УДК 620.311

МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Быкова Е.В.

Институт энергетики АН Молдовы, Кишинев, Молдова

Грант FCFB по совместному проекту 08.820.16BF «Научные основы анализа и мониторинга энергетической безопасности Молдовы и Беларуси и разработка практических рекомендаций по ее повышению».

АННОТАЦИЯ

В статье описана методология исследования энергетической безопасности, математический аппарат, используемый для анализа взаимосвязей индикаторов, описывающих состояние и функционирование энергетической отрасли, и возможности специального вычислительного комплекса, разработанного для анализа уровня энергетической безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянный рост потребности в энергетических ресурсах вывел энергетическую отрасль на ключевые позиции для развития экономики, в связи с чем возрос интерес к вопросам энергетической безопасности.

Под *энергетической безопасностью* понимают состояние защищенности страны (региона), ее граждан, общества, государства и экономики от угрозы дефицита в обеспечении потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) приемлемого качества в нормальных условиях и в чрезвычайных обстоятельствах, а также от угрозы нарушения стабильности топливо- и энергоснабжения,[1-3].

Энергетическая безопасность как составляющаяся входит в экономическую безопасность, наряду с другими видами безопасности, такими как демографическая, информационная, правовая, продовольственная и т.д.

Экономическая безопасность, в свою очередь, является составляющей экологической безопасности, которая охватывает всю среду обитания человека и включает атмосферу, литосферу, гидросферу и самого человека как индивида.

В связи с необходимостью оценки вклада энергетической составляющей в экономической безопасности и в экологической безопасности, в проводимых исследованиях выделены три направления – энергетической безопасности (основное), экономической и экологической (как дополнительные),[4].

Основной *целью* проводимых исследований является создание математической базы для анализа и мониторинга энергетической безопасности и предупреждения угроз, рисков в энергетике, вызываемых различными внутренними и внешними факторами и реализация в виде компьтерного комплекса.

Понятие энергетической безопасности имеет комплексную структуру, которая охватывает не только технические вопросы безопасного функционирования энергетики, но и учитывает различные экономические и социальные факторы, имеющие отношение к энергетике.

СОСТОЯНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Исследования в области энергетической безопасности проводятся в разных странах. Работы были начаты российскими учеными. Подход к проблеме – комплексный: энергетика с технической, экологической и финансово-экономической стороны, с учетом социальных аспектов, и как составляющая экономической безопасности. Расчеты состояний проводятся различными методами, результаты которых сравниваются и анализируются. Они изложены в ряде монографий и публикаций, в том числе [1-3]. В основе исследований – индикативный анализ, однако для изучения отдельных вопросов применяется и дискриминантный, нейросетевой анализ, де-

лаются попытки использовать теорию нечетких множеств, метод секущих плоскостей. Активно используются методы корреляционного, регрессионного анализа.

На Украине также начаты работы в данной области в нескольких научных коллективах.

Проводятся исследования в области энергетической безопасности в Беларуси, на основе которых была подготовлена и стала действующим документом - Концепция энергетической безопасности страны.

В странах ЕС уделяется значительное внимание данным вопросам. Ежегодно публикуются доклады с отражением результатов анализа топливообеспечения стран, внедрения новых эффективных технологий в энергетике, развития законодательной базы и др.

В Молдове исследование вопросов энергетической безопасности проводится уже несколько лет, наработаны определенные методические подходы, которые изложены в данной статье

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выполнение мониторинга состояния энергетической безопасности осуществляется с помощью индикативного анализа, реализованного в специальном новом разработанном вычислительном комплексе. Для выполнения работы с его помощью необходим ряд действий:

1) Формирование цели исследования и выбор объекта, в качестве которого может выступать ТЭК страны, энергетическая отрасль, отдельные энергетические сектора (электроэнергетика, теплоэнергетика, топливные отрасли: угольная, газовая, нефтяная и т.п.), отдельные предприятия. Также возможен анализ другой классификации, например, по территориальному признаку – регион, область, район, населенный пункт;

2) Формирование системы индикаторов (индикатор – это носитель информации; для его расчета может использоваться один или несколько первичных показателей);

3) Определение источников данных;

4) Создание базы данных первичных показателей для расчета значений индикаторов и для ретроспективного обзора его изменения;

5) Определение пороговых величин индикаторов. Под пороговыми понимают значения индикаторов, превышение которых означает переход в кризисное состояние. В связи с этим для каждого индикатора строится шкала, разделенная на 2 части – нормальное и кризисное состояние. Такая шкала носит качественный характер. Каждому интервалу присвоен балл (нарастает по мере утяжеления состояния – равномерная шкала), что позволяет для всей системы индикаторов находить общую оценку, тем самым определяя итоговый уровень энергетической безопасности объекта.

