

УДК 004.413.4:556.3.06
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-2-42-66>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2023

Методические аспекты анализа риска недостижения цели при формировании среднесрочных прогнозов развития структурно сложных систем

Бочков А. В. *

НИИАС,
107078, Россия, г. Москва,
Орликов пер., д. 5, стр. 1

Сафонов В. С.,

Газпром ВНИИГАЗ,
142717, Россия, Московская
обл., пос. Развилка,
ул. Газовиков, владение 15

Аннотация

Традиционные модели прогноза поведения рынков и экономик (относящихся к классу целеустремленных структурно сложных систем) чаще всего основаны на анализе существующего и ретроспективного баланса добычи ресурса мировыми экспортерами и потребления ресурса импортерами с учетом прогнозов развития их промышленного производства и энергетики. Наличие долгосрочных ретроспективных данных дает возможность использовать производственные функции или многофакторные регрессионные модели и на их базе строить краткосрочный прогноз. Поскольку с расширением горизонта прогнозирования растет неопределенность, точность прогнозов снижается. Коридор допустимых значений в модели прогноза определяется в итоге степенью вариативности ретроспективного временного ряда, использованного для построения модели. Последняя, в свою очередь, зависит от темпов прироста (снижения) спроса/потребления в прошлом. Для целей моделирования нередко сглаживаются максимальные выбросы в данных, что приводит к ситуации, когда модель строит прогноз, по сути, на отличном от исходного временном ряду, а значит, становится неспособной предсказать приближение кризиса. Предлагаемый авторами подход берет за основу действительное (или декларируемое) значение максимальной и минимальной вариативности прогнозируемых показателей, которые определяют коридор прогнозирования на заданном для достижения целевого состояния показателей временном промежутке. Таким образом, оценивается не точечное значение, а возможность его достижения в границах коридора допустимых значений и существующего качества развивающейся системы.

Ключевые слова: прогнозирование; риск; проактивный прогноз; реактивный прогноз; мониторинг; целеустремленная система; верификация прогноза.

Для цитирования: Бочков А. В., Сафонов В. С. Методические аспекты анализа риска недостижения цели при формировании среднесрочных прогнозов развития структурно сложных систем // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 2. С. 42—66, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-2-42-66>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Methodical Aspects of Risk Analysis of Target Underachievement in Forming the Mid-Term Forecasts of Development of Structurally Complex Systems

Alexander V. Bochkov*,

NIIAS,
Orlikov pereulok, 5, bldg 1,
Moscow, 107078, Russia

Vladimir S. Safonov,

Gazprom VNIIGAZ,
Gazovikov str., possession 15,
Razvilka, Moscow reg., 142717,
Russia

Abstract

Traditional models of forecasting market and economic behaviour (belonging to the class of purposeful structural-complex systems) are based in most cases on the analysis of the existing and retrospective balance of resource extraction by world exporters and resource consumption by importers, considering the development forecasts of their industrial production and power engineering. The availability of long-term back data makes it possible to use production functions or multi-factor regression models to make short-term forecasts. As uncertainty increases with the length of the forecast horizon, the accuracy of the forecasts decreases. The corridor of acceptable values in the forecasting model is therefore determined by the degree of variability of the backward time series used to build the model. The latter in turn depends on the growth (decline) of demand/consumption in the past. For modelling, the maximum discrepancies in the data are often smoothed out, which leads to a situation where the model makes a forecast on the basis of a time series that differs from the initial one, and therefore it is unable to predict the approaching crisis. The approach proposed by the authors is based on the actual (or declared) value of the maximum and minimum variability of the forecast indicators, which defines a forecast corridor in each time interval set for reaching the target state of the indicators. Thus, it is not a point value that is assessed, but its achievability within the corridor of admissible values and the existing quality of the developing system.

Keywords: forecasting; risk; proactive forecast; reactive forecast; monitoring; goal-oriented system; forecast verification.

For citation: Bochkov A. V., Safonov V. S. Methodical aspects of risk analysis of target underachievement in forming the mid-term forecasts of development of structurally complex systems // *Issues of Risk Analysis*. 2023;20(2):42-66, (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-2-42-66>

The author declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Краткий обзор существующих прогнозных моделей
2. Оценка точности прогнозирования
3. О методе оценки трудности достижения цели
4. Примеры практического применения метода

Заключение

Литература

Введение

Последняя четверть XX в. ознаменовалась усилением внимания научной общественности к долгосрочным социально-экономическим и научно-техническим прогнозам. Этому в немалой степени способствовали серьезные экономические и энергетические проблемы, обострившиеся в 1970-е гг., а также осознание грядущих ресурсных и экологических угроз. Энергетические прогнозы, отражающие различные точки зрения на будущее энергетики, появляются в последнее время достаточно часто. Они имеют разную методологическую и статистическую базу, разные цели и видение технологического будущего энергетики, масштабов и динамики развития и направлены на удовлетворение и согласование интересов разных субъектов экономики.

На сегодня к наиболее авторитетным аналитическим группам, предлагающим комплексный подход к объекту прогнозирования, можно отнести International Energy Agency (IEA), Energy Information Administration US (EIA) и ИНЭИ РАН, а также прогнозы сырьевых и общественных компаний и ассоциаций, таких как ОПЕК, BP Royal, Dutch Shell, ExxonMobil, Гринпис, IRENA, Goldman Sachs, Bloomberg, Delloitte. Периодически появляются отраслевые исследования, среди которых следует отметить форсайт-исследования, а также исследования и работы профильных научных организаций [1, 2].

В разных странах применяются различные системы учета энергоресурсов. Например, один из важнейших параметров — калорийность добываемого топлива — определяется по разным методикам и с разной точностью. Учет данных внутри каждой страны и их согласование для получения данных по миру в целом также являются отдельной проблемой [3]. Обычно рассматриваются показатели, характеризующие использование энергии конечными потребителями. При этом, например, Мировое энергетическое агентство (МЭА) и Министерство энергетики США (МЭ США) работают с различными характеристиками вышеупомянутого «использования». Это означает, что объективная ценность каждого из прогнозов, которые создаются в области энергопотребления различными организациями и компаниями, значительно возрастает при условии детального описания особенностей методики сбора данных, сценариев относительно

внешних переменных, а также прогнозного алгоритма. Высокая активность в области прогнозирования должна со временем привести к определенной стандартизации или, по крайней мере, унификации структуры обзоров по мировой энергетике и методики прогнозирования. Одной из компонент такой унификации, несомненно, должна быть математически корректная оценка качества прогнозной системы и получаемых с ее помощью результатов.

В современной прогностике поведения сложных социально-экономических систем предпочтение отдается регрессионным моделям разной степени сложности, дополненным базами ретроспективных данных в рассматриваемой области деятельности. Такой подход отличается простотой, позволяет строить устойчивые тренды на среднесрочную перспективу и давать прогноз, в среднем устраивающий лица, принимающие решения (ЛПР). Но такой подход и построенные на его основе модели становятся бесполезными в периоды турбулентных изменений экономики и мировой политики, что наглядно показали события последних двух лет. Модели, использующие ретроспективные данные, неспособны предугадывать кризисы. Неудивительно, что аналитики ищут альтернативу таким моделям, усложняя однажды разработанные прогнозные модели, однако сталкиваются с эффектом так называемых больших данных, когда избыток информации не позволяет осмысливать ее быстро и качественно. Поиск скрытых закономерностей в этом потоке данных не успевает за развитием негативных процессов, и нередко решение поставленных ЛПР задач запаздывает. Это во многом происходит вследствие структурной сложности моделируемых систем, наличия большого числа связей как внутри них, так и вовне. Причем связи постоянно меняются, и не всегда эти изменения оправданы и объяснимы формальной логикой развития моделируемой системы.

В то же время у любой социально-экономической системы есть предыстория развития и расширения, в течение которой эта система ставила некоторые цели и достигала (или не достигала) их за определенный промежуток времени. Эта способность характеризует «потенциал роста» системы, который достаточно консервативен и не может быть резко изменен без серьезных структурных, технологических, а нередко и общественно-полити-

ческих преобразований в самой системе. По сути — это оценка «качества» системы по отношению к поставленной цели. В итоге этот потенциал (качество) задает «коридор возможностей» для моделируемой системы, в границах которого она может достигать тех или иных целей за заданные сроки. Знание границ этого коридора позволяет оценивать риск недостижения поставленных целей моделируемой системы как на момент оценки, так и на стратегическую перспективу.

1. Краткий обзор существующих прогнозных моделей

Основной проблемой рациональной оценки качества энергетического (как, впрочем, и всякого другого) прогнозирования является формирование соответствующих критериев. Одним из возможных направлений подобной оценки является сопоставление анализируемого прогноза с каким-либо упрощенным или «модельным». Примером такого процесса является, например, регрессионный прогноз или так называемый наивный прогноз, построенный на предположении, что потребление энергии в следующем периоде будет таким же, как и в предыдущем. По мере увеличения срока прогнозирования ошибка такого прогноза, естественно, будет нарастать в среднем с темпом, определяемым среднегодовым приростом потребления на рассматриваемом промежутке времени.

Анализ показывает, что если среднеквадратичная ошибка прогноза на n лет (с первого года по i -й) при состоявшемся фактическом среднегодовом приросте потребления на этом промежутке, равном p , больше, чем $|p| \times n / \sqrt{3}$, то такой прогноз статистически не лучше «наивного», и потому его качество можно оценить как низкое. Установлено, что для случая прогнозирования потребления энергии в целом и природного газа, в частности, на период с 1994 по 2005 г. с учетом использования в качестве «эталона» фактических значений, взятых из материалов МЭ США, наилучшую в целом точность прогнозирования продемонстрировала авторегрессионная модель [4].

Большой класс моделей прогнозирования образуют методы экстраполяции. В этой группе методов можно выделить несколько подходов, имеющих свою специфику.

Индексный метод предполагает определение общего тренда в долгосрочной перспективе и не учитывает краткосрочных колебаний конъюнктуры [5]. В зависимости от задач прогнозирования такие колебания и возможные потери в реальной динамике экономического агрегата могут считаться недопустимыми.

Метод экспоненциального сглаживания подразумевает некую адаптивную процедуру, в которой прогнозная величина зависит от предыдущего прогноза и реального положения дел. Этот подход считается достаточно простым и используется обычно для формирования «черновых» прогнозов. Для более полного учета обстоятельств прогнозирования рекомендуется осуществлять так называемую декомпозицию временного ряда, выделяя три его элемента — тренд, циклическую и случайную составляющие. С этой целью используют метод Хольта, учитывающий тренд изучаемого процесса, метод Брауна (частный случай метода Хольта) и метод Винтерса, который учитывает еще и сезонную составляющую [6]. Однако все эти способы сглаживания имеют ограниченную область применения. Иногда для учета колебаний в объемах производства и потребления аналитики строят «календари» процесса, которые отражают соответствующие подъемы и спады либо на качественном, либо на количественном уровне. Модель, учитывающая колебательные особенности рынка энергетики, была, в частности, реализована в России с помощью программной платформы Deductor Studio [7].

