведен на рис. 2.36.

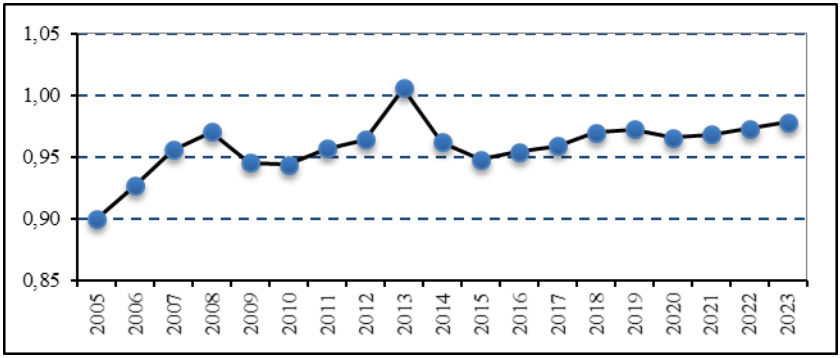

Рис. 2.36. Интегральный индекс экономической безопасности Сибирского федерального округа

Из графика видно, что после 2013 года интегральный индекс находится ниже порогового значения и, хотя постепенно повышается, темп прироста очень небольшой и порогового значения не достигает даже в прогнозе до 2023 года.

2.3. Моделирование региональной энергетической безопасности

Несмотря на то, что проблематика энергетической безопасности довольно широко освящена в специализированных источниках, многие вопросы методического характера остаются открытыми. Энергетическая безопасность рассматривается в специализированной литературе, прежде всего, как элемент национальной или экономической безопасности. Однако зачастую она исследуется отдельно, поскольку играет ключевую роль в обеспечении функционирования других отраслей экономики. В этом аспекте проблема энергетической безопасности на федеральном и региональном уровне приобретает все большую актуальность.

В разделе обобщены подходы к определению энергетической безопасности, сформулированы цель, задачи, объект, предмет и субъекты энергетической безопасности. Рассмотрены угрозы энергетической безопасности, представлены методические подходы к их систематизации и анализу, учитывающие вид субъекта энергетической безопасности и последствия от наступления угроз.

Одной из существенных угроз энергетической безопасности, затрагивающей федеральный, региональный уровень, уровень хозяйствующих субъектов и домохозяйств, является угроза резкого уменьшения производства энергоресурсов. В качестве реакции сети энергоснабжения на реализованную угрозу предлагается дополнить сеть пунктами резервного хранения энергоресурса. В целом пункт резервного хранения отличается от пункта производства тем, что последний осуществляет непрерывную поставку энергоресурса, а пункт резервного хранения поставляет ресурс только в период ликвидации последствий реализованной угрозы. Исходя из этого, предложена математическая модель реакции сети энергоснабжения на угрозы технологического типа, позволяющая рассчитать необходимый запас энергоресурса в пунктах резервного хранения, определить сеть дополнительных каналов связи и минимизировать затраты на построение сети дополнительных каналов.

Подходы к определению энергетической безопасности

Понятие «энергетическая безопасность» (далее ЭнБ) применительно к экономике стало активно употребляться с 90-х годов XX века: в 1992 г. вступил в силу закон «О безопасности», через

пять лет появилась первая Концепция национальной безопасности Российской Федерации [54]. В настоящее время действует Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Также Институтом систем энергетики им. М.А. Мелентьева разработана Доктрина энергетической безопасности России.

В соответствие с устоявшейся трактовкой, данной Мировым энергетическим советом (МИРЭС), ЭнБ означает уверенность в том, что энергия будет иметься в распоряжении в том количестве и того качества, которые требуются при данных экономических условиях [58]. Но в этой формулировке не уточнены объект и субъект энергетической безопасности, что позволило бы определить цели, стратегию обеспечения ЭнБ, и выработать конкретные механизмы её реализации.