Для удобства анализа и детализации рисков шкала еще разделена на дополнительные интервалы, а именно: зона предкризисного состояния - на 3 равные части, зона кризисного состояния - на несколько интервалов с применением коэффициентов утяжеления 1,2; 1,4; 1,6, [1]. Каждому интервалу присвоено название и балл (состояния от 1 до 8).

При *нормальном* уровне энергетической безопасности необходимо осуществлять плановые мероприятия по поддержанию работоспособности ТЭК.

При *предкризисном* необходимы меры по упреждению развития угроз (рисков), т.е. меры предупреждающего характера.

При *кризисном* необходимы срочные меры по возврату к нормальному состоянию кризисных индикаторов и меры, которые в дальнейшем не допустят возникновение подобных ситуаций, т.е. меры ликвидационного характера. Таким образом, необходим комплекс мероприятий для обеспечения энергетической безопасности.

С помощью вычислительного комплекса можно выполнить:

1) Расчет значений индикаторов, сравнение фактических значений каждого индикатора за текущий год с пороговыми значениями, определение интервала по шкале кризисности, построение динамики его изменения с учетом ретроспективы, построение регрессионного тренда для краткосрочного прогноза состояния на 1-2 точки вперед.

2) Расчет общей итоговой балльной оценки по всей системе индикаторов и определение уровня энергетической безопасности объекта в целом.

3) Построение итоговой кривой мониторинга уровня энергетической безопасности с учетом ретроспективы и добавлением текущей точки состояния за год „t”.

© Быкова Е.В.

4) Выявление наиболее кризисных индикаторов и степени их влияния на общую ситуацию методом скаляризации, множественной регрессии;

5) Прогноз состояния на краткосрочную перспективу с помощью специального модуля «Прогноз»;

6) Моделирование сценариев с помощью специального модуля «Сценарии», который позволяет выполнять расчет сразу для ряда вариантов угроз;

7) Аналитические обзоры на основе базы данных.

После получения итоговых оценок уровня энергетической безопасности возможно проведние дальнейших этапов:

1) Формирование комплекса мероприятий по обеспечению энергетической безопасности на основе проведенного анализа;

2) Анализ вклада энергетики в формирование угроз для экономической безопасности и экологической безопасности. Для его выполнения необходима предварительная работа по определению уровня экономической безопасности за текущий год с учетом ретроспективы по аналогичной методологии и значений индикаторов экологической безопасности (для них пока не разработаны пороговые значения в полном объеме и нет возможности определить общий уровень состояния экологической безопасности)-приложения «Экономическая безопасность» и «Экологическая безопасность»,[5].

СИСТЕМЫ ИНДИКАТОРОВ

В вычислительном комплексе для каждого вида безопасности используются системы индикаторов, которые рассчитываются на основе информации из единой базы данных.

На текущий момент сформированная система индикаторов энергетической безопасности включает 46 индикаторов, которые объединены в 10 блоков. Индикаторы отражают состояние каждого сектора энергетики (топливного, электроэнергетического, теплоэнергетического) и аспектов экономического, социального, финансового и др. характера, которые присутствуют в энергетике как отрасли экономики.

Для анализа экономической безопасности использованы инждикаторы (30), отражающие основные макроэкономические показатели и разделенные по 12 сферам.

Получаемая оценка общего уровня экономической безопасности носит предварительный характер ввиду того, что анализ экономической безопасности представляет собой отдельную большую область исследования и должен выполняться более детально и для данной работы носит неосновной характер.

Система индикаторов для анализа экологической безопасности отражает состояние литосферы, гидросферы, атмосферы при выбросах от энергетических источников и состояние здоровья населения.

Во всех трех системах имеются несколько повторяющихся индикаторов. Такое дублирование необходимо для возможности выполнения анализа каждого вида безопасности автономно.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БАЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Корреляционный анализ предполагает расчет парных, частных, совокупных коэффициентов корреляции. Наиболее распространенным является парный коэффициент корреляции, определяемый в диапазоне [-1;1]. В проводимом анализе он позволяет найти взаимосвязанные индикаторы, а также определить тесноту взаимосвязи.

В вычислительном комплексе, который реализован в Excel, использованы возможности этой программы для проведения корреляционного анализа, построены таблицы корреляционных коэффициентов, которые определили группы индикаторов с сильной(>0,7), средней (0,3-0,7) и слабой корреляционной связью(<0,3). Это позволило выделить группу ключевых индикаторов.