Регрессионные модели. Наиболее ярким примером такой техники может служить подход, используемый МЭ США (US Department of Energy, DOE). В прогнозной системе этой организации внешними (экзогенными) параметрами являются показатели экономического и демографического роста по отдельным странам, которые, в свою очередь, также являются результатом прогнозирования. Эти показатели моделируются независимо от энергетического блока в разрезе регионов мира, а также мирового спроса на отдельные виды энергоресурсов. Далее на основе этих величин строится линейная зависимость между относительным приращением потребления энергии и ВВП с коэффициентом эластичности (пропорциональности) [8]. Таким образом, обычно относительно хорошо про-

гнозируемый показатель ВВП выступает в качестве «объясняющей» переменной в этой регрессии и позволяет делать прогнозные оценки в отношении энергопотребления в разрезе стран и регионов мира. Тем не менее такой подход обладает явной ущербностью в силу своей «вторичности». Согласно такой методологии, есть «первичный» прогноз ВВП, отталкиваясь от которого, формируется «вторичный» прогноз энергопотребления и производства. Ошибка в «первичном» прогнозе автоматически влечет за собой соответствующую ошибку во «вторичном» прогнозе.

Несмотря на простоту рассмотренных выше трех подходов, все даже довольно сложные прогнозные процедуры представляют собой на сегодня, как правило, их комбинацию и модификацию. Более того, все энергетические прогнозы носят сценарный характер, при этом роль базового сценария играет тот, при котором все темповые характеристики на перспективу берутся такими же, как и в ретроспективе [9]. Таким образом, для базового сценария почти во всех прогнозных системах используется индексный метод.

Главный недостаток методов экстраполяции состоит в отсутствии в них обратных связей. Для устранения этого недостатка разрабатываются сложные модели (поведенческие модели), учитывающие взаимные связи между многими переменными. С определенной степенью условности можно выделять две группы подобного рода моделей.

Нейронные сети преобразуют известный входной вектор в известный выходной вектор при заданном преобразователе, т. е. преобразование задается весами нейронной сети. Соответственно «обучить» выбранную нейронную сеть означает подобрать такие значения ее весов, чтобы она работала нужным образом. Имеется множество специальных алгоритмов по решению подобной задачи, а сама процедура моделирования рынка энергоресурсов в терминах нейронной сети в целом отработана. Однако, как показывает опыт, аппарат нейронных сетей успешно применяется для локальных энергорынков, для мирового рынка энергетики он пока не находит широкого применения. Главный недостаток нейронной сети состоит в неустойчивости весовых коэффициентов для сложных систем. Соответственно прогнозировать поведение системы на основе «старых»

весовых коэффициентов можно лишь с очень большой осторожностью.

Имитационные модели представляют собой систему функциональных связей между ключевыми переменными. Например, отрасль энергетики имеет ряд особенностей, связанных с деятельностью предприятий в условиях рыночной (конкурентной) среды. Согласно концепции М. Портера, интенсивность и состояние конкуренции, например, в электротехнической отрасли определяются совокупностью пяти сил: производитель; поставщик; потребитель; конкуренты; товары-заменители. Поведенческая модель пяти сил Портера позволяет в дальнейшем изучать возможные последствия при изменении исходного соотношения сил. В частности, оценка работоспособности методики прогнозирования на ее основе была выполнена для российского рынка электротехнических сталей [5]. Однако для глобальных энергетических прогнозов такая схема пока не применялась, по-видимому, из-за сложности учета всех агентов схемы Портера.

В целом можно констатировать, что на сегодняшний день наиболее распространенными моделями прогнозирования являются авторегрессионные модели (ARIMAX), а также нейросетевые модели (ANN). В работе [10], в частности, утверждается: «...без сомнений, модели ARIMA(X) и GARCH являются самыми популярными для прогнозирования временных рядов. В настоящее время главную конкуренцию данным моделям составляют модели на основе ANN».

Говоря о применимости той или иной модели прогнозирования, необходимо учитывать, что любая модель подразумевает ряд упрощений и, в конце концов, лишь частично отражает те процессы, для описания которых она предназначена. Кроме того, такая модель практически всегда «работает» в идеальной ситуации, подчиняющейся законам оптимального и рационального управления. В действительности (и последние годы это демонстрируют очень наглядно) все утверждения о «независимости рыночных механизмов» и «случайности» происходящих на рынках колебаний, по сути, отражают ситуацию «игры по правилам» для всех ее участников. Если же по каким-либо причинам происходит нарушение этих правил, а тем более попытка «подмены игры», в силу вступают со-

вершенно другие законы и механизмы, отличные от «законов рынка».

На краткосрочный период модели ведущих мировых прогнозных агентств показывают приемлемые результаты только в случае «нормального» развития ситуации в мире. В периоды глобального переустройства и кризисов методики, основанные на различных комбинациях балансовых, регрессионных и авторегрессионных моделей, перестают работать. В такие периоды необходимо разрабатывать иные подходы к прогнозированию процессов и явлений.

Классические методы прикладной математики не всегда пригодны для исследования крупномасштабных систем, к которым можно отнести как газовые рынки Европы и Китая, так и глобальный мировой рынок энергоносителей. Это обстоятельство вызвало интенсивное развитие новых методов (специальные виды случайных процессов, теория массового обслуживания, динамика средних, теория игр и статистических решений, теория автоматов, алгоритмическое описание процессов функционирования систем, логико-вероятностные методы анализа, нечеткая логика и т. д.). Комплексное использование этих методов дает возможность не только исследовать такие свойства крупномасштабных систем, как уязвимость, живучесть, системная надежность, но и развить аналитический аппарат, позволяющий на практике проводить расчеты показателей крупномасштабных систем. Наряду с общепринятыми аналитическими методами широкое распространение в настоящее время получают разнообразные виды моделирования, в том числе метод статистического моделирования, метод логико-вероятностного моделирования, методы моделирования систем на основе использования аналитических сетей и метода анализа иерархий.

На среднесрочный период ни в одном известном прогнозе не предсказывается возникновение существенных технологических революций ни в производстве, ни в потреблении энергии. Вместе с тем вполне реальны новые крупные технологические прорывы на базе тех технологий, которые уже внедряются в настоящее время. Технологические прорывы имеют намного меньшие последствия, чем технологические революции, но и они обеспечивают существенное расширение эконо-

мически привлекательной ресурсной базы или повышение КПД используемых технологий и ведут к кардинальным изменениям конъюнктуры рынков уже существующих энергоносителей. Имеются серьезные основания ожидать глубокую трансформацию мировой энергетики не на количественном, а на качественном уровне — за счет внедрения, в основном, новых технологий управления системами энергетики (в первую очередь на базе искусственного интеллекта).

В глобальной энергетической системе продолжатся изменения и переосмысление структуры топливно-энергетического баланса. Большинство прогнозов (в базовых сценариях) сходится в том, что в структуре производства электроэнергии происходит и будет ускоряться сдвиг в сторону энергоносителей, обеспечивающих снижение углеродных выбросов, основное место среди которых занимают возобновляемые (ветровые, солнечные) и атомные энергоресурсы, а отчасти и природный газ.

2. Оценка точности прогнозирования

В литературе на сегодня представлены некоторые показатели для оценки точности как отдельных прогнозов, так и всей прогнозной системы. Например, О. Ю. Аполонский и Ю. Н. Орлов предлагают следующую конструкцию [4].

Пусть *прогнозом* $P(k, l)$ называется сформированный в год k набор из M значений прогнозируемой величины, соответствующих некоторым годам $l(1), l(2), \dots, l(M)$. Рассматриваемая выборка из M лет представляет собой целочисленный вектор $l = (l(1), l(2), \dots, l(M))$. Таким образом, мы имеем M прогнозных значений величины $V_{\text{прог}}(k, l(j))$ и по прошествии соответствующего времени M фактических ее значений $V_{\text{факт}}(l(j))$, $j = 1, \dots, M$. На основе сравнения наборов значений $V_{\text{прог}}$ и $V_{\text{факт}}$ и вычисляется вышеупомянутое относительное среднеквадратичное отклонение (ошибка) $\sigma(k, l)$ данного конкретного прогноза, сделанного в год k , для выборки, определяемой вектором l :

$$\sigma(k, l) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\frac{V_{\text{прог}}(k, l(j))}{V_{\text{факт}}(l(j))} \right)^2}. \quad (1)$$

Все сказанное справедливо только для случаев, когда имеется один сценарий прогноза или есть хотя бы базовый прогноз. В большинстве случаев

используется множество (как правило, три) сценариев, которые могут довольно сильно различаться между собой и давать совершенно разные ошибки от фактических параметров процесса. В этом случае необходимо «сводить» все прогнозные ошибки в один агрегатный показатель [4].

Необходимо отметить, что в целом проблема оценки точности сценарных прогнозов не только не решена, но зачастую даже не ставится всерьез современным аналитическим сообществом.

Самостоятельную проблему представляет нестыковка прогнозов, выполненных разными организациями. Так, например, аналитики отмечают, что прогнозы потребления газа в Европе, выполненные разными компаниями, имеют расхождения

друг с другом, как правило, 20% и более, как и декларируемая ими точность.

Кроме того, прогнозы, выполненные одной и той же организацией в разное время, также отличаются — от нескольких процентов до тех же 20%, что существенно для долгосрочного анализа. Для сравнения приведем данные по темпам роста потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), полученные в прогнозных системах, считающихся достаточно надежными (см. табл. 1).

Из табл. 1 видно, что разброс в темпах прироста составляет по разным прогнозам более 50%, демонстрируя трудности при согласовании этих прогнозов. Следовательно, даже ведущие прогнозные системы пока не обладают возможностью настройки по входным данным других систем.

Таблица 1. Прогнозы среднегодовых темпов прироста потребления топливно-энергетических ресурсов (в т. ч. газа) в Западной Европе, % [4]

Table 1. Forecasts of average annual growth rates of consumption of fuel and energy resources (including gas) in Western Europe, %

Год	IEO 2001	IEO 2002	DRI-WEFA	IEA	PIRA	PEL
2010	1,1 (3,1)	1,1 (3,0)	1,1 (3,4)	1,3 (2,8)	0,7 (3,4)	0,9 (1,5)
2015	1,0 (3,3)	1,0 (2,7)	1,1 (3,6)	1,2 (3,0)	0,7 (3,3)	0,8 (2,1)
2020	0,9 (3,1)	0,9 (2,5)	1,0 (3,9)	1,1 (3,1)	0,6 (3,2)	0,8 (2,7)

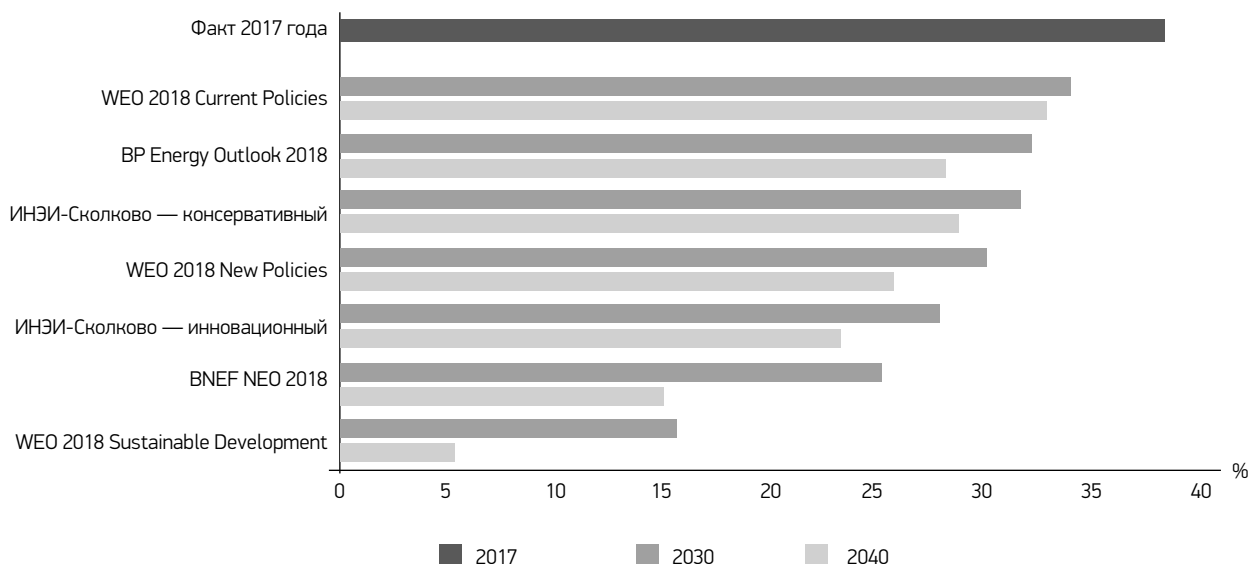


Рис. 1. Сопоставление прогнозов доли угольной генерации в мире к 2030 и 2040 гг.