В конце 1990-х годов было предложено понимать ЭнБ как «состояние защищенности страны, ее граждан, общества, государства и экономики от угрозы дефицита в обеспечении их обоснованных потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения» [33]. При этом состояние защищенности авторы предложили понимать в двух аспектах: как состояние, соответствующее в нормальных условиях обеспечению в полном объеме обоснованных потребностей (спроса) в энергии, а в экстремальных условиях – гарантированному обеспечению минимального объема потребностей. Такое определение довольно широкое и подробное. В нем показана взаимосвязь экономической и энергетической сферы, указано, что потребности в энергоресурсах должны быть обоснованы, а сами ресурсы должны соответствовать необходимому качеству. Помимо этого, в определении «состояния защищенности» закладываются уровни ЭнБ, соответствующие нормальным и экстремальным условиям энергообеспечения потребителей, и кроме того, способность минимизировать ущерб в результате воздействия угроз, а при чрезвычайных ситуациях гарантировать обеспечение минимально необходимого объема потребностей в энергоресурсах. На доступность энергоресурсов обращают внимание также Р.В. Котов и Р.Р. Садыртдинов, которые понимают под энергетической безопасностью состояние, при котором государство, его предприятия и граждане получают достаточное количество энергетических ресурсов по разумным рыночным ценам, причем в

среднесрочной перспективе этому состоянию ничто не должно угрожать [59].

В Энергетической стратегии России на период до 2030 года ЭнБ трактуется как «состояние защищенности страны, ее граждан, общества, государства и экономики от угроз надежному топливо- и энергообеспечению» [15]. Следует отметить, что в этом определении конкретизирован объект энергетической безопасности (государство, общество, личность), и защищенность от угроз выступает здесь базовым элементом безопасности. Причем первооснову составляют интересы страны (территории проживания) и граждан, из которых вытекают интересы общества и государства как инструмента и механизма управления, обеспечивающего наилучшие условия для развития личности и общества. Угрозы ЭнБ определяются внешними факторами(геополитическими, макроэкономическими, конъюнктурными), а также состоянием энергетического сектора страны. Но ключевое значение имеет готовность к преодолению вероятностных угроз, а не прогнозирование меняющихся рисков.

Несколько иначе ЭнБ трактует О.В. Кондаков: ЭнБ представляет собой «состояние защищенности объектов энергетики от различных видов угроз при эффективном менеджменте в энергетической сфере, что позволит осуществлять бесперебойное энергоснабжение потребителей» [52]. Иными словами, если в предыдущих определениях объектом ЭнБ выступали личность и государство, то в последней трактовке объектная область – это сами предприятия энергетики, вероятно, инфраструктура (трубопроводы, ЛЭП) и их защищённость от угроз недопоставок, аварий и разрушений. На рис. 2.37 показано принципиальное отличие

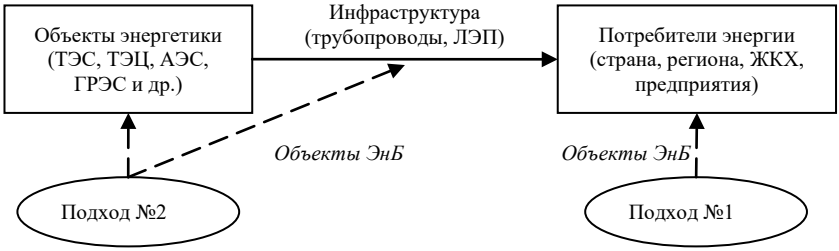

Рис. 2.37. Подходы к определению объектов энергетической безопасности

между рассмотренными подходами к определению объектов ЭнБ, на основании которого можно сделать вывод, что первый рассмотренный выше подход придает ЭнБ более широкий и содержательный смысл по сравнению с понятием надежности и защищенности систем энергетики.

Совокупность рассмотренных элементов ЭнБ предлагается структурировать следующим образом.

Цель ЭнБ – обеспечение обоснованных потребностей потребителей в энергии экономически доступными для них энергетическими ресурсами приемлемого качества.

Потребители энергии:

– в широком определении: общество, страна, регионы;

– в узком определении: граждане, предприятия, учреждения.

Задачи ЭнБ:

– обеспечение в полном объеме обоснованных потребностей в энергии в нормальных условиях;

– обеспечение гарантированного минимального объема потребностей в энергоснабжении в экстремальных условиях;

– разработка и реализация мероприятий, повышающих защищённость потребителей энергии от возникновения вероятностных угрознарушения бесперебойного энергоснабжения, и снижающих влияние от этих угроз в случае их наступления.

Объект ЭнБ – объекты энергетики и её инфраструктура.

Предмет ЭнБ – управленческие и производственные процессы добычи и доставки энергоресурсов потребителям.

Субъекты ЭнБ:

– в широком определении: страна, регионы, предприятия;

– федеральные, региональные и местные исполнительные и законодательные органы власти (представительной власти), руководство энергокомпаний.

Следует обратить особое внимание на упомянутое «состояние защищенности», включенное в определение ЭнБ ряда авторов. Внутренние и внешние условия никогда не бывают стабильными и устойчивыми, а значит, и само понятие «состояние защищенности» имеет динамический смысл. Исходя из этого, понятие «энергетическая безопасность» рассматривается как динамическая категория [33]. Условия и факторы могут менять как сами угрозы ЭнБ, так и вероятность их наступления. Но понятийное «ядро» ЭнБ основывается на стабильном каркасе – объектах и цели ЭнБ.

Существуют различные подходы к определению взаимосвязей между энергетической, экономической и национальной безопасностью. Первый подход определяет главенство национальной безопасности, которую формируют экономическая, политическая, социальная, военная и иные виды безопасности [57]. Такая иерархическая структура показывает обеспечивающую роль энергосистемы, которая помогает развитию экономики. Так, А.Р. Гафуров отмечает, что этот подход целесообразен при разработке стратегии обеспечения энергетической безопасности энергоизбыточных регионов, где важнее развивать другие отрасли, инфраструктуру и т.п. [33].

Однако, на наш взгляд, представленная структура сформирована по принципу строительства прочного здания. И в этом «здании» энергообеспечение формирует фундамент, от прочности и надёжности которого зависит устойчивость всего «сооружения». В работе М.И. Бородиной и Е.А. Ветровой наглядно показано влияние традиционной энергетики на составляющие экономической безопасности, именно: на продовольственную безопасность, социальную безопасность, финансовую безопасность и проч. [29].

Второй подход подразумевает противоположную логику. Здесь национальная безопасность влияет на состояние экономики, а последняя определяет уровень ЭнБ. Аргументация в пользу этого подхода заключается в том, что работа энергетического комплекса находится в прямой зависимости от экономических условий региона, и такой подход следует использовать регионам с преобладающей энергетической отраслью.

Третий подход, допускает двустороннее влияние различных видов безопасности в рамках обозначенной выше иерархической структуры с национальной безопасностью на её вершине. Национальная, экономическая и энергетическая безопасность выступают при этом как равноправные категории, усиливающие или ослабляющие свое влияние друг на друга.

Но при любом подходе должна учитываться зависимость территории (страны, региона) от внешних первичных энергоисточников.

Исходя из рассмотренных положений, под энергетической безопасностью предлагается понимать способность топливно-энергетического комплекса страны обеспечивать потребителей экономически доступными для них энергоресурсами требуемого качества в полном объеме в нормальных условиях, и в минимальном гарантированном объеме в случае наступления угроз ЭнБ.