Регрессионный анализ проводится для построения описывающих кривых для фактических значений (точек) индикаторов с учетом ретроспективы и для построения прогноза на 1-2 точки вперед. Выбор вида функции наилучшего приближения для каждого индикатора определяется экспертным способом.

Использование аппарата множественной регрессии позволяет определить влияние нескольких факторов на результирующий показатель. В качестве результирующих рассма-

триваются ключевые индикаторы. В качестве факторов рассматриваются индикаторы в блоках или взаимосвязанные индикаторы, определенные на основе корреляционного анализа.

Аппарат множественной регрессии реализован в программе Excel с использованием результатов расчетов систем уравнений из программы Matcad. Алгоритм проведения вычислений для нахождения уравнения множественной регрессии принят в классическом варианте и основывается на матрице рядов исходных данных, вычисления ряда статистических величин (среднее отклонение и др.), вычисления корней алгебраического уравнения со стандартизированными коэффициентами.

Для взаимосвязанных в группы по три элемента индикаторов возможно построение описывающих поверхностей (с помощью программы Matcad). Для анализа таких групп можно использовать только те индикаторы, для которых наилучшей описывающей кривой является полиноминальная. Большая часть индикаторов описывается нелинейно.

Метод скаляризации позволяет оценить степень влияния каждого индикатора на ситуацию в блоке и определяет наиболее «важные» индикаторы, требующие немедленного реагирования на их изменения по следующему алгоритму:

- Определение R экспертами ранга Rir каждого индикатора **i** в блоке **k** из полного числа индикаторов **m**;
- Определение значимости **Cir** каждого индикатора **i** в блоке **k**;
- Вычисление веса индикатора **ві** (коэффициента скаляризации) как среднего весовых коэффициентов;
- Определение взвешенной оценки каждого индикатора путем умножения его нормализованного значения на вычисленное значение веса **ві** ;
- Определение суммарной взвешенной нормализованной оценки **Ссв** блока **к**, которая вычисляется как сумма взвешенных оценок для каждого года.

6.Вклад каждого индикатора в кризисность состояния определяется как доля в суммарной взвешенной оценке.

По данному алгоритму был определен вклад каждого индикатора в создание угроз .

Для примера, для блока, отражающего производство электро- и теплоэнергии, получены следующие результаты: 1) Влияние индикатора выработки электроэнергии - 10-12%; 2) Влияние индикатора по выработке теплоэнергии централизованными источниками – 27-15% (снизилось в последние годы); 3) Влияние индикатора «доля выработки энергии собственными источниками» сохранилось примерно на одном уровне 9-11%; 4)Влияние индикатора «доля наиболее крупной электростанции в общей установленной мощности» - 12-15%;5) Влияние индикатора величины технических потерь электроэнергии в высоковольтных электрических сетях - 1-2%.

Мероприятиями по улучшению состояния наиболее влияющих индикаторов являются развитие источников генерации комбинированного типа для увеличения производства по приоритету тепловой составляющей, что также решает проблему снижения концентрации производства на одном крупном источнике. Иными словами, диверсификация источников позволяет устранить имеющие место угрозы.

Метод интегральной оценки уровня энергетической безопасности использует общую формулу определения средней оценки состояния по всей системе индикаторов энергетической безопасности:

$$\mathbf{X_{инт}} = \Sigma(\Sigma X_{ij}/ n_j)/N_i \quad (1)$$

где $X_{инт}$- общая итоговая интегральная оценка (балл) состояния всей системы индикаторов;

X_{ij}- индикатор j блока i ;

n_j- число индикаторов в блоке;

N_i- число блоков .

Достоинством данной формулы является учет всех индикаторов в равной степени, недостатком - сглаживание « резко вылетающих» амплитуд индикаторов (например, финансовых задолженностей) и возможный неучет остроты угроз, о которых сигнализируют такие значения индикаторов.

Из определения энергетической безопасности следует, что приоритетными являются следующие факторы:

-обеспечение ТЭР согласно потребности;

-экономическая доступность ТЭР;

-качество ТЭР;

- бесперебойность поставок ТЭР.

Средняя оценка состояния недостаточно отражает степень доступа населения к приобретению разных видов энергии. Для учета этого фактора приведенная выше формула усовершенствована путем введения дополнительных коэффициентов обеспеченности.