Figure 1. Comparison of forecasts of the share of coal generation in the world by 2030 and 2040

Источник: анализ Центра энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО по данным BNEF, IEA, Прогноза ИНЭИ РАН-Сколково 2019.

На рис. 1 представлено обобщение прогнозов развития мировой угольной генерации на 2030 и 2040 гг. Как видно, оценки отличаются в разы. Аналогичная картина наблюдается и в прогнозах мирового первичного энергопотребления, и по доле ВИЭ в производстве электроэнергии [11] (см. рис. 2, 3). Вне зависимости от выбранного прогноза следует отметить, что все они сделаны исходя из ряда пред-

положений и задают некие вероятностные рамки сценариев будущего [12, с. 56].

На рис. 4, 5 представлено обобщение различных прогнозов о мировой структуре топливно-энергетического баланса и влияния углеродных ограничений на потребление нефти и газа [13].

Наконец, на рис. 6 дано сравнение долгосрочных прогнозов ИНЭИ РАН относительно цен на природ-

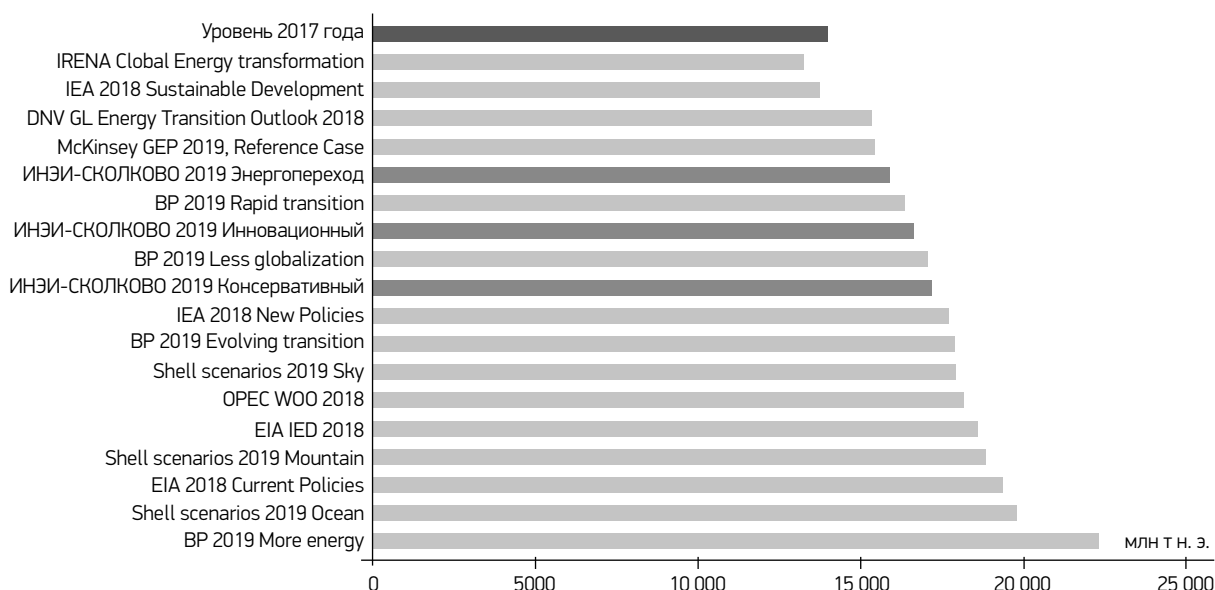


Рис. 2. Первичное энергопотребление в мире в 2040 г., млн т н. э.

Figure 2. The primary energy consumption in the world in 2040, million tons of o. e.

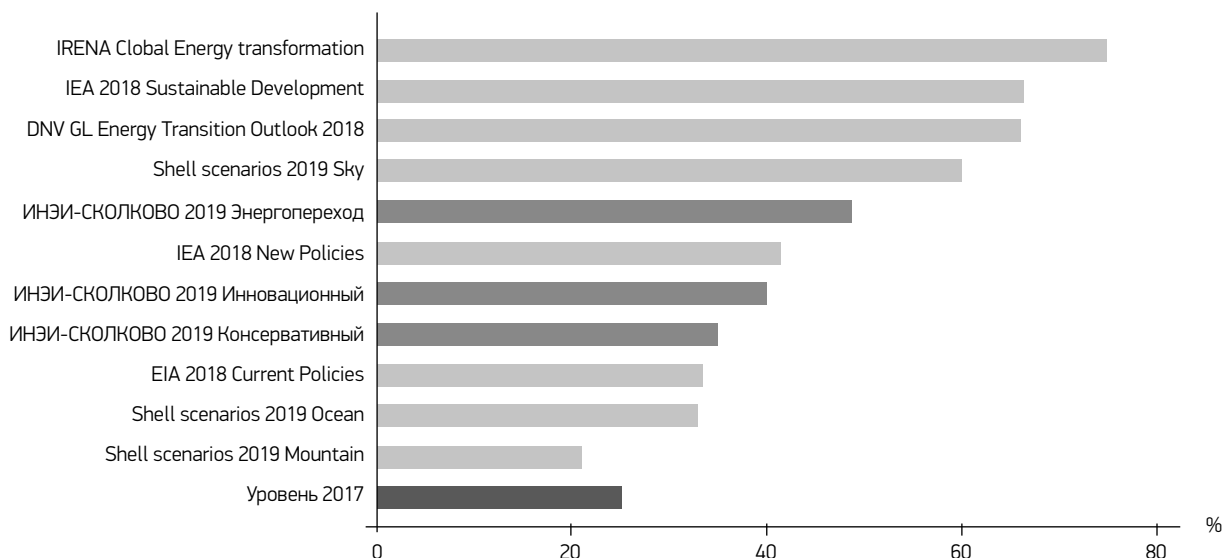


Рис. 3. Доля ВИЭ в производстве электроэнергии в мире в 2017 и 2040 гг., %

Figure 3. Share of renewable energy in electricity generation in the world in 2017 and 2040

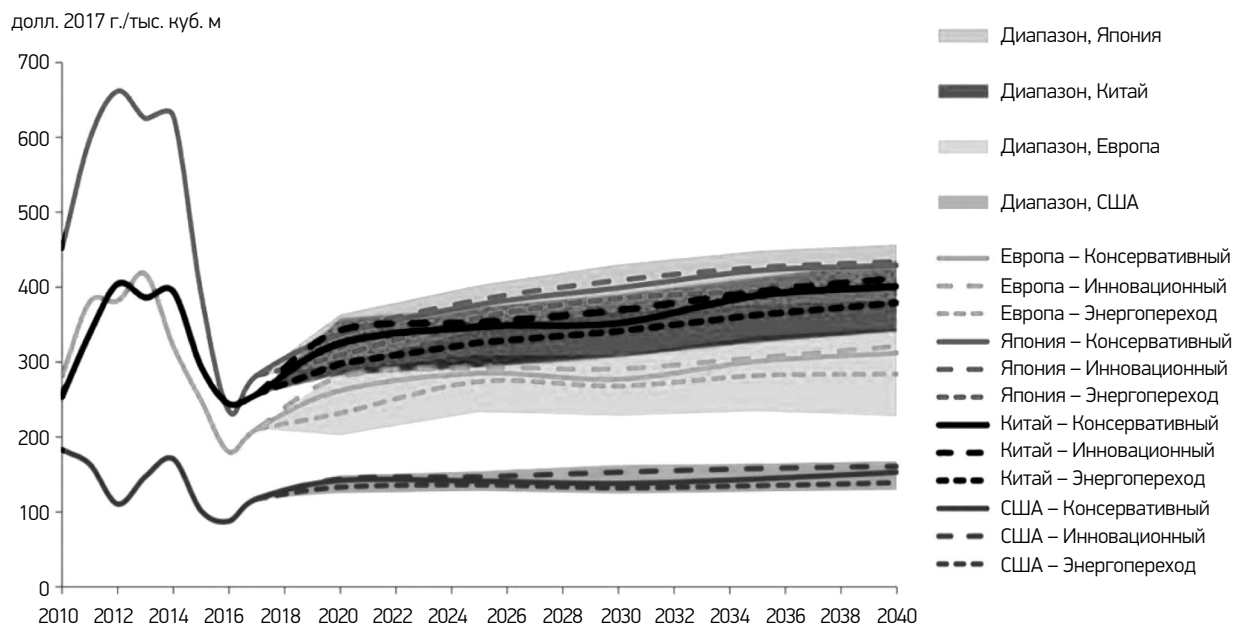


Рис. 6. Прогноз изменения цен на газ (ИНЭИ РАН), 2019 г.

Figure 6. Forecast of changes in gas prices (INEI RAS), 2019

Источник: ИНЭИ РАН.

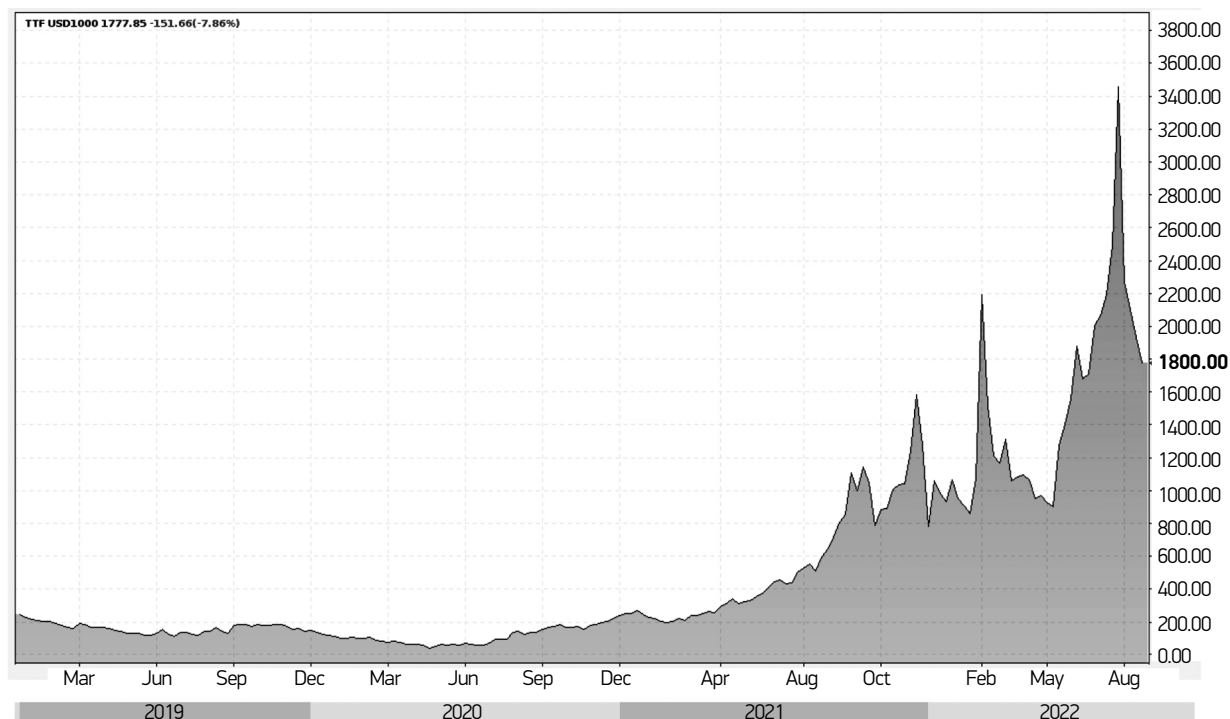


Рис. 7. Реальные цены на газ, 2022 г.