Угрозы энергетической безопасности и подходы к их систематизации

Классификация и перечень угроз экономической и энергетической безопасности приведены в работах С.В. Казанцева [45], О.В. Кондракова [52], С.М. Сендерова [82], З.А. Темировой [93] и других авторов. В целом угрозы ЭнБ условно подразделяются на:

– внешние и внутренние;

– природные, техногенные;

– связанные с неоптимальным управлением энергосистемы;

– экономические, политические, социальные и др.

В основном, этот перечень содержит разнообразные угрозы для страны, но многие из них можно транслировать и на уровень субъектов РФ с учетом конкретных региональных особенностей.

Угрозы ЭнБ в масштабах государства важны с точки зрения наполнения федерального бюджета и, следовательно, влияния на экономическую конъюнктуру и социальную сферу. К таким угрозам можно отнести:

– отсутствие контролируемого и прогнозируемого спроса на энергоресурсы;

– исчерпание природных запасов энергоресурсов, снижение объемовых добычи и производства;

– разрушение «каналов связи» (трубопроводов, ЛЭП);

– чрезмерное повышение затрат на добычу и производство энергоресурсов и др.

Зачастую сложно разграничить угрозы ЭнБ и факторы дестабилизации. Например, к угрозам для энергетической сферы многие авторы относят высокий износ основных средств. Но этот аспект можно трактовать как один из факторов, повышающих цены на энергоресурсы. В результате возникает угроза чрезмерного повышения затрат в энергетике и как следствие – снижение конкурентоспособности России на мировых энергетических рынках. В свете такой многовариантности представляют интерес работы А.Г. Маселя, где автор ставит задачу построения и анализа когнитивных карт для исследования проблемы ЭнБ [69]. Также С.М. Сендеров рассматривает стратегические угрозы ЭнБ России и их взаимосвязи [82].

В табл. 2.3 систематизированы некоторые угрозы ЭнБ для страны и её регионов, подразделенных на энергодефицитные и энергоизбыточные.

Таблица 2.3

Подход к систематизации угроз ЭнБ в зависимости от субъектов ЭнБ

Угрозы \ Субъекты ЭнБ	Страна как поставщик	Страна как потребитель	Энергоизбыточный регион как поставщик	Энергоизбыточный регион как потребитель	Энергодефицитный регион как потребитель
Неопределенность запасов углеводородного сырья	+	+			+
Дискриминационные действия на внешних рынках по отношению к экспортируемым товарам предприятий ТЭК	+		+		
Высокий уровень монополизма в ТЭК		+		+	+
Нерациональное использование существующих запасов	+	+		+	+
Высокая энергоемкость ВВП, низкие темпы энергосбережения в стране		+		+	+
Недостаточный уровень инвестиций и низкие темпы обновления оборудования в отраслях ТЭК	+	+	+	+	+
Угроза выхода из строя трубопроводов и ЛЭП	+	+	+	+	+

Высокая энергоемкость ВВП и низкие темпы энергосбережения в стране имеют, в некоторой степени, противоположный характер для поставщиков и потребителей энергии. Поставщики недополучают прибыль из-за потери тепла при его транспортировке на большие расстояния, однако неразвитость энергосбережения на предприятиях-потребителях позволяет компенсировать эти доходы для поставщиков (табл. 2.4).

Для хозяйствующих же субъектов и в целом регионов-потребителей эта ситуация ведёт к увеличению производственных затрат, и следовательно, к снижению конкурентоспособности их продукции. Недостаточный уровень инвестиций и низкие темпы обновления оборудования в отраслях ТЭК несут угрозу стабильной работе предприятий ТЭК, что не может не сказаться на потребителях энергии. Перечисленные угрозы проявляются в полной мере в условиях гипотетического разрушения каналов связи между регионами.