Для пояснения рассмотрим понятия «*нормальная*» ситуация, «*чрезвычайная*» ситуа-

ция, ситуация «*с ограничениями энергоснабжения*».

Под *нормальной* понимается ситуация, при которой потребление энергии в стране находится на уровне многолетнего среднего без недоотпуска потребителям, за исключением случаев аварий.

Под *чрезвычайной* понимается ситуация, при которой потребление энергии в стране внезапно ограничено вследствие стихийного бедствия или аварии и может быть восстановлено до нормального уровня в течение достаточно короткого времени (день, несколько дней).

Под ситуацией *с ограничением энергоснабжения* понимается ситуация, в которой принудительно и на продолжительный период ограничивается потребление электроэнергии или топлива на определенную величину, отличающуюся от уровня многолетнего среднего. При этом имеет место недоотпуск электроэнергии (топлива) потребителям, которые вынужденно не имеют возможности сохранить тот уровень жизни, который у них был при *нормальной* ситуации с энергообеспечением.

Ситуацию с *нормальным* среднемноголетним энергообеспечением можно оценить через коэффициент **к**=1; ситуация *чрезвычайного* характера оценивается по шкале, все пороги которой составляют 30% от порогов нормальной ситуации, что определяет **к**=0,3, [1]; ситуация *с ограничением энергообеспечения* может быть описана интервалом (0,3-1) и **к**=0,9, 0,8,0,7-..0,3.

Степень доступа к каждому виду энергии выражена (электро- и теплоэнергия, топливо) через коэффициенты $\mathbf{к}_т$ и $\mathbf{к}_{ээ}$, $\mathbf{к}_{тэ}$. Каждый их них может быть ограничен по отдельности, общее их влияние на энергообеспечение является произведением $\mathbf{к} = \mathbf{к}_т * \mathbf{к}_{ээ} * \mathbf{к}_{тэ}$.

Общая формула расчета с учетом описанных коэффициентов примет вид:

$$\mathbf{X}_{инт} = \mathbf{к}_т * \mathbf{к}_{ээ} * \mathbf{к}_{тэ} * \Sigma(\Sigma X_{ij} / n_j)/N_i, \quad (2)$$

Данная формула используется в расчете итоговых оценок как текущего состояния, так и в сценариях угроз.

Все описанные и проводимые виды анализа позволяют корректировать мероприятия по обеспечению энергетической безопасности, выявлять, выделять наиболее целесообразные направления для инвестиционных потоков.

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

Для расчета значений индикаторов требуется большое число исходных показателей. Часть показателей носит общий характер и используется для расчета индикаторов безопасности всех видов – это численность населения, курс валют, величины ВВП и некоторые другие. Другие показатели систематизированы по секторам, которые они отражают – электроэнергетика, теплоэнергетика, топливо, инвестиции и т.д. Источниками данных являются официальные статистические данные, опубликованные Национальным Бюро Статистики (НБС) (статистические ежегодники, топливно-энергетические балансы, статистические бюллетени, данные по переписи населения и др.), балансы по электроэнергии. Также используется информация, публикуемая на сайтах предприятий энергетики, годовые официальные отчеты, публикуемые предприятиями энергетики и другие источники.

Трудности, которые имеют место при сборе и подготовки исходных показателей для пополнения базы данных:

− большое запоздание выпуска статистических изданий (полгода и более);

− расхождение в показателях по опубликованным источникам, даже выпущенных одним и тем же органом (например. НБС).;

− изменение форм отчетности, публикуемых НБС с ухудшением информативности и полноты показателей (исчезновение строк, разделов, целых таблиц), которые затрудняют работу над расчетом значений индикаторов, т.е. сужение допуска к информации;

− использование ежегодно разных коэффициентов, например, при пересчете количеств топлива из натуральных единиц в энергетические, хотя инструкция самого НБС устанавливает фиксированные значения этих коэффициентов;

− попадание в международные источники показателей по ТЭК Молдовы, которые не совпадают с национальными, что вызывает путаницу и снижение достоверности информации по ТЭК, что может приводить к принятию неверных решений или неверной аргументации;

Систематизация и накопление, пополнение показателей по энергетике и связанных с энергетикой экономических, фин-

вестиционных, социальных показателей осуществляется в базах данных Excel и Access.