Figure 7. Real gas prices, 2022

ный газ, начиная с 2019 г.; реальная ситуация с ценами на середину 2022 г. — рис. 7.

Таким образом, среднесрочные и долгосрочные прогнозы развития энергетики, построенные на базе эволюционных моделей (спрос-предложение), могут зачастую иметь существенные различия с действительностью, что необходимо учитывать при принятии решений.

В этих обстоятельствах представляется более актуальным и целесообразным не само получение прогнозных оценок каких-либо целевых энергетических показателей, а разработка системы мониторинга за выражено переменным процессом трансформации энергетики различных стран, на который оказывает прямое влияние большое число трудно формализуемых факторов (различные стартовые условия, существенно отличная структура топливно-энергетического баланса, в том числе доля импортного газа, структура промышленности, беспрецедентные меры государственной поддержки ВИЭ и др.).

Важно также учитывать, что речь идет в первую очередь о возможностях контроля за процессом движения к цели, когда само целеполагание сформировано заинтересованной стороной только в самом общем виде (скорее как политическая декларация), без детализации планов, механизмов, стартовых условий, возможных ресурсов и т. п. Поэтому при анализе особенностей системы контроля за движением к цели следует исходить из того, что уполномоченными государственными структурами или авторитетными экспертными организациями заданы предельные векторы (максимальный и минимальный) скорости движения к цели, т. е. обозначен коридор возможных значений траектории движения к цели.

3. О методе оценки трудности достижения цели

Многие работы, посвященные прогнозированию направлений развития отраслей промышленности и сегментов рынка, базируются на несопоставленных друг с другом оценках и носят качественный характер. В таких ситуациях ЛПР, как правило, требуют верификации прогнозов, то есть проверки их и подтверждения методами квалиметрии. Основной проблемой любого квалиметрического исследова-

ния является решение вопроса о доверии к полученным числовым оценкам. Сведение квалиметрии исключительно к разработке процедур оценки точности и обоснованности предлагаемых методов, по меньшей мере, наивно.

Рассмотрим процесс достижения некоторого результата, требующего определенных ресурсов. Каждый исходный ресурс должен обладать необходимым для достижения поставленной цели качеством. Считаем также, что существует и качество конечного результата, которое формируется его потребителем. То есть предполагаем, что потребитель результата может назвать минимальное (пороговое) значение оценки качества результата, которое его устраивает. Отсюда очевидным образом следует, что должны быть заданы пороговые требования к качеству исходных ресурсов. Чем выше эти требования, тем больше значимость соответствующего ресурса для достижения цели. Последний вывод позволяет произвести ранжирование исходных ресурсов по степени их важности, но не решает проблему оценки достижимости конечного результата. Если требования выше, чем реальное качество ресурса, то результат в принципе недостижим. Если требования существенно ниже качества ресурсов, то получить результат легко. Если же требования к качеству хотя и ниже качества ресурса, но близки к нему, то получить требуемый результат возможно, но очень трудно. Дело в том, что реальные оценки качества ресурса имеют не строго точный, а лишь статистический характер. Они подвержены колебаниям, и чем больше качество ресурса превосходит пороговое требование к нему, тем гарантированнее достижение результата. Поэтому можно ввести понятие парциальной трудности достижения цели по заданному ресурсу, которая определяется соотношением между требованием и реальным качеством ресурса. Зная парциальные трудности, можно построить агрегированную (суммарную) трудность достижения цели по всем ресурсам.

Введение понятия трудности позволяет сравнивать между собой любые ресурсы в единой шкале. В определенном смысле понятие трудности аналогично понятию стоимости, позволяющей сопоставлять различные продукты в едином денежном измерении.

Опираясь на результаты работ [14, 15], дадим некоторое представление о математической постановке задачи нахождения пороговых требований к ресурсам. Будем считать, что качество исходных ресурсов мы умеем измерять в безразмерной шкале, и для i -го ресурса $\mu_i = (0, 1]$, $i = 1, \dots, n$, где правая граница полуинтервала соответствует наилучшему значению. Такие оценки лучше всего связаны с величиной степени принадлежности i -го ресурса нечеткому множеству подобных ресурсов [16, 17]. Нижние границы качеств ресурсов, называемые также пороговыми, нахождение которых и является нашей основной задачей, будем обозначать $\varepsilon_i = (0, 1]$ и считать, что для всех $i = 1, \dots, n$ должно выполняться необходимое условие $\varepsilon_i \leq \mu_i$.

Очевидно, что при $\varepsilon_i = 0$ i -й ресурс несущественен для достижения цели системой и его можно исключить из рассмотрения при решении нашей задачи. Следует отметить, что функционально оценки μ_i и пороговые требования к ним ε_i существенно различаются: если μ_i поступают «снизу», являясь оценками качества перерабатываемых ресурсов, то ε_i — граничные требования к этим ресурсам, порождаемые потребителем результата переработки «сверху». Для каждого ресурса обе эти величины сводятся в единую меру несоответствия качества требованиям и называются «трудностями достижения цели по i -му ресурсу» $d_i \in [0, 1]$:

$$d_i(\varepsilon_i, \mu_i) = \frac{\varepsilon_i(1 - \mu_i)}{\mu_i(1 - \varepsilon_i)}. \quad (2)$$

При этом d_i удовлетворяет естественным условиям: $d_i = 0$ при $\varepsilon_i = 0$, $d_i = 0$ при $\mu_i = 0$ и, наконец, $d_i = 1$ при $\mu_i = \varepsilon_i$, т. е. трудность достижения цели минимальна при отсутствии требований к качеству и при максимально возможном качестве ресурса и максимальна, когда качество совпадает с нижней (пороговой) границей. Кроме того, следует отметить, что введение в рассмотрение оценки трудности вида (2) позволяет трактовать пороговые значения ε_i как выравнивающие оценки при сравнении разнородных ресурсов — с точки зрения трудности достижения цели i -й и j -й ресурсы равнозначны при условии $d_i = d_j$.

Агрегированию ресурсов, состоящему в том, что появляется новый комплексный ресурс, объединяющий некоторый набор исходных, соответ-

ствует и операция агрегирования (сложения) трудностей.

Доказано [14], что если операция агрегирования двух трудностей (сложения) удовлетворяет простым требованиям, то вид агрегированной оценки:

$$d = 1 - (1 - d_1)(1 - d_2) = d_1 \oplus d_2. \quad (3)$$

Агрегированная трудность для двух ресурсов d может трактоваться как результат операции обобщенного сложения трудностей d_1 и d_2 , обозначаемой $\oplus$. Формула (3) легко обобщается в случае произвольного количества ресурсов.

Конечный результат, получаемый после переработки исходных ресурсов, имеет качество M и пороговые требования потребителя к нему E , тогда трудность для него определяется формулой (2) с заменой ε_i на E и μ_i на M .

Пусть зависимость $D = f(d_1, d_2, \dots, d_n)$ определяет связь трудности для конечного результата с трудностями для входных ресурсов. Эта функция называется качественной и является аналогом производственной функции, используемой в экономике. Качественная функция обладает двумя важнейшими свойствами:

а) $D = 0$ лишь при условии $d_1 = d_2 = \dots, d_n = 0$;

б) $D = 1$, если существует хотя бы один ресурс k , для которого $d_k = 1$.

Для восстановления конкретного вида качественной функции используются те же статистические методы, что и для производственной функции, т. е. методы регрессионного анализа эконометрики [18]. Вид качественной функции f естественно выбирать по аналогии с производственными функциями.

Разработанные методы применимы к решению и более общей проблемы согласования оценок качества и преодоления недоверия к квалиметрическим измерениям. При аналитическом подходе в качестве ответа на вопрос, верить или не верить соответствующей интегральной оценке, предлагается демонстрация всего пути ее формирования (чаще всего используется графовая модель иерархического типа). Такой способ верификации допустим, но не всегда возможен. Поэтому можно использовать не менее общий, назовем его балансовым, подход [19].

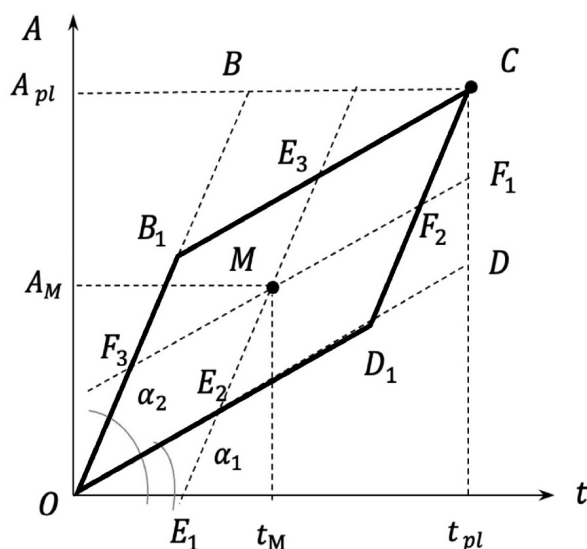


Рис. 8. Коридор прогнозирования

Figure 8. Forecast corridor

Например, пусть исполнительному объекту ставится задача к заданному моменту времени $t_{пл}$ достичь определенного значения какого-либо показателя $A_{пл}$. Задачей системы контроля станет оценка текущего состояния системы, т.е. объема выполненных работ, риска невыполнения плана, а также близости состояния системы к границе, за которой достижение цели будет невозможно при любых допустимых усилиях (затратах). Имеется также ин-

формация о минимально допустимой и максимально возможной скорости достижения результата (см. рис. 8).

Задача в подобной постановке и способ ее решения рассматриваются в работах И. Руссмана и его школы. «Побочным эффектом» решения данной задачи будет возможность для любого момента времени узнать текущую «трудность достижения цели», которая трактуется как степень риска невыполнения плана.

4. Примеры практического применения метода

4.1. Прогнозирование трансформации газового рынка ЕС

В качестве прикладного примера рассмотрим начавшуюся трансформацию европейского газового рынка, выражающуюся в директивном снижении потребления российского природного газа.

Алгоритм заполнения прогнозной матрицы оценки спроса на газовом рынке ЕС включает шесть последовательных шагов:

1. Строится область допустимых значений для периодов, отстоящих от текущего на срок прогноза с фиксированным шагом (рис. 9).

2. Рассчитывается «трудность достижения цели» за 1, 2, ..., N лет. Трудность в данном случае определяется, в том числе, готовностью экономик стран-импортеров к переходу на иные, в том числе на воз-

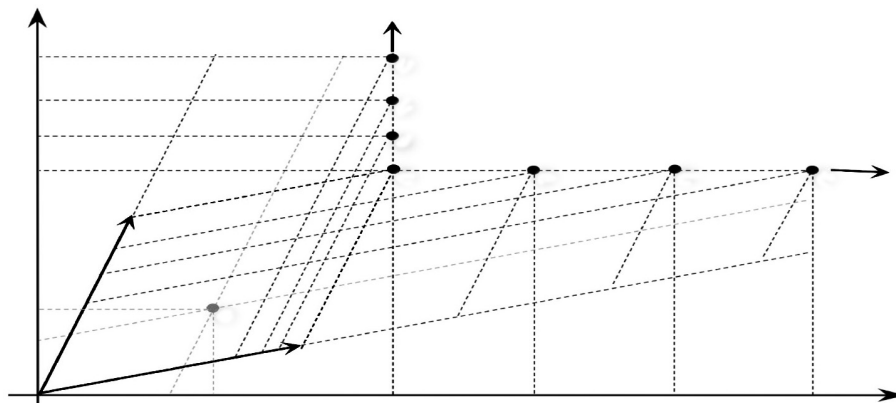


Рис. 9. Изменение ширины коридора прогнозирования при увеличении целевого значения или времени прогнозирования

Figure 9. Changes the width of the prediction corridor when you increase the target value or prediction time

обновляемые первичные источники энергии и, соответственно, к отказу от газа как энергоносителя, а значит, учитывается влияние технологических факторов на достижение цели.

3. Рассчитывается риск недостижения цели для экспортера.

Ломаная линия OD_1C является границей области допустимых значений, и для любой точки M с координатами (t_M, A_M) , которая описывает положение системы на произвольной траектории к цели в пределах параллелограмма OB_1CD_1 , расстояние $r(M)$ принимается как риск недостижения цели (рис. 8):

$$r(M) = \max \left\{ \ln \frac{1}{1-d_1}, \ln \frac{1}{1-d_2} \right\},$$

$$\text{где } d_1 = \frac{\varepsilon_1 (1 - \mu_1)}{\mu_1 (1 - \varepsilon_1)}, d_2 = \frac{\varepsilon_2 (1 - \mu_2)}{\mu_2 (1 - \varepsilon_2)}, \varepsilon_1 = \frac{|E_1 E_2|}{|E_1 E_3|},$$

$$\mu_1 = \frac{|E_1 M|}{|E_1 E_3|}, \varepsilon_2 = \frac{|F_1 F_2|}{|F_1 F_3|}, \mu_2 = \frac{|F_1 M|}{|F_1 F_3|}.$$

Координаты промежуточных точек на фазовой плоскости определяются из известных соотношений для определения точки пересечения двух прямых, проходящих через две точки, и заданных соответствующими каноническими уравнениями.

4. Рассчитывается «ожидаемый объем снижения экспорта» как произведение величины, обратной риску недостижения цели на текущий (на год, предшествующий году оценки) объем экспорта.

5. Повторяется процедура расчета (п. 2—4) для всех периодов прогноза.

6. Заполняются матрицы прогноза.

Для числового анализа минимальную скорость движения ЕС к цели принимаем из предположения, что ситуация так или иначе остается неизменной. Соответственно, минимальная скорость $V_{\min}$ в градусной мере соответствует углу $\alpha_1 = 0^\circ$. За максимальную скорость примем официально заявленные темпы снижения зависимости ЕС от поставок российского газа (с 55% в 2021 г. до 30% к концу 2022 г.). Соответственно, максимальная скорость будет равна $V_{\max} = Q_{2021} / Q_{2022} \approx 1,833333$ (в рад.), далее находим $\arctg(V_{\max}) = 1,07145$, что в градусной мере соответствует углу $\alpha_2 = 61,38^\circ$. Соответствующий коридор прогнозирования представлен на рис. 10.

Принимаем объем стартовых поставок российского газа равным 158,3 млрд куб. м в год. Предла-

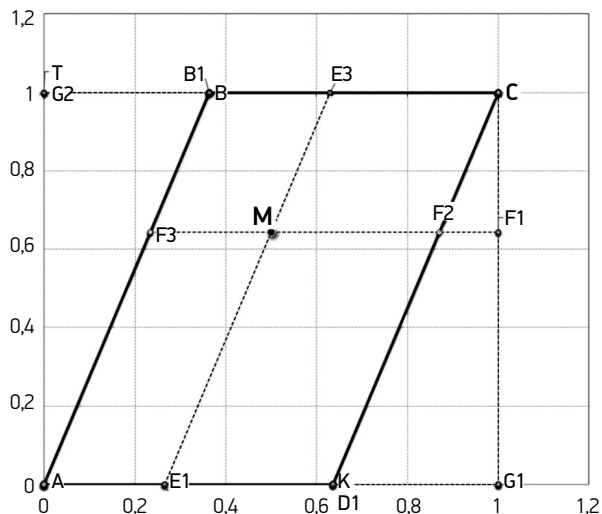


Рис. 10. Коридор прогнозирования

Figure 10. Forecast corridor

гаемая модель позволяет построить зависимость вероятности достижения целевого для ЕС состояния (независимость на 70% от российского газа) от начального состояния и периода прогнозирования. Результаты представлены на рис. 11.

Соответствующий пересчет полученной вероятности в объемы ожидаемых для России потерь представлен на рис. 12.

Анализ показывает, что при сохранении заявленных темпов снижения зависимости стран ЕС от российского газа вероятность потерь половины экспортируемого объема газа (от текущего) не превышает 50% на горизонте прогнозирования, равном 3-4 годам. Полный отказ от поставок российского газа был бы возможен на горизонте планирования в 10 лет только в случае 60—65% независимости стран ЕС от российских поставок в текущем году.

Очевидно, что на вероятность успешной реализации поставленной задачи (достижение цели) может влиять большее число факторов различной природы:

- располагаемые материально-технические ресурсы (включая фиксируемое достижение определенными замещающими технологиями необходимых уровней индустриализации и коммерциализации);

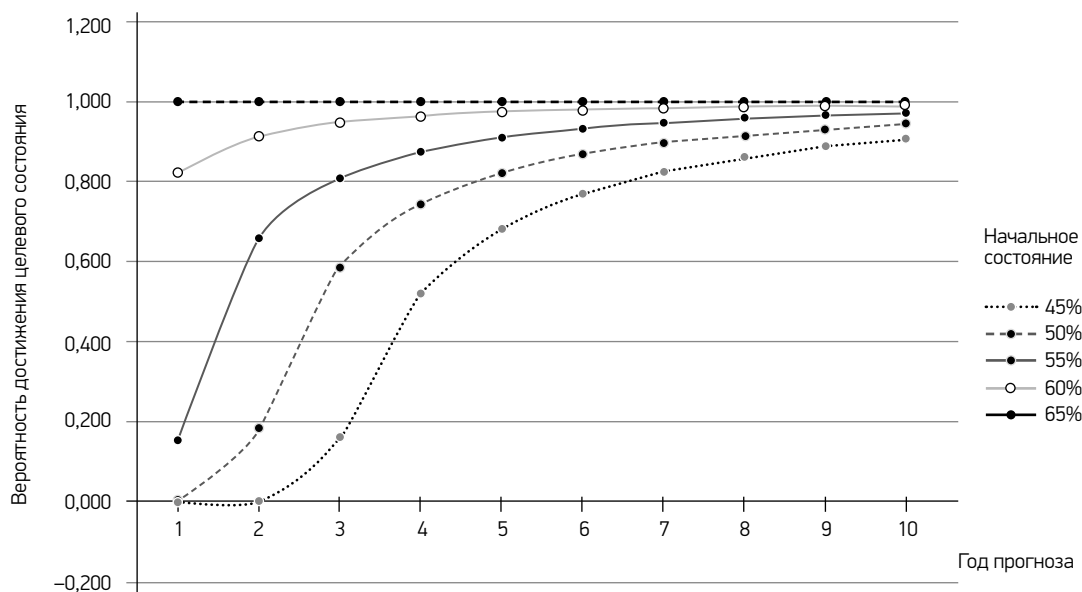


Рис. 11. Зависимость вероятности достижения цели (независимость на 70% от российского газа) от начального состояния

Figure 11. Probability of goal achievement (70% independence from Russian gas) versus initial state

	Период прогнозирования, лет									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
в млрд куб. м										
45%	0,00	0,00	25,28	82,46	107,89	121,99	130,76	136,64	140,78	143,83
50%	0,00	29,08	93,18	117,78	130,36	137,78	142,55	145,81	148,14	149,88
55%	24,54	104,22	127,86	138,58	144,42	147,99	150,32	151,94	153,11	153,99
60%	130,35	144,73	150,24	152,95	154,48	155,44	156,08	156,52	156,85	157,09
65%	158,30	158,30	158,30	158,30	158,30	158,30	158,30	158,30	158,30	158,30

Рис. 12. Прогноз объемов снижения поставок российского газа на период до 2032 г. в зависимости от стартовых условий

Figure 12. Forecast of Russian gas supply decline to 2032 depending on starting conditions

- доступные финансовые ресурсы;
- структура ТЭБ;
- чувствительность промышленности к замещаемому ресурсу;
- социально-экономическая устойчивость к возможным издержкам и избыточной цене вопроса и ряд других.

В данном контексте важно, что это будет влияние не только факторов технологического характера. Кроме того, есть все основания полагать, что набор этих факторов будет специфическим для каждой из стран ЕС. И в этой связи, возможно, целесообразней будет строить индивидуальные траектории достижения цели для каждой страны ЕС.

Количественное выражение степени воздействия совокупности факторов и событий на траекторию движения к цели зависит от специфики задачи, поставленной ЛПР, и может быть определено различными методами и способами, в том числе, например, с помощью метода анализа иерархий или метода аналитических сетей Саати.

В данном случае исключительно для иллюстрации использованы результаты проведенных прогнозных оценок степени готовности замещающих технологий, полученные с помощью МАС. Важно подчеркнуть, что учет этого фактора приводит в конкретном примере к увеличению скорости движения к цели и соответствующему изменению как вероятности достижения цели, так и натуральных показателей в матрице поставок газа.

Коридор прогнозирования представлен на рис. 13. Соответствующая зависимость вероятности достижения цели от начального состояния и периода прогнозирования представлена на графиках на рис. 14. Пересчет полученной вероятности в объемы ожидаемых потерь поставок газа представлен на рис. 15.