Таблица 2.4

Угрозы энергетической безопасности и их последствия

№	Угрозы ЭнБ	Угрозы стабильной работе предприятий ТЭК	Угрозы для хозяйствующих субъектов
1	Неопределённость запасов углеводородного сырья	(-) Потенциальная необходимость дополнительных инвестиций в разработку новых месторождений	(-) Угроза недопоставок энергоресурсов необходимого качества и доступной цены
2	Дискриминационные действия на внешних рынках по отношению к экспортируемым товарам ТЭК	(-) Снижение доходов от внешнеэкономической деятельности (±) Переориентация сбыта на внутренний рынок	(+) Снижение цен на энергоресурсы на внутреннем рынке
3	Высокий уровень монополизма в ТЭК	(-) Отсутствие стимулов оптимизировать издержки	(-) Высокий уровень цен на энергоресурсы (-)Отсутствие выбора поставщиков энергоресурсов
4	Нерациональное использование существующих запасов	(-) Фиксация технологического отставания отечественного ТЭК (-) Стимулирование сокращения запасов углеводородов	(-) В стратегическом плане – сокращение времени возможного использования энергоресурсов
5	Высокая энергоемкость ВВП, низкие темпы энергосбережения в стране	(+) Рост доходов предприятий ТЭК от продаж на внутреннем рынке (-) Большие потери тепла при его транспортировке	(-) Высокие затраты производства
6	Недостаточный уровень инвестиций и низкие темпы обновления оборудования в отраслях ТЭК	(-) Технологическое отставание, рост затрат	(-) Рост цен на энергоресурсы
7	Угроза выхода из строя трубопроводов и ЛЭП	(-) Угроза невыполнения контрактных обязательств и получения запланированных доходов	(-) Угроза недопоставок энергоресурсов

В табл. 2.4 помимо перечня угроз показан методический принцип сопоставления угроз и последствий от их наступления для стабильной работы ТЭК, и как последующий этап – стабильной работы хозяйствующих субъектов. Знаком (-) в таблице обозначены негативные последствия от наступления угроз, знаком (+) положительные, и знаком (±) нейтральные.

Абстрагируясь от объемного перечня угроз ЭнБ и всей сложности их взаимовлияния, далее рассмотрены ключевые факторы обозначенной выше цели ЭнБ – обеспечения обоснованных потребностей потребителей в энергии.

Моделирование реакции сети энергоснабжения на угрозы технологического типа

При решении задачи обеспечения потребителей некоторым однородным энергоресурсом главным вопросом является обеспечение адекватной реакции сети на угрозы технологического типа. В качестве условия обозначим, что имеется сеть связей, обеспечивающая потребителей энергоресурсом, производимым поставщиками. Множество потребителей будем обозначать через N, множество поставщиков – через M. Объемы потребления $b_j, j \in N,$ и производства $a_i, i \in M,$ известны. При этом выполняется условие баланса (2.10):

$$\sum_{i \in M} a_i = \sum_{j \in N} b_j \,. \qquad (2.10)$$

Данную сеть удобно представлять в виде ориентированного графа с множеством вершин $M \cup N$ и множеством дуг $EG = \{ij \mid i \in M \cup N,\, j \in N\}$. Этот граф будем обозначать буквой G. При этом все вершины из M имеют только исходящие дуги, ориентации дуг между вершинами из N определяются направлениями потоков энергоресурса по сети G. Пропускные способности дуг сети будем считать достаточными для потока любой величины. Пусть $x_{ij} \geq 0$ – поток энергоресурса, идущий по дуге

$ij \in EG$. В силу имеющегося условия баланса данная сеть G должна удовлетворять уравнениям баланса (2.11), (2.12):

$$\sum_{j|ij \in EG} x_{ij} = a_i, \; i \in M, \tag{2.11}$$

$$\sum_{i|ij \in EG} x_{ij} = b_j + \sum_{i|ji \in EG} x_{ji}, \; j \in N, \tag{2.12}$$

В данной работе рассмотрена угроза *резкого уменьшения объема производства (вплоть до нуля) у поставщика*. Назовем ее «угроза поставщику». Для математического описания этой ситуации введем параметры $p_i, i \in M$, характеризующие вероятность реализации угрозы для пункта производства $i \in M$. При этом данный параметр можно понимать так, что после реализации угрозы объем производства в пункте $i \in M$ стал равным $(1 - p_i)a_i$.

Возможны и другие типы угроз. Например, нарушение какого-либо существующего канала связи в сети G. В этом случае объемы производства энергоресурса не меняются, однако в графе G исчезает дуга. Но тогда в пункте производства, являющемся началом пути, содержащего ликвидированную дугу, возникает избыток ресурса, а во всех пунктах потребления, лежащих на этом пути после концевой вершины удаленной дуги, возникает нехватка ресурса.

В качестве реакции на угрозу поставщику предлагается ввести новую группу объектов – пункты резервного хранения энергоресурса. Множество пунктов резервного хранения обозначим через T. Будем полагать, что места расположения резервных пунктов хранения определены априори. Кроме того, через f_{sj}, $s \in T, j \in N$, будем обозначать веса связей между пунктами резервного хранения и потребителями.

В целом пункт резервного хранения отличается от пункта производства тем, что последний осуществляет непрерывную поставку энергоресурса, а пункт резервного хранения поставляет

ресурс только в период ликвидации последствий реализованной угрозы. Иначе говоря, если «поломка» пункта производства или связи не будет устранена в заданное время, то запас энергоресурса в пункте хранения может иссякнуть, и данный пункт резервного хранения перестает быть таковым, исчезает.

Назначение пунктов резервного хранения заключается в том, что в случае нехватки энергоресурса у потребителя мы имеем мгновенную возможность восполнения на определенное время этой нехватки из пункта резервного хранения.

Далее построена математическая модель, позволяющая решать следующие задачи при реализации рассматриваемой угрозы. Во-первых, не модифицировать имеющуюся сеть G, полностью использовать ее возможности, иметь затраты только на установление дополнительных связей между пунктами резервного хранения и потребителями. Во-вторых, определить объемы ресурса, которые должны быть в пунктах резервного хранения для адекватной реакции на угрозы. В-третьих, минимизировать стоимость дополнительных связей между пунктами резервного хранения и потребителями.

Пусть реализована угроза поставщику. При этом, как уже было отмечено, объемы производства в пунктах $i \in M$ стали равными $(1-p_i)a_i$. Если угроза не затронула пункт i, то $p_i = 0$, если разрушила полностью, то $p_i = 1$. При этом величины x_{ij} потоков, идущих по каналам связи в сети G, изменятся.

Для удобства обозначений введем в рассмотрение полный двудольный ориентированный граф H с долями T и N. Множество дуг графа H обозначим через EH, они ориентированы из T в N.

Введем в рассмотрение величины, которые нужно будет определить:

u_s – объем ресурса, хранящийся в пункте резервного хранения $s \in T$;

y_{ij} – поток по дуге $ij \in EH \cup EG$ после ввода в действие пунктов резервного хранения.

После ввода в действие пунктов резервного хранения наша сеть расширяется: к сети G полностью или частично добавляется сеть H. Поток ресурса в сети $G \cup H$ будет теперь являться суммой двух потоков – x и y. Поток $x = (x_{ij}, ij \in EG)$ это та часть ресурса, которая исходит от поставщиков, поток $y = (\mathrm{y}_{ij}, ij \in EH \cup EG)$ – из пунктов резервного хранения. Иными словами, пункты резервного хранения начинают играть роль поставщиков. Отметим, что после реализации угрозы значения потока x будут отличаться от первоначальных, так как суммарный объем поставляемого из пунктов производства ресурса уменьшится и станет равным $\sum_{i \in M}(1 - p_i)a_i < \sum_{j \in N} b_j$. Отсюда сразу получается суммарный объем ресурса, должного храниться в пунктах резервного хранения (2.13):

$$\sum_{s \in T} u_s = \sum_{i \in M} p_i a_i . \qquad (2.13)$$

Соответственно изменятся уравнения баланса. Поток ресурса, исходящий от поставщиков будет отвечать системе уравнений (2.14):

$$\sum_{j | ij \in EG} x_{ij} = (1 - p_i)a_i , \; i \in M , \qquad (2.14)$$

а поток, исходящий пунктов резервного хранения – системе уравнений (2.15):

$$\sum_{j \in N} y_{sj} = u_s , \; s \in T , \qquad (2.15)$$

Системы (2.14) и (2.15) в совокупности являются аналогами системы (2.11). Аналогом системы (2.12) станет система уравнений (2.16):

$$\sum_{i \in M | ij \in EG} x_{ij} + \sum_{s \in T} y_{sj} + \sum_{i \in N | ij \in EG} (x_{ij} + y_{ij}) = b_j + \sum_{i | ji \in EG} (x_{ji} + y_{ji}) , \; j \in N . \qquad (2.16)$$

Действительно, первый блок слагаемых в левой части описывает количество ресурса, поступающего потребителю от поставщика, второй блок слагаемых – ресурс, поступающий из пункта резервного хранения, слагаемое вида $(x_{ij} + y_{ij})$ описывает суммарный поток, идущий по каналу связи между потребителями в исходной сети G.

Для минимизации затрат на связи между пунктами резервного хранения и потребителями построим целевую функцию, которую затем нужно будет добавить к модели (2.13)–(2.16). Определим булевы переменные z_{sj}, $sj \in EH$, следующим образом: $z_{sj} = 1$, если по дуге sj в сети H есть поток энергоресурса; $z_{sj} = 0$, если по дуге sj потока нет. Тогда гарантировать то, что при наличии потока по дуге sj переменная z_{sj} примет значение 1, можно с помощью ограничений (2.17):

$$y_{sj} \le Kz_{sj},\ z_{sj} \in \{0,1\},\ sj \in EH, \tag{2.17}$$

где $K = \max\{b_j, j \in N\}$. Теперь, вспомнив, что f_{sj}, $sj \in EH$, получаем целевую функцию модели (2.18):

$$R(z) = \sum_{s \in EH} f_{sj} z_{sj} \to \min \tag{2.18}$$

Таким образом, ограничения (2.13)–(2.17) вместе с целевой функцией (2.18) дают модель частично-целочисленного линейного программирования, минимизирующую затраты на построение дополнительных связей между пунктами резервного хранения энергоресурса и потребителями. Пусть $(\overline{z}, \overline{u}, \overline{x}, \overline{y})$ – решение задачи (2.13)–(2.18). Практическая интерпретация полученных значений переменных такова. Канал связи между пунктом резервного хранения s и потребителем j устанавливается тогда и только

тогда, когда $\overline{z}_{sj} = 1$. Количество ресурса, идущего по этому каналу, равно $\overline{y}_{sj}$. Соответственно, в силу ограничений (2.15), $\overline{u}_s$ есть количество ресурса, должного находиться в пункте резервного хранения s.

Подводя итоги, отметим, что проблематика энергетической безопасности исследована в специализированной литературе довольно широко. Однако во многих публикациях угрозы ЭнБ неструктурированны, что вызывает встречные вопросы. Предложенные авторами формулировки цели, задач, объекта, предмета и субъектов ЭнБ позволили сформировать методические основы систематизации угроз ЭнБ, учитывающие субъекты энергетической безопасности и последствия от наступления угроз. Среди существенных угроз ЭнБ была обозначена угроза резкого уменьшения производства энергоресурсов и предложена математическая модель, позволяющая рассчитать необходимый запас энергоресурса в пунктах резервного хранения и определить сеть дополнительных каналовсвязи, а также минимизировать затраты на построение сети дополнительных каналов. Наиболее тонким местом модели являются параметры p_i, которые носят вероятностный характер и требуют экспертного подхода для их определения.