База данных Excel используется для последующего расчета значений индикаторов, их пороговых величин, интегральной оценки, построения трендов ; база данных Access нужна для выполнения других анализов и обзоров по мере необходимости и предназначена для выборок и запросов из основных таблиц, которых на текущий момент подготовлено более 150. Базы Excel и Access имеют один и тот же объем показателей.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА И МОНИТОРИНГА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вычислительный комплекс, описанный выше, позволяет выполнять:

1) анализ и мониторинг индикаторов энергетической безопасности и ее общего уровня (основная часть);

2) анализ и мониторинг индикаторов экономической безопасности (приложение «Экономическая безопасность»);

3) анализ и мониторинг индикаторов экологической безопасности (приложение «Экологическая безопасность»);

4) прогнозирование значений на кратковременный период, для чего в комплексе предусмотрено приложение «Прогноз», реализованное в Excel VBA;

5) выполнять моделирование угроз (приложение «Сценарии»).

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С помощью вышеописанной методологии ежегодно выполняется мониторинг уровня энергетической безопасности. На текущий момент период охвата составляет 20 лет. На рис.1. приведена диаграмма итоговых уровней состояния для каждого года периода 1990-2012 г. Общая тенденция - ухудшение состояния и приближение к кризисной границе. Нарастание кризисности имело место с 2,69 балла (предкризисное начальное состояние) до 4,68 балла (предкризисное критическое). Выявленные тенденции свидетельствуют о недостаточном вложении финансовых средств в энергетическую отрасль для ее своевременного поддержания и развития, нарастанию рисков внутреннего характера, и необходимости предупреждения рисков внешнего характера .

Также производятся расчеты значений индикаторов экономической и экологической безопасности с построением трендов их изменения, выявление наиболее кризисных индикаторов и выполняются другие доступные процедуры и виды анализа.

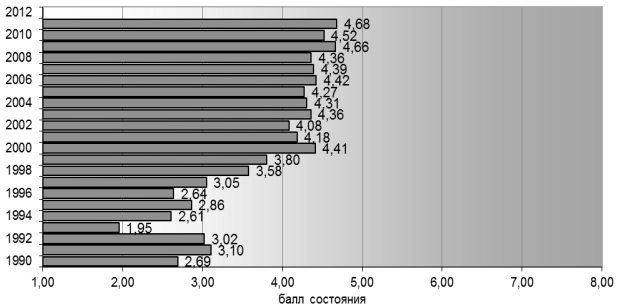

Рис.1 Итоговый уровень энергетической безопасности для 1990-2012 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ

Приложение «Сценарии» предназначено для расчета уровня энергетической безопасности при реализации угроз в действительности. Эти расчеты выполняются с целью показать, каков будет при этом уровень энергетической безопасности и насколько сложной при этом будет ситуация в энергетике и экономике. Данное приложение включает группы таблиц с дополнительными исходными данными, которые изменяются при сценариях, и позволяют рассчитать итоговый уровень энергетической безопасности при каждом сценарии. Итоговый график включает фактический уровень энергетической безопасности за каждый год предыдущего периода, контрольную точку (например, 2007 г.) и значения итогового уровня энергетической безопасности при каждом сценарии. На текущий момент рассмотрены 8 групп сценариев.

© Быкова Е.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная в работе методология используется для анализа энергетической безопасности Молдовы для системы из 46 индикаторов, мониторинг состояния которых выполняется ежегодно с добавлением в общую базу текущего года Реализация осуществлена в разработанном вычислительном комплексе. Он объединяет исходную информацию и расчетную часть на базе ряда математических моделей. Данный комплекс позволяет выполнять анализ и мониторинг в ретроспективном периоде, определять взаимосвязи индикаторов, прогнозировать значения индикаторов, выполнять моделирование сценариев развития ситуации в энергетике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отраслевые и региональные проблемы формирования энергетической безопасности. Коллектив авторов / под ред. А.А.Куклина и А.Л.Мызина. Институт экономики УрО РАН Екатеринбург, 2008- 384 с.
2. Экономическая безопасность. / Под ред. В.К.Сенчагова.М..ЗАО «Финстатинформ»,1998- 622 с.
3. Энергетическая безопасностть России: проблемы и пути решения. Н.И. Пяткова и др.Новосибирск. Из-во СО РАН, 2011- 198с.
4. Е.В.Быкова. Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности (на примере энергосистемы Молдовы). Монография, Кишинев, Типография АН РМ, 2005- 158 с. Серия «Энергетическая безопасность», книга №2.
5. Bykova E.V. THE PROBLEM OF ENERGY SECURITY BY THE EXAMPLE OF REPUBLIC MOLDOVA. Integrating science and technology for a sustainable and secure future: energy, environment, informatics and human health SSF-2008 15-18 May 2008 - Minsk, Belarus, *A.v.Humboldt Kolleg, p. 16-18.*