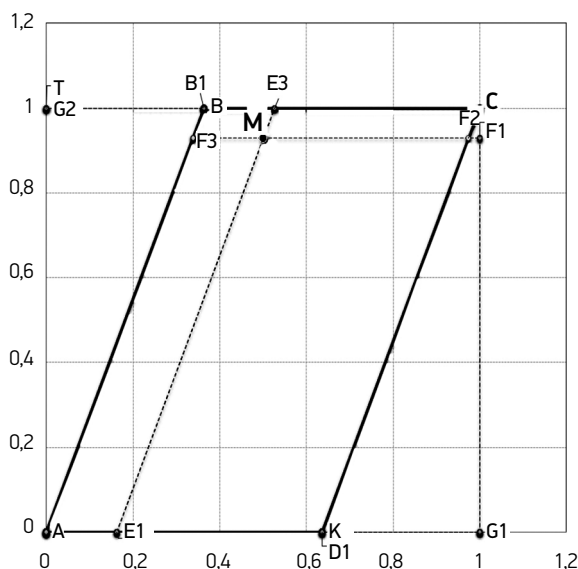


Рис. 13. Коридор прогнозирования (для данных примера с учетом поправок)

Figure 13. Forecast corridor (for example, adjusted)

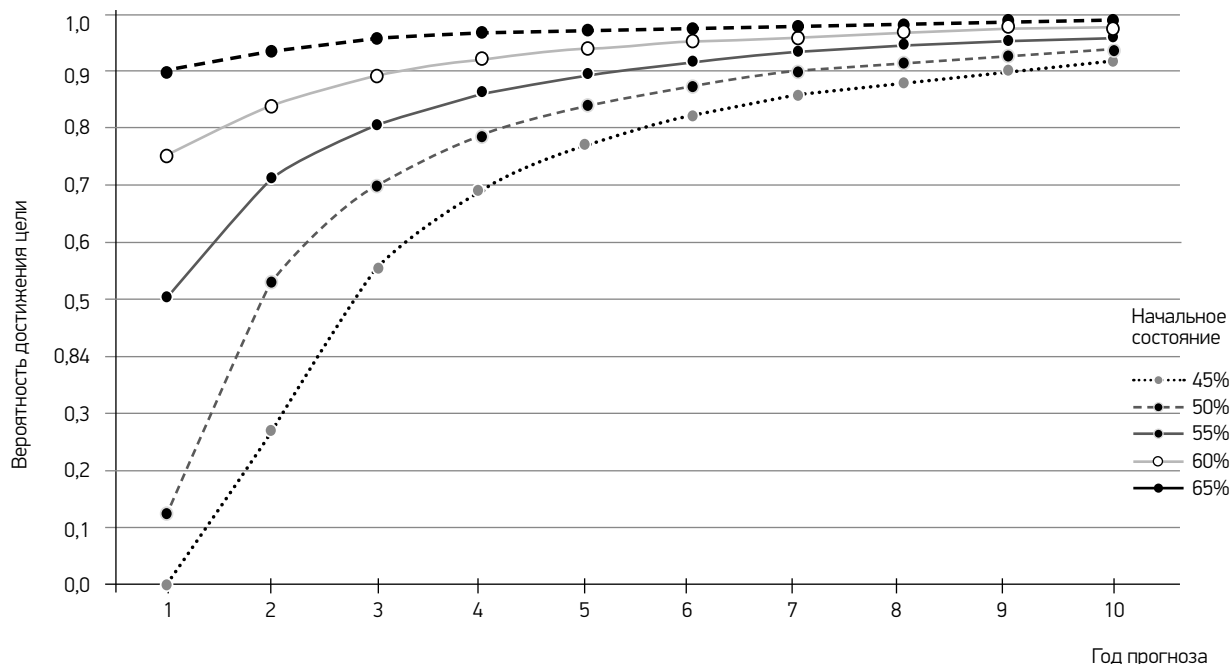


Рис. 14. Зависимость вероятности достижения цели от начального состояния

Figure 14. The dependence of the probability of achieving the goal on the initial state

		Период прогнозирования, лет									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
в млрд куб. м											
Начальное состояние независимости от российского газа на год, предшествующий периоду прогнозирования	45%	0,00	43,21	88,12	109,74	122,35	130,48	136,06	140,09	143,09	145,40
	50%	19,99	84,67	110,85	124,73	133,14	138,68	142,54	145,34	147,45	149,08
	55%	80,48	113,20	128,30	136,73	141,98	145,49	147,97	149,78	151,15	152,21
	60%	119,58	133,38	141,37	145,99	148,92	150,90	152,31	153,35	154,14	154,75
	65%	142,89	148,13	151,29	153,16	154,36	155,18	155,77	156,20	156,53	156,79

Рис. 15. Прогноз объемов недопоставок российского газа в ЕС на период до 2032 г. в зависимости от стартовых условий

Fig. 15. Forecast of underdelivery volumes of Russian gas in the EU for the period up to 2032, depending on the starting conditions

4.2. Определение точек контроля

В случае динамичного развития ситуации может оказаться необходимым определить дополнительные точки контроля, в которых с точки зрения экспортера сохраняется повышенная вероятность поставок газа. Для условной ситуации, изображенной на рис. 16, расчетное значение трудности достиже-

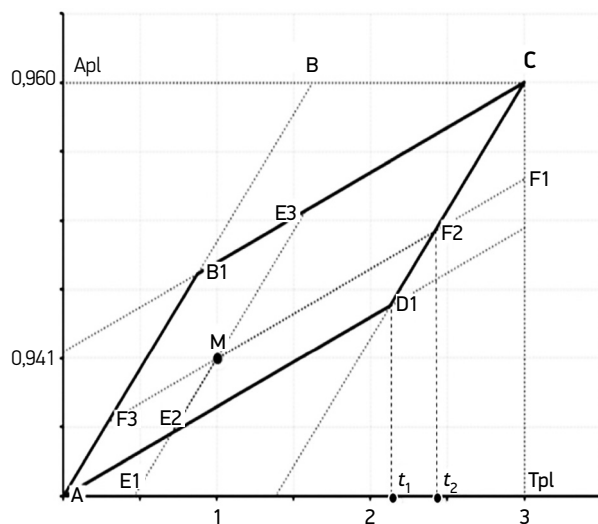


Рис. 16. Контроль при штатном развитии ситуации

Figure 16. Monitoring during normal development of the situation

ния целевого значения S_3 через 2 года при сохранении текущей динамики равно $d_1 = 0,3673$, что является умеренной оценкой.

Абсцисса t_1 точки D_1 характеризует момент времени, в который еще возможно достижение целевого значения, даже если до этого скорость изменения показателя была минимальна или даже равнялась нулю. Цена за это — предельное напряжение возможностей и использование всех доступных ресурсов. Точка t_1 — предельный момент первого контроля, т. к. выбор более позднего момента контроля ($t > t_1$) может не обеспечить достижения целевого значения при неизменности ресурсов, затрачиваемых на достижение цели.

Проведя через точку М прямую, параллельную прямой AD_1 , соответствующую минимальной скорости изменения трудности достижения цели S до пересечения с прямой D_1C , получим точку F_2 с абсциссой t_2 , определяющей момент второго контроля. Если динамика сохраняется, одной точки контроля достаточно для уверенности в том, что целевое значение будет достигнуто, и, таким образом, мы получаем, что периодичность контроля не должна превышать одного раза в два года.

Однако ситуация в реальности может отличаться от прогнозной.

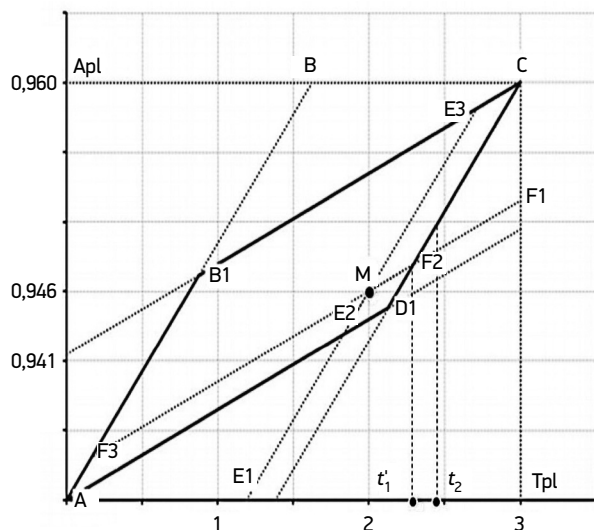


Рис. 17. Контроль при критическом развитии ситуации

Figure 17. Monitoring in case of critical development of the situation

Предположим для примера, что через год (во втором году) было получено среднее значение $S_2 = 0,946$. Ситуацию иллюстрирует рис. 17 (предполагается, что скорости движения к цели остались прежними).

Для данной ситуации $d_2 \cong 1$, что означает, что если темпы изменения показателя сохранятся, через год достигнуть целевого значения не получится. Видно, что в рассматриваемом варианте точка М, обозначающая текущее положение, приблизилась к опасным границам AD_1C , за которыми с высокой вероятностью возможны потеря управляемости и невыполнение целевой установки. Текущая ситуация требует внимания со стороны импортера и мероприятий по повышению исполнительской дисциплины в части соблюдения графика.

Для экспортера, соответственно, это означает прогноз на сохранение существующих объемов экспорта. Срок ближайшей проверки, соответственно, сдвигается на более ранний период (точка $t'_2 < t_2$ на рис. 17). После проведения контроля в точке t'_2 процедуру определения частоты контроля придется повторить, чтобы повысить уверенность руководства импортера в достижении поставленной цели.

4.3. Оценка сторонних прогнозов

С использованием предложенного метода возможна также оценка прогнозов, полученных сторонними аналитиками. Для примера рассмотрим прогноз развития электроэнергетического сектора ЕС. За исходную информацию приняты известные статистические данные прогноза МЭА на период до 2050 г. касательно производства электроэнергии в Европейском союзе (см. табл. 2).

Предлагаемая методика исходит из того обстоятельства, что в развитии технологий, определяющих тот или иной технологический уклад, существуют долгосрочные устойчивые тренды развития, которые формируются на протяжении долгих периодов, обладают высокой устойчивостью к изменениям (даже консервативностью). При этом под технологическим укладом понимается совокупность сопряженных производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно. Смену доминирующих в экономике технологических укладов предопределяет не только ход научно-технического прогресса, но и инерция мышления общества: новые технологии появляются значительно раньше их массового освоения. Во многом облик технологического уклада определяют возможности и потенциал доступных источников энергии, которые являются основным ресурсом его развития и экспансии.

Следствием неравномерности развития различных стран является неравномерность перехода мировой экономики из одного технологического уклада в другой. Так, практически все страны мира приняли так называемую концепцию энергоперехода и разработали (разрабатывают) национальные стратегии по снижению выбросов CO₂ и достижению климатической нейтральности. Но на первом месте для них по-прежнему стоят проблемы собственного социально-экономического развития на устойчивом энергетическом фундаменте.

На сегодняшний день мир полагается преимущественно на ископаемые виды топлива, и в обозримой перспективе реальной адекватной замены ископаемому топливу нет: во-первых, углеводороды позволяют обеспечивать стабильное энергоснабжение, во-вторых, ископаемые виды топлива дают «концентрированную» энергию, что необходимо для промышленности.

Таблица 2. Данные прогноза МЭА на период до 2050 г., тыс. т н. э.
Table 2. WEA forecast data for the period up to 2050, thousand tons o. e.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Валовое производство электроэнергии	248 887,90	254 016,70	247 061,50	226 854,30	242 329,50	257 580,60	267 593,20	276 247,40	285 479,30	294 125,30
Атомная энергия	78 768,79	73 471,20	67 570,57	58 098,65	49 324,95	44 613,07	41 009,55	39 197,33	36 420,12	34 715,37
Возобновляемые источники энергии	39 424,07	57 873,18	75 928,59	90 283,49	120 177,80	151 920,60	172 203,70	190 017,80	210 057,10	218 595,90
Биомасса-отходы (вкл. биогаз и отход. газ)	6549,69	11 387,89	14 898,96	15 136,43	15 090,04	14 800,68	15 077,91	16 559,93	16 278,09	17 826,41
Гидроэнергетика (без учета перекачки)	26 435,94	32 004,90	29 133,03	28 930,55	31 086,36	31 110,86	31 215,68	31 299,91	31 655,65	31 658,35
Энергия ГЭС озёр	14 355,03	17 816,21	15 810,03	15 427,09	16 676,98	16 434,92	16 381,38	16 391,57	16 447,59	16 417,35
Энергия ГЭС от течения рек	12 067,84	14 188,59	13 323,00	13 503,47	14 409,38	14 675,94	14 834,30	14 908,34	15 208,06	15 241,00
Энергия ветра	5808,34	11 960,28	22 610,46	33 436,26	52 464,63	75 347,86	89 030,08	98 499,35	110 865,80	116 116,80
Ветроэнергостанции на суше	5677,39	11 506,61	21 121,27	29 370,62	42 663,34	57 905,52	66 525,47	72 183,52	81 217,38	85 182,28
Ветроэнергостанции на море	130,96	453,66	1489,20	4065,64	9801,28	17 442,34	22 504,60	26 315,83	29 648,39	30 934,49
Энергия солнца	124,68	1997,51	8684,24	12 171,01	20 924,14	30 033,33	36 252,49	42 855,73	49 873,69	51 561,25
Геотермальное тепло, приливы и др.	505,42	521,93	601,90	609,23	612,66	627,86	627,57	802,86	1383,95	1433,12
Ископаемое топливо	130 695,00	122 672,40	103 562,30	78 472,19	72 826,73	61 046,97	54 379,94	47 032,30	39 002,00	40 814,00
Твердое ископаемое топливо	71 446,95	62 140,93	61 087,14	33 492,86	28 367,15	23 200,38	13 898,04	3289,68	1149,64	1109,63
Нефтепродукты	11 817,11	7058,90	5825,64	2378,91	979,29	597,81	531,83	452,38	288,00	248,19
Природные и промышленные газы	47 430,94	53 472,53	36 649,53	42 600,43	43 480,29	37 248,78	39 950,08	43 290,24	37 564,36	39 456,19
Водород и синтетические углеводороды	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Поскольку значительная часть мира с высокой плотностью населения нуждается в больших объемах энергии, то можно ожидать, что в перспективе подходы к проблематике энергоперехода будут переосмыслены и фокус сместится с климатической повестки на проблемы экологии в целом. Наиболее предпочтительными будут технологии замкнутого цикла. Можно также прогнозировать, что будут востребованы все без исключения источники энергии при совершенствовании технологий их использования как в сторону повышения КПД установок и оборудования, так и с точки зрения снижения нагрузки на окружающую среду.

Все вышесказанное приводит к заключению, что существует некая общая тенденция в переходе различных стран и регионов мира в рамках коридора допустимых значений потребления первичной энергии, ограниченная минимальной существующей и максимально возможной в данных условиях скоростью перехода от одних первичных источников энергии к другим, что в итоге и определяет спрос на первичные источники энергии в этих странах и регионах.

Темпы энергоперехода и его цели различны для разных стран и регионов мира. Кроме того, на скорость перехода влияют технологические факторы, замедляя или ускоряя его. Как именно технологические факторы будут воздействовать на ожидаемые (декларируемые, прогнозируемые в логике намерений разных стран) скорости энергоперехода, определяется огромным числом внешних и внутренних обстоятельств: и степенью готовности технологий, и приемлемостью стоимости их изготовления, владения и утилизации (т. е. на всех стадиях жизненного цикла нового источника энергии). Эта логика обстоятельств замедляет или ускоряет энергопереход, а значит — увеличивает или снижает зависимость

от ископаемого топлива. Причем важно понимать, что все эти дополнительные обстоятельства должны «выстроиться» в «правильном» порядке, который наилучшим образом соответствует их промышленному освоению, чтобы произошло качественное изменение в производстве и потреблении энергии.

Техническое нововведение зависит от приобретения знаний через систематически организованный процесс проб и ошибок. Можно говорить о существовании случайного закона распределения потенциальных возможностей развития технологии. Но важно и то, что определенный тип вероятностного распределения зарождается в рамках некоторого детерминированного механизма. Из этого следует вывод: хотя для любой конкретной технологии эволюционный потенциал случаен, уровень его использования — результат продуманной политики.

В соответствии с вышесказанным, влияние отдельных технологических факторов на изменение спроса на наиболее значимых для России газовых рынках Европы и Китая крайне незначительно. Однако совокупное изменение этих факторов, несомненно, оказывает влияние на скорость замещения газа в энергетике и промышленности. Определяющим в силе этого влияния выступают даже не сами факторы как таковые, а их «правильный» (с точки зрения реализации технологии) порядок следования для каждой страны, входящей, например, в ЕС, и для каждой технологии. С этой точки зрения анализ текущего и перспективного состояния соответствующих технологий в странах ЕС необходим и оправдан.

В качестве фактических и плановых показателей принято процентное выражение доли соответствующего ископаемого первичного источника энергии в валовом производстве электроэнергии. За мини-

Таблица 3. Оценка вероятности трудности достижения прогнозируемого значения

Table 3. Estimate probability of difficulty in reaching the predicted value

2020 (факт)		2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020 (план)
85,24%	Уголь	0,5085	0,1716	0,0909	0,0572	0,0395	0,0290	99,62%
98,95%	Нефть	0,0256	0,0098	0,0053	0,0033	0,0023	0,0017	99,92%
81,22%	Газ	0,2040	0,0736	0,0392	0,0246	0,0169	0,0124	86,59%

Таблица 4. Уточненный прогноз

Table 4. Updated forecast

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Твердое ископаемое топливо	13 943,31	19 220,35	12 634,15	3 101,54	1 104,20	1 077,40
Нефтепродукты	954,21	591,97	529,02	450,88	287,35	247,77
Природные и промышленные газы	34 608,57	34 506,52	38 384,04	42 226,17	36 928,77	38 967,72

мальную скорость принята скорость, равная нулю (т. е. предполагается, что скорость не изменяется на горизонте прогнозирования), а за максимальную — максимальная скорость изменений за период с 2005 по 2020 г. Результаты оценки точности прогноза МЭА на модели Руссмана для замещения объемов ископаемых первичных источников энергии (газ, уголь, нефть) приведены в табл. 3. В ячейках таблицы — априорная вероятность трудности достижения целевого значения в соответствующем году по отношению к 2020 г. при условии сохранения темпов изменений.

Соответствующий пересчет вероятности в тыс. т н. э. для ископаемых первичных источников энергии (газ, уголь, нефть) по отношению к прогнозным приведен в табл. 4.

На рис. 18 показана ситуация для оценки точности прогноза МЭА по газу на 2050 г. Текущая независимость энергетики от газа в валовом производстве энергии в Европе равна 81,22%, что на графике соответствует точке М (в масштабе графика координата точки М по оси у равна 0,9348). За год отсчета — 2020 — принята координата на оси х, равная 0,5.

Соответственно, прогнозируемая МЭА независимость энергетики от газа в 2050 г. должна составлять 86,59%, что соответствует точке С и в масштабе графика принято равным 1. Соответственно, за 1 по оси х принят 2050 г., откуда следует «шаг» в масштабе графика, равный 0,083.

Если предполагать, что темп вытеснения доли газа из энергетики Европы за 2005—2020 гг. не изменится (то есть не поменяется угол наклона отрезка АВ на графике), то расчет по модели Руссмана дает поправку для прогноза МЭА, равную 0,0124 (см. табл. 3). Однако предлагаемый метод дает возможность определить точку дополнительной вери-

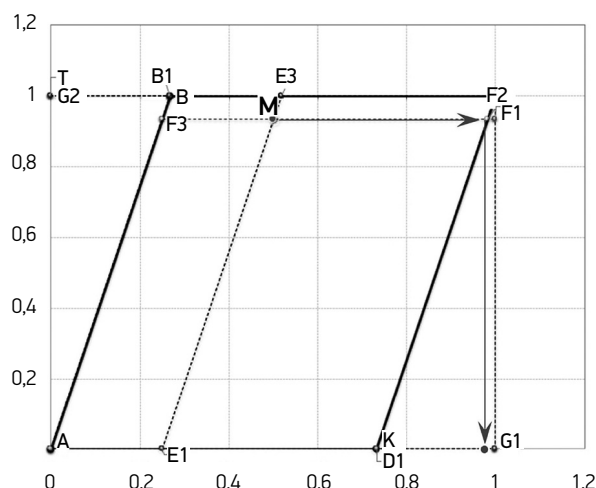


Рис. 18. Оценка точности прогноза МЭА по газу на 2050 г.

Figure 18. Estimating the accuracy of the WEA's 2050 gas forecast

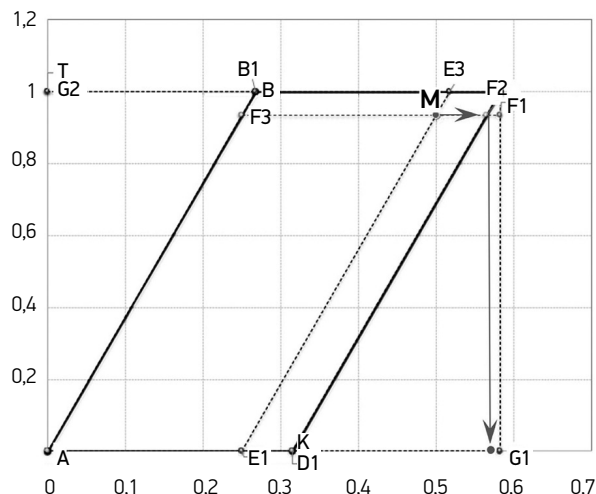


Рис. 19. Расчет поправки прогнозного значения МЭА через 5 лет

Figure 19. Calculation of forecast correction IEA values after 5 years

фикации прогноза — F_2 , в которой возможно уточнить — достижима ли заявленная цель и не изменились ли соответствующие темпы. В масштабе графика координаты точки F_2 на оси x равны 0,982, что соответствует в годовом исчислении примерно второй половине 2049 года контроля.

При расчете поправки для достижения прогнозного значения через 5 лет (см. рис. 19) получаем поправку для прогноза МЭА, равную 0,2040 (см. табл. 3). Соответственно, контроль необходимо провести не позднее второй половины 2023 г.

Заключение

Традиционный метод прогнозирования использует ретроспективную информацию о вариативности временного ряда. При исследовании временного ряда предполагается, что вероятностный закон, задающий его поведение, неизменен (стационарный временной ряд). Исходя из этого предположения, строится модель, нужная для прогнозирования, интерпретации и проверки гипотез, представляющая собой случайную модель случайного процесса. Если такая модель построена, то временной ряд рассматривается как реализация (траектория) данного случайного процесса. Недостатком метода можно считать необходимость сглаживания значительных выбросов в ряде, которые считаются случайными и не учитываются моделью прогнозирования. Тем самым данные усредняются и прогнозное значение получают исходя из некоторого упрощения реального процесса. Прогнозное значение не задается, а рассчитывается исходя из сделанных предположений о временном ряде. То есть у ЛПП нет представления о качестве результата и требований к нему, т. к. результат прогнозируется исходя из «законов поведения» системы. Соответственно, ошибку прогнозирования можно оценить только после истечения заданного интервала прогнозирования, сравнив реальное значение прогнозируемой величины с полученным на модели. Это «реактивный» подход, в котором прогнозируется наиболее вероятное целевое состояние. То есть предполагается, что закон развития системы (временного ряда) задан и не изменится на горизонте прогнозирования. Точность прогнозирования временного ряда — величина, зависящая от его качественных характеристик, выбранных моделей прогнозирования, квалификации

эксперта, доступности программно-аппаратных средств для реализации алгоритмов модели и других факторов.

В «проактивном» (риск-ориентированном) подходе, предлагаемом авторами, прогнозируется возможность достижения директивно заявленной цели с учетом качества системы, поведение которой прогнозируется, и внешних рисков. Качество определяет темпы достижения цели. Предполагается, что закон развития системы неизвестен, но на горизонте прогнозирования не изменятся темпы (скорости) движения к заданной цели. На качество системы влияют внешние и внутренние обстоятельства и факторы, определяемые с помощью экспертных методов. Предлагаемый подход оперирует понятиями качества самого процесса и требованием к качеству результата. Утверждается, что процесс может развиваться в коридоре от максимальной до минимальной из наблюдаемых в прошлом волатильностей. Этот коридор задается скоростями изменения наблюдаемого параметра, оценивающего качество процесса, имевшими место в прошлом. Утверждается, что если прогнозируемый показатель находится в этом коридоре, система достигнет некоторого установленного прогнозного значения за заданное время. Метод определяет трудность достижения этого целевого значения, которую можно также трактовать как риск. Прогнозное значение задается заранее (являясь тем, что ожидают от системы в будущем, т. е. у ЛПП есть представление о качестве желаемого результата и требования к этому качеству), а рассчитывается риск недостижения этого значения за заданное время при некотором качестве рассматриваемой системы. Соответственно, ошибка прогнозирования оценивается в процессе движения к цели.

За пределами настоящей статьи оставлены вопросы, связанные с учетом высокой степени неопределенности в количестве и степени взаимовлияния значимых факторов, определяющих поведение исследуемых систем. Следует отметить, что организация работы рассматриваемых систем требует, как правило, крупных долгосрочных инвестиций, использования большого количества материальных ресурсов и привлечения многочисленного персонала. Большая распространенность элементов крупномасштабной системы по регионам требует также

наличия тесной связи с окружающей систему бизнес-средой (региональные власти, население, локальные потребители и поставщики, окружающая природная среда и т. д.), а также эффективного распределения функций и задач между различными элементами системы. При управлении такой системой необходимо учитывать не только результаты экономической эффективности текущей деятельности, но и требования, связанные с надежностью и устойчивостью дальнейшего ее функционирования. Свойства крупномасштабных систем и характеристики их функционирования также во многом зависят от выбранных параметров структуры системы.

Поскольку истинные законы распределения анализируемых случайных процессов и, главное, факторы, их определяющие, будут непрерывно корректироваться (прогнозный фон изменяется быстрее, чем накапливается адекватная статистика), необходимо использовать для прогноза критерии «свободные от распределений». В частности, необходимо в качестве критериев достижения прогностической цели брать не величины отклонений модельных и реальных данных, а критерии, используемые в методах классификации и распознавания образов. Например, в качестве измерения точности прогноза можно использовать величины ошибок предсказания первого и второго рода, причем, если удастся, в зависимости от того или иного вида замещающей технологии и в зависимости от значения параметров прогнозного фона.

Собственно, кризисы могут возникать как по внутренним, так и по внешним причинам. Поскольку чаще всего причина комбинированная, то статистически можно устранить только часть неопределенности, объяснимой отдельно только внешними или отдельно только внутренними причинами. Отсюда следует, что при анализе динамики редких событий только средствами технического анализа исторических данных (на этой основе строится большинство используемых в настоящее время моделей и инструментов) надеяться на полноту и точность прогноза, превышающие 50%, не следует. Кроме того, в концепции прогнозирования необходимо учитывать, что принимаемые в настоящее время политические решения далеки

от рыночных механизмов и речь идет о принудительном целеполагании и направленных действиях, обеспеченных в той или иной степени необходимыми ресурсами. Если выясняется, что достижение цели оказывается невозможным при сохранении стартовых условий, то требуется обнаружить это как можно раньше и так изменить параметры цели, чтобы она стала достижимой. Это изменение может выражаться в уменьшении количественной оценки планового результата, в увеличении времени на его достижение или в том и другом одновременно. Как следствие, прогностная задача прямого (цифрового) выражения цели (важная, но не основная) трансформируется в задачу мониторинга за достижением цели, что позволяет ЛПР своевременно идентифицировать и оперативно (адекватно) реагировать на изменяющуюся ситуацию. Задачей системы контроля за таким процессом является оценка текущего состояния системы, объема выполненных работ, риска невыполнения плана, а также близости состояния системы к критической области, откуда достижение цели будет невозможно при любых допустимых затратах.

Литература [References]

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2004, p. 524, <https://doi.org/10.1787/weo-2004-en>
2. Маркова В.М., Чурашев В.Н. Эволюция прогнозов развития мировой и российской энергетики: способ ответа на экономические вызовы // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20. № 3. С. 108—138, <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2020-20-3-108-138> [Markova V.M., Churashev V.N. Evolution of forecasts for the world and russian energy development: a way to respond to economic challenges // World of Economics and Management. 2020;20(3):108-138, (In Russ.), <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2020-20-3-108-138>]
3. Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития мировой энергетики. Часть II // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2010. № 58. 26 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-58> [Apolonsky O. Yu., Orlov Yu. N. Comparative analysis of long-term forecasts for the development of world energy, Part II // Preprints of IPM named after M. V. Keldysh. 2010;(58):26, (In Russ.), URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-58>]

4. Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития мировой энергетики. Часть III // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2012. №17. 26 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-17> [Apolonsky O. Yu., Orlov Yu. N. Comparative analysis of long-term forecasts for the development of world energy. Part III // Preprints of IPM named after M. V. Keldysh. 2012;(17):26, (In Russ.), URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-17>]
5. Данилов Е. Методика прогнозирования российско-го электротехнического рынка // Электротехнический рынок. 2008. №3(21). С. 18—19, URL: <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2021/09/20/321-2008.pdf> [Danilov E. Forecasting Methodology of the Russian Electrotechnical Market // Electrotechnical Market. 2008;(3):18-19, (In Russ.), <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2021/09/20/321-2008.pdf>]
6. Исмагилов Т.С. Методы решения задачи прогнозирования в энергетике // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 14. №4(39). С. 93—96 [Ismagilov T. S. Forecasting methods in energetics // Vestnik USATU. 2010;14(4):93-96, (In Russ.)]
7. Deuctor Studio. BIGroup Labs (<https://basegroup.ru/deductor/description>).
8. Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития мировой энергетики // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2007. №26. 28 с., URL: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2007-26> [Apolonsky O.Yu., Orlov Yu. N. Comparative Analysis of Long-Term Forecasts of World Energy Development // Preprints of IPM named after M. V. Keldysh. 2007;(28):28, (In Russ.), URL: <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2007-26>]
9. Глаголев А.И., Демин С.С., Орлов Ю.Н. Долгосрочное прогнозирование газового рынка: опыт сценарного программирования. М.: Институт энергодиалога «Восток–Запад», 2003. 128 с. [Glagolev A. I., Demin S. S., Orlov Yu. N. Long-term forecasting of the gas market: experience in scenario programming. M.: Institute of Energy Dialogue “East-West”. 2003. 128 p., (In Russ.)]
10. Theodosiou M. Forecasting monthly and quarterly time series using STL decomposition — 2011. — №27(4). — P. 1178—1195. Marina Theodosiou Forecasting monthly and quarterly time series using STL decomposition // International Journal of Forecasting. 2011;27(4):1178-1195, <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2010.11.002>.
11. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / Под ред. А.А.Макарова, Т.А.Митровой, В.А.Кулагина; ИНЭИ РАН — Московская школа управления СКОЛКОВО — Москва, 2019. — 210 с. — ISBN 978-5-91438-028-8 [Forecast for the development of energy in the world and Russia 2019 / edited by A. A. Makarov, T. A. Mitrova, V. A. Kulagin: INEI RAS — Moscow School of Management SKOLKOVO — Moscow, 2019. — 210 p., (In Russ.), ISBN 978-5-91438-028-8]
12. Хохлов А., Мельников Ю. Угольная генерация: новые вызовы и возможности. М.: Сколково, 2019. — 83 с. [Khokhlov A., Melnikov Yu. Coal generation: new challenges and opportunities. M.: Skolkovo, 2019. — 83 p., (In Russ.)]
13. Выгон Г., Ежов С., Колбикова Е. и др. Евро ТУР: цена вопроса. VYGON Consulting. Июнь 2021, 59 с. [Vygon G., Yezhov S., Kolbikova E, et al. Euro TOUR: question price. VYGON Consulting. June 2021, 59 p., (In Russ.)]
14. Руссман И.Б., Каплинский А.И., Умывакин В.М. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы. Воронеж: ВГУ, 1991, 168 с. [Russman I. B., Kaplinsky A. I., Umyvakin V. M. Modeling and algorithmization of poorly formalized problems of choosing the best system options. Voronezh: VSU, 1991. 168 p., (In Russ.)]
15. Бермант М.А., Руссман И.Б. О проблеме оценки качества // Экономика и математические методы. 1978. №4. С. 691—699. [Bermant M. A., Russman I. B. On the problem of quality assessment // Economics and mathematical methods. 1978;(4):691-699, (In Russ.)]
16. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с. [Zade L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate decision-making. M.: Mir. 1976. 165 p., (In Russ.)]
17. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой информации. М.: Наука, 1981. 206 с. [Orlovsky S. A. Problems of decision-making in case of fuzzy information. M.: Science. 1981. 206 p., (In Russ.)]
18. Фишбеин П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 352 с. [Fishbein P. Theory of utility for decision-making. M.: Science. 1978. 352 p., (In Russ.)]
19. Руссман И.Б. Инвариантные функционалы // Изд. АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. 1978. №4. С. 209—211. [Russman I. B. Invariant functionals // Ed. USSR Academy of Sciences. Ser. Technical cybernetics. 1978;(4):209-211, (In Russ.)]

Сведения об авторах

Бочков Александр Владимирович: доктор технических наук, ученый секретарь Научно-технического совета Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»)

Количество публикаций: более 100

Область научных интересов: анализ и оценка риска; системный анализ; исследование операций; анализ уязвимости и живучести объектов критической инфраструктуры; экспертные методы

ORCID ID: 0000-0003-0211-8320

Researcher ID: A-4101-2014

Scopus Author ID: 57188739597

SPIN-код: 8277-6641

AuthorID: 660808

Контактная информация:

Адрес: 107078, Москва, Орликов переулок, д. 5, стр. 1
a.bochkov@vniias.ru

Сафонов Владимир Сергеевич: доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Центра технологического прогнозирования и научно-технической информации Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

Количество публикаций: более 200

Область научных интересов: технологии трубопроводного транспорта и хранения природного газа и газового конденсата, нефти; моделирование гидродинамических и тепломассообменных процессов; промышленная, пожарная и экологическая безопасность в газовой отрасли; методология анализа риска аварий на объектах нефтегазового и химико-технологического профиля; безопасность морских нефтегазовых объектов; безопасность объектов СПГ; проблемы обеспечения устойчивого функционирования и прогнозирования развития ЕСГ России с учетом трендов мировой энергетики

SPIN-код: 3947-4087

AuthorID: 210789

Контактная информация:

Адрес: 142717, Московская обл., пос. Развилка, ул. Газовиков, владение 15, стр. 1
V_Safonov@vniigaz.gazprom.ru

Статья поступила в редакцию: 03.03.2023

Одобрена после рецензирования: 27.03.2023

Принята к публикации: 28.03.2023

Дата публикации: 28.04.2023

The article was submitted: 03.03.2023

Approved after reviewing: 27.03.2023

Accepted for publication: 28.03.2023

Date of publication: 28.04.2023