



СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Никитин С.Н.¹, Филютнич И.С.¹, Войтехович И.В.²

¹ Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси

² Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны»
Национальной академии наук Беларуси

Реферат – Дан обзор современных методов и моделей, используемых при прогнозировании развития энергетических систем, приведена их краткая классификация, выделены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: прогнозирование, спрос, электроэнергия, модель, энергосистема.

MODERN APPROACHES TO FORECASTING THE ENERGY SYSTEM DEVELOPMENT

NIKITSIN Siarhei¹, FILIUTSICH Ivan¹, VOITEKHOVITCH Irina²

¹ Institute of Power Engineering National Academy of Sciences of Belarus

² Joint Institute of Nuclear and Power Researches "Sosny" National Academy of Sciences of Belarus

Abstract – A review of current methods and models used to the energy systems development forecast is made, classification of these models is presented, their strengths and weaknesses are highlighted.

Keywords: forecasting, demand, electricity, model, energy system

METODE CONTEMPORANE PENTRU PROGNOZAREA DEZVOLTĂRII SISTEMELOR ENERGETICE

Nikitsin S.N.¹, Filiutici I.S.¹, Voitehovici I.V.²

¹ Institutul de Energetică al Academiei Naționale de Științe din Bielorusia

² Institutul Unificat de cercetări energetic și nucleare "Sosna" al AȘN din Bielorusia

Rezumat – Se prezintă o revizuire a metodelor contemporane și modelelor utilizate pentru prognozarea dezvoltării sistemelor energetice, se aduce o clasificare scurtă a lor, se evidențiază avantajele acestora și neajunsurile.

Cuvinte cheie: prognozare, cerere, energie electrică, model, sistem energetic.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие энергетики в значительной степени определяет развитие промышленного производства и общества в целом. Поэтому прогнозирование потребностей в топливно-энергетических ресурсах является важной и в то же время сложной задачей. Это в равной степени относится и к электроэнергетической отрасли, так как она является очень важной составной частью топливно-энергетического комплекса.

Прогнозирование развития электроэнергетики – сложная технико-экономическая задача, для решения которой можно применять различные методы. Важность этой задачи заключается в том, что при неточном прогнозировании будет строиться больше энергетических мощностей, чем необходимо (что приведет к омертвлению капиталовложений и дополнительным эксплуатационным расходам), или наоборот, недостаток энергогенерирующих

мощностей приведет к нехватке электроэнергии и, как следствие, уменьшению темпов развития экономики.

Энергетическое планирование направлено на решение нескольких задач, таких как: минимизация стоимости товаров и услуг, снижение загрязнения окружающей среды, уменьшение зависимости от импорта энергоносителей; достижение стратегических или тактических результатов развития; оптимальное обеспечение энергией различных секторов потребления (промышленность, транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, сектор услуг и т.п.).

В то же время, наличие неопределенностей развития оказывает существенное влияние на моделирование энергосистем: изменяющиеся социально-экономические условия, граничные условия, доступность ресурсов и технологий, изменение цен на энергоносители или влияние новых технологических и научных достижений [1-3].

Для описания столь сложных систем требуется огромное количество информации, а для анализа различных аспектов и получения реальных результатов необходимы мощные программно-вычислительные средства. Поэтому применение математического моделирования для процесса анализа и планирования энергетических систем становится совершенно очевидным.

1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА

Для системы производства электроэнергии можно определить несколько основных задач: 1) удовлетворение прогнозируемого потребительского спроса на электроэнергию с соответствующим уровнем надежности энергоснабжения; 2) обеспечение минимальных затрат в системе производства электроэнергии. К вышеперечисленным задачам следует добавить еще одну: 3) оценка воздействия на окружающую среду различных технологий производства электроэнергии. Важность решения этих задач обусловлена потребностью в планировании спроса на электроэнергию со стороны промышленных и коммунальных потребителей и удовлетворении этого спроса с наименьшими финансовыми затратами, надлежащим уровнем надежности и по приемлемым тарифам, обеспечении энергетической безопасности страны, а также минимизации выбросов в окружающую среду с электрогенерирующих объектов. Ведь производство электроэнергии не является самоцелью для энергетических систем, так как в отличие от других товаров электроэнергию нельзя «складировать». Поэтому первым и важным шагом при планировании развития энергосистем является прогнозирование спроса на электрическую и тепловую энергию.

Знаменитый физик Нильс Бор говорил, что «Очень трудно сделать точный прогноз, особенно о будущем». Вслед за Бором можно отметить, что с достоверностью о прогнозировании спроса можно сказать только то, что он редко совпадает с действительностью. Чтобы избежать подобного результата, при прогнозировании спроса необходимо использовать такую методику, которая бы соответствовала задачам прогноза. При прогнозировании спроса нет единственно правильной методики. Ее выбор будет зависеть от многих факторов: рассматриваемого периода времени, масштаба системы, существующего оборудования и имеющейся информации. Другими словами, тип выбранной методики прогнозирования спроса должен соответствовать условиям исследования и основываться на имеющихся данных.

Тем не менее, прогнозировать спрос имеет смысл хотя бы для того, чтобы учесть возможные сценарии, которые будут рассматриваться как исходные данные при прогнозировании развития производственных мощностей.

Методы прогнозирования спроса можно разделить на нисходящие и восходящие. В нисходящих методах спрос определяется с помощью совокупных экономических показателей, таких как ВВП, в то

время как в восходящих методах используется подробное описание энергопотребляющих технологий для определения спроса на электроэнергию от конечного потребления на уровне отдельных технологий до масштабов страны.

Существуют различные методы для прогнозирования спроса на электроэнергию [4–6]:

- метод анализа трендов;
- метод конечного потребления;
- эконометрический метод;
- метод временных рядов;
- усовершенствованные методы, такие как теория хаоса, нейронные сети, нечеткая логика;
- гибридные методы.

В методе анализа трендов исследуются тенденции спроса на протяжении длительного периода времени в прошлом, а затем полученный тренд продлевается на будущее. Тренд характеризуется как «долговременный средний рост» и в некотором роде может рассматриваться как средний прирост временного ряда. Данный метод – непричинный метод прогнозирования спроса, который не объясняет, чем обусловлено изменение значения прогнозируемой переменной. Прогнозируемая переменная выражается строго как функция времени, не имеющая отношения к остальным экономическим, демографическим, политическим и технологическим переменным.

Преимущества метода анализа трендов заключаются в его простоте и легкости использования. Однако он пренебрегает возможным взаимодействием изучаемой переменной с другими экономическими факторами. Например, роль доходов, цен, роста населения и урбанизации, политические изменения и т.д. методом не учитываются. Основной идеей метода анализа трендов является то, что значение исследуемой переменной определяется только временным фактором, другими словами, что модель поведения переменной в прошлом продолжится в будущем.

В качестве примера на Рис. 1 приведен прогноз спроса на электроэнергию в Беларуси на 2015 г. с помощью метода анализа трендов.

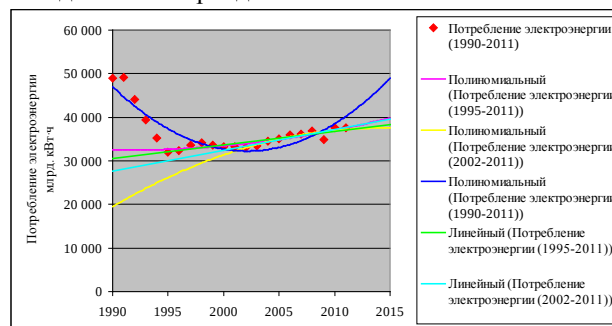


Рис. 1. Применение метода анализа трендов для прогноза спроса на электроэнергию в Беларуси

Метод конечного потребления или инженерно-экономический подход (также известный как подход «снизу-вверх») – это другой широко используемый способ прогнозирования спроса на энергию. В данном методе основное внимание сосредоточено на конечном потреблении на деагрегированном уровне.

Был разработан широкий спектр моделей, в которых реализован данный подход, но эти модели различаются по степени дезагрегирования, представлению и выбору технологии, цели и уровню макроэкономической интеграции.

Как правило, модели на основе метода конечного потребления являются либо симуляционными, либо оптимизационными, а описание технологий может быть как явным (если рассматриваются конкретные технологии), так и стилистическим. Связь с макроэкономикой часто ограничена использованием специальных или общих влияющих переменных, однако некоторые модели могут использоваться совместно с макромоделью, которая описывает ее влияние.

Отличительным признаком моделирования с использованием метода конечного потребления является детальное описание того, как используется энергия. В таком случае моделирование обычно начинается с определения видов конечного потребления энергии, таких как нагрев воды, отопление и кондиционирование зданий, освещение, приготовление пищи. Затем с помощью математических уравнений модель описывает работу энергопотребляющего оборудования, которым оснащены предприятия и жилые дома, с учетом количества потребляемой этим оборудованием энергии.

Такая модель требует большое количество статистических данных и дополнительных исследований, в противном случае всегда есть риск пропустить изменение реакции потребителей. Умножая различные виды оборудования на среднее количество потребляемой ими энергии и суммируя полученные произведения, можно получить общий объем спроса на энергию по видам топлива. Такой подход является всего лишь системой учета, но даже так можно строить предположения о потреблении энергии, а также проводить экстраполяции в будущее. Прогнозирование на основе метода конечного потребления может обладать высокой точностью, особенно для прогнозов спроса в жилищном секторе. В эконометрических методах, как и в методах временных рядов (экстраполяции), используются накопленные статистические данные для прогнозирования на будущий период. Однако в методах эконометрического анализа, в отличие от методов на основе временных рядов, дается объяснение причин обнаруженных тенденций. Эконометрический подход объединяет экономическую теорию со статистическими методами, чтобы построить систему уравнений для прогнозирования спроса на энергию. В моделях на основе эконометрического подхода используются явные причинные связи между зависимой переменной (спрос на энергию) и независимыми переменными, такими как экономические (например, ВВП), технологические (например, количество и виды энергопотребляющих устройств, промышленных процессов), демографические (например, население) и другие движущие силы спроса. На основании этих

связей определяется историческая зависимость между спросом на электроэнергию и его драйверами. В дальнейшем, прогнозируя уровень драйверов спроса (ВВП, численность населения, количество тех или иных приборов, установок, технологий и т.д.) получаем исходные данные для определения спроса на энергоресурсы.

Для использования эконометрического метода необходим последовательный набор данных за достаточно долгое время. К тому же данный метод не лишен некоторых недостатков. В частности, при прогнозировании некорректно предполагать индивидуальные темпы роста для определяющих спрос переменных, так как темпы их изменения могут быть взаимосвязаны (чаще всего так и происходит). Более того, при таком подходе не удастся принять в расчет или так или иначе зафиксировать роль определенных политических мер (экономических потрясений), которые могут противоположным образом влиять на изменение в поведении описываемой переменной.

В качестве примера на Рис. 2 приведен прогноз спроса на электроэнергию в Беларуси на 2015 г. с помощью эконометрического метода.

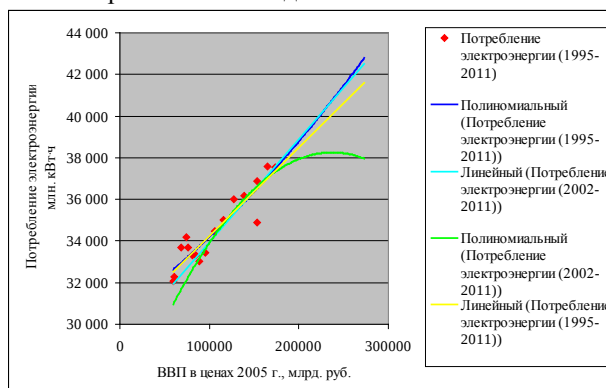


Рис. 2. Применение эконометрического метода для прогноза спроса на электроэнергию в Беларуси

В качестве примеров усовершенствованных методов можно назвать методы, основанные на нейронных сетях, теории хаоса и нечеткой логики. Применение данных методов позволяет разработать математические и вычислительные модели, которые позволяют установить сложные взаимосвязи между входными и выходными данными или установить определенные закономерности в данных, чтобы моделировать структуру и/или функциональные аспекты поведения системы. Модели, основанные на усовершенствованных методах, могут «обучаться» на внешних (задаваемых или получаемых извне) или внутренних (получаемых в процессе работы модели) данных. Также с помощью усовершенствованных методов можно делать более надежные и стабильные прогнозы, чем с применением традиционных методов. Следует заметить, что в настоящее время усовершенствованные методы являются в какой-то мере экспериментальными, однако они получают все более широкое распространение в странах Западной Европы и США, особенно для краткосрочного прогнозирования. Основным недостатком данных

методов является то, что их применение требует специальных знаний, навыков и подготовки, а получаемые с их помощью прогнозы не являются очевидными для значительной части заинтересованных сторон (лиц, принимающих решения в сфере энергетики, инвесторов, общественности).

Гибридные методы являются комбинацией тех или иных методов, которые были отмечены выше. В качестве примера можно привести метод, который объединяет как эконометрический метод с методом временных рядов или методом конечного потребления.

2. МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

К настоящему времени разработано достаточно большое число математических моделей и программ для решения различных задач стратегического планирования и комплексного энергетического моделирования. Их перечень включает модели оптимизации электрогенерирующих мощностей, модели анализа функционирования энергосистем, макроэкономические, социально-технические и другие модели. Большинство из них свое бурное развитие получили после нефтяного кризиса 1970-х годов, что в свою очередь привело к значительным изменениям в приоритетах энергетической политики – энергия стала стратегическим товаром, который оказался напрямую связан с жизнедеятельностью всех промышленно развитых экономик, постепенно занимая центральное место в геополитике на всем земном шаре. Вопросы энергетической безопасности стали ключевыми при рассмотрении политики национальной безопасности; системный комплексный подход заменил традиционную практику разрозненного рассмотрения отдельных секторов экономики. Использование разработанных многочисленных моделей на институциональном и национальном уровнях стало жизненно необходимо для проработки и анализа долгосрочных стратегий развития.

Следует отметить, что в США и ЕС компьютерные модели как механизмы поддержки принятия решений начали использоваться в энергетической политике с 1970 года, то есть использование инструментальных средств энергетического планирования и анализа в рамках процесса принятия стратегических решений является уже устоявшейся практикой.

Ниже представлен обзор и краткая характеристика моделей на основании некоторых их особенностей, а именно, применяемой методологии, аналитического подхода, географических и временных рамок, технико-экономических данных.

Самым значимым признаком при классификации моделей является классификация по **используемой методологии**. Наиболее известными методологиями для энергетических моделей являются [5, 7]:

- **симуляционные модели**, которые основаны на алгоритмах таблиц ввода/вывода, уравнениях

векторной алгебры, эконометрических уравнениях и т.д.;

- **оптимизационные модели**, которые используют линейное программирование (ЛП), динамическое программирование (ДП), и другие оптимизационные алгоритмы.

Симуляционные модели больше подходят для исследовательского подхода. Они являются моделями выбора, когда нужно ответить на вопрос «Что случится, если лицо, принимающее решение, выберет эту стратегию?». С помощью симуляционных моделей можно получить ясную картину того, как энергетическая система будет реагировать на внутренние или внешние изменения.

Оптимизационные модели в первую очередь позволяют получить ответ на вопрос типа «Как можно достичь определенного оптимума?». Оптимизационные модели являются моделями выбора, когда есть только один, хорошо описанный и охарактеризованный объект. Оптимизационные модели позволяют, например, получить план развития генерирующих мощностей с наименьшими затратами. Вторым по значимости дифференцирующим признаком среди моделей является используемый **аналитический подход**, согласно которому модели можно разделить на следующие классы [5, 7, 8]:

- «нисходящие» модели;
- «восходящие» модели;
- гибридные модели;
- гибридные модели комплексной оценки;
- полуколичественные модели;
- качественные модели.

«Нисходящие» модели получили свое название, потому что представляют собой всю экономику как совокупность относительно небольшого числа комбинированных переменных и уравнений. В этих моделях каждый сектор представлен производственной функцией, предназначенной для выявления и имитации потенциальной зависимости между основными (вводимыми) факторами производства (такими как энергетика, капитал и труд) и объемом выпуска продукции каждым сектором. Функционирование моделей основано на принципах частичного равновесия, которое означает, что соотношение между вводимыми факторами и итоговым выходом продукции находится в равновесии в базовом году. В этой категории находится ряд моделей национальных или глобальных энергетических систем.

«Восходящие» модели представляют собой очень подробные, технологически направленные модели, которые ориентированные прежде всего на энергетический сектор экономики. В этих моделях каждая энергопотребляющая технология определяется подробным описанием ее технических и экономических характеристик. В восходящих моделях каждый сектор состоит из детального перечня технологий, связанных между собой их входными и выходными параметрами (энергоносители, материалы, товары, выбросы, спрос на энергетические услуги).

В восходящих моделях единица выпускаемой продукции сектора (например, один миллион перевезенных пассажиро-километров или один МВт·ч выработанной энергии) производится с использованием некоторой комбинации продукции, выпускаемой отдельными технологиями. Таким образом, производственная функция сектора является неявной и может быть достаточно сложной – в зависимости от сложности соответствующей энергосистемы каждого сектора.

В восходящих оптимизационных моделях для энергетического сектора минимизируется или максимизируется целевая функция, общий вид которой представлен уравнением (1) [9].

$$B_j = \sum_{t=1}^T [\bar{I}_{j,t} - \bar{S}_{j,t} + \bar{F}_{j,t} + \bar{L}_{j,t} + \bar{M}_{j,t} + \bar{O}_{j,t} + \bar{C}_{j,t}] \quad (1)$$

где B_j – это целевая функция, соответствующая данному плану развития электроэнергетической системы,

t – время в годах (1, 2, ..., T),

T – продолжительность периода планирования (общее число лет).

I – капитальные затраты,

S – ликвидационная стоимость основных фондов,

F – стоимость топлива,

L – стоимость запасов топлива,

M – эксплуатационные затраты и затраты на техническое обслуживание и ремонт,

O – стоимость недопоставленной энергии.

C – углеродный налог

Черта над символом означает дисконтированные величины с приведением к указанной дате со ставкой дисконта i .

Оптимальный план развития определяется как минимум B_j по всем j .

В качестве необходимых входных данных используются кривая продолжительности нагрузки по электроэнергии, пиковая нагрузка по периодам и годам, экономические характеристики станций, технические характеристики станций и другие системные ограничения.

Основные различия такого рода моделей сводятся к следующему:

- нисходящие модели учитывают макроэкономические показатели за пределами энергетического сектора, такие как ставка заработной платы, объем потребления ресурсов, ВВП и банковские процентные ставки. Для данного класса моделей наиболее важным является фокусирование на рыночных механизмах и экономических взаимодействиях и связях производителя с потребителем, при этом технологическая детализация часто опускается. Данные модели обычно представляют технологии с использованием агрегированных производственных функций для каждого сектора экономики;
- восходящие модели учитывают подробное представление различных технологий

(существующих или будущих) для удовлетворения спроса на энергию, а также позволяют отслеживать широкий спектр произведенных товаров. Восходящие модели традиционно отличает технологически ориентированный подход, при этом спрос на электроэнергию рассматривается как заданная величина либо как функция стоимости энергии и уровня национального дохода. Технологии обычно описываются посредством линейных моделей, основанных на инженерных данных о затратах в течение жизненного цикла и термодинамического КПД.

Гибридные модели – в основном это нисходящие модели, которые включают в себя достаточно детальное представление технологий и оценку их влияния на окружающую среду.

Гибридные модели комплексной оценки – в основном восходящие модели с детальным описанием используемых технологий и комбинирующие экономические, технологические и экологические характеристики; чаще всего используются для оценки воздействия климатических стратегий, описываемых функцией ущерба.

Полуколичественные модели – используют аналитический подход, который учитывает не только количественные аспекты, но и качественные, как, например, аспекты социальной приемлемости энергетических проектов

Качественные модели – используют аналитический подход к не поддающимся расчету аспектам преобразования энергосистем, к примеру, таким как социальные изменения, вопросы, связанные с управлением энергосистемой или вопросы планирования политики в области энергетики.

По рассматриваемому масштабу модели можно классифицировать следующим образом [5]:

Дезагрегированные модели – представляют собой очень подробные модели, которые рассматривают и предлагают решения вопросов, связанных с компоновочным проектированием, например, завода, оценкой ресурсного потенциала, расширением или укреплением инфраструктуры. Результаты расчетов с помощью таких моделей могут служить в качестве исходных данных для более сложных, агрегированных моделей и могут представить количественные значения для таких факторов как капитальные затраты, КПД, ресурсы, барьеры и т.д.

Модели секторального уровня применяются для анализа некоторых частей энергетической системы, используя разные уровни детализации, например, моделирование работы энергосистемы в целом или электроэнергетической системы в частности, либо представление модели для единых рынков топливных ресурсов или для отдельных секторов экономики.

Модели энергосистем предназначены для анализа развития всего топливно-энергетического комплекса в сочетании его частей (различные сектора и виды топлив) с упором на конкуренции и взаимодополняемости энергетических технологий.

Макроэкономические модели включают в себя как энергетическую систему, так и другие сектора экономики с возможностью их взаимодействия между собой. Как правило, энергосистема описывается как один из компонентов экономической системы (как правило, в ущерб уровню детализации первой).

Модели «энергетического поведения» (формирования поведения при спросе на энергию) предназначены, главным образом, для анализа поведения потребителей, их предпочтений при принятии решений об использовании различных энергопотребляющих технологий или видов энергоресурсов, что в конечном итоге влияет на энергопотребление (с упором на секторах, формирующих спрос). Эта категория моделей также включает полуколичественные инструменты, занимающиеся вопросами социального принятия.

Модели социально-технических сценариев (СТС) отражают способы возникновения переходных траекторий (или путей перехода из одного состояния в другое) в процессе взаимодействия между кругом участников и правилами, по которым они взаимодействуют (технические, правовые, финансовые, инфраструктурные и т.д.). Целью СТС является демонстрация того, как различные траектории перехода могут быть приведены в

движение с помощью различных многоуровневых связей.

Модели горизонтального сканирования (сканирования перспектив) направлены на системный анализ потенциальных угроз, возможностей и вероятных будущих событий, включая (но не ограничиваясь) теми, которые кажутся менее важными в рамках текущего анализа и планирования. Целью является выявление потенциального воздействия «диких карт» (WI) [10] и «слабых сигналов» (WE) [11] на Европу и мир. «Дикие карты» – это ситуации (или события), которые воспринимаются с низкой вероятностью возникновения, но имеют потенциально сильное воздействие в случае, если они происходят. «Слабые сигналы» представляют собой неявные наблюдения, признаки, предупреждающие людей о вероятности будущих событий (в том числе «диких карт»).

В таблице 1 далее представлена структуризация наиболее известных моделей согласно их общим характеристикам/типу и используемому аналитическому подходу [5, 7, 8].

Таблица 1. Структуризация наиболее известных моделей

Тип модели	Наименование	Подход
Деагрегированные модели	BALMOREL, CGEN, ESPAUT, GreenNET–Europe model, MTSIM, REMARK, SAMLAST, WASP, WILMAR, Wilmar Planning Tool (JMM, STT).	нисходящий
Модели секторального уровня	BEST, COALMOD, COMPETES, EMELIE, EMM, GASMOT, Long term energy demand model (MURE,ISI,TEP), Model for Power Plant and Transmission Expansion, MoreHys, OILMOD, POWERS, RESolve–E, RESolve–T, ROM, TEMPO.	восходящий
Модели энергосистем	E2M2s, EFDA–TIMES, EnergyPLAN, ENPEP–BALANCE, ETP model, GET, GMM, GRAPE, IMAGE–TIMER, INVERT, LEAP, MDM–E3, MESSAGE, MINI–CAM, POLES, PRIMES, TIAM–World, TIMES PanEU, WEM	гибридно-комплексной оценки восходящий
Модели макроэкономического уровня	ABARE–GTEM, ADAGE, AIM, AMIGA, COMBAT, DICE, DNE21+, E3ME, E3MG, EDGE, ENV–Linkages, EPPA, FUND, GEM–CCGT, GEM–E3, GEMED, GEMINI–E3, GTAP–E, IGEM, IMACLIM, IPAC, MERGE, MIRAGE, NEMESIS, NEMS, NEWAGE, PACE, REMIND–R, RICE, SGM, UKENVI, WIAGEM.	нисходящий гибридный гибридно-комплексной оценки
Модели «энергетического» поведения	ESTEEM, Changing Behavior, IEE – Behave/PRECEDEPROCEED Planning Model, Climate Bonus/Carbon footprinting, monitoring, feedback & rewards.	полуколичественный
Социально-технические модели	STSc SocioTechnical Scenario, GoReNEST framework.	количественный
Модели горизонтального сканирования	Horizon Scan, iKnow	количественный

Необходимо подчеркнуть, что модель может соответствовать более чем одной категории – например, модель функционирования энергосистемы может быть классифицирована и как дезагрегированная модель, и как модель секторального уровня. Соответственно, любой подход к категоризации моделей может брать за основу различные признаки.

В заключение хотелось бы отметить, что в последние годы все внимание разработчиков крупных моделей энергетических систем сконцентрировано на анализе энергетической системы, построенной по модульному принципу. Модульная структура позволяет использовать модели либо в качестве полноправных интегрированных моделей, которые связаны с другими крупными моделями и базами данных, или в качестве самостоятельных моделей на технологическом, секторальном, национальном или региональном уровне.

ВЫВОДЫ

Прогнозирование и энергетическое планирование означает поддержку решений правительства в преодолении проблем на пути к более эффективному использованию энергии. Анализ энергетической системы позволяет провести всестороннюю и системную оценку полной энергетической системы, включающей взаимосвязанные энергетические потоки и применяемые технологии. В контексте планирования и принятия решений анализ энергоснабжения и потребления должен содержать в себе проекцию энергетического потребления на будущее с учетом общего экономического и социального развития страны. Энергетическая стратегия определяет роль и место энергетики в социально-экономической жизни страны и, соответственно, требования государства к энергетическому сектору, при которых хозяйствующие субъекты в состоянии выполнить свои функции.

Все подходы к моделированию энергосистем похожи в том плане, что они по существу являются количественными и используют математические формулировки и уравнения, параметры которых могут быть оценены либо эконометрически, либо которые состоят из технических параметров. Каждая энергетическая модель имеет свои преимущества и недостатки. Пользователь, с учетом преимуществ и недостатков, выбирает наиболее подходящую модель для целей своих исследований.

Такое многообразие моделей является очевидным подтверждением тому, что использование прогнозирования и планирования – неотъемлемая практика практически во всех экономически развитых странах. Выбор наиболее подходящей модели планирования в области энергетики для каждой страны будет разным, потому что он зависит от уровня снабжения первичной энергией, топливных цепочек и преобладающих векторов энергетической политики.

Многие правительственные и общественные организации, академические институты, консалтинговые компании в разных странах используют такие модели, в том числе для проработки и анализа долгосрочных стратегий развития, прогнозирования потребления энергоресурсов, интегрированного ресурсного планирования, исследования сценариев развития топливно-энергетического комплекса, а также для оценки и прогноза выбросов парниковых газов и анализа возможностей их сокращения. Модели энергетического анализа и планирования используются на разных уровнях принятия решений, например, на местном, национальном, региональном и глобальном.

С точки зрения продвижения стандартов в области энергетического анализа и планирования к международным стандартам, ограничения по использованию моделей энергетического планирования в Беларуси в основном связаны с доступностью данных. Модели энергосистем, используемые в мировом масштабе, такие как PRIMES, TIMES, NEMS и ENPER, представляют собой большие сложные модели, полномасштабное использование которых требует детальной исходной информации и использование результатов расчетов с помощью других моделей для получения значений некоторых внешних переменных.

По мере либерализации экономики и укоренения рыночных условий хозяйствования во многих странах инвесторы все чаще будут использовать оптимизационное планирование (преимущественно в краткосрочном и среднесрочном периодах) для минимизации затрат, в то время как государственные органы и общественные организации – энергетическое планирование и прогнозирование (преимущественно в среднесрочном и долгосрочном периодах), что позволит им сосредоточиться на аспектах энергетической безопасности, устойчивого развития и анализе смягчения последствий изменения климата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *DECADES Project Working Document No.4: Enhanced Electricity System Analysis for Decision Making / A Reference Book.* – Vienna: IAEA, 2000. – 230 p.
- [2] *Методы исследования и управления системами энергетики* / Беляев Л.С., Воропай Н.И., Кононов Ю.Д. [и др.]; под общ. ред. Беляева Л.С. – Новосибирск: Наука, 1987. – 371 с.
- [3] Левченко С.А., Якушев А.П. *Планирование развития энергетических систем* / Минск: «Белорусская наука». – 2007. – 292 с.
- [4] *Principles of Forecasting / A Handbook for Researchers and Practitioners.* – Kluwer Academic Publishers: New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. – 2001. – 862 p.
- [5] Amerighi O., Ciorba U., Tommasino M.C. *Inventory and characterization of existing tools – ATEsT Models Characterization Report* / Amerighi O., Ciorba U., Tommasino M.C./ ENEA, Italy – 2010. – 89 p.
- [6] Paul P. Craig, Ashok Gadgil, Jonathan G. Koomey. *What can history teach us? A Retrospective Examination of Long-Term Energy Forecasts for the United States / Annual Review Energy Environment* 27:83–118. – 2002. – 36 p.

- [7] Якушев А.П. *Прогнозирование и энергетическое планирование* / Учебно-методическое пособие. – Мн: БГТУ. – 2004. – 133 с.
- [8] Loulou R., Remne U., Kanudia A., Lehtila A., Goldstein G. *Documentation for the TIMES Model PART I* / Paris, France. – 2005. – 78 p.
- [9] *Wien Automatic System Planning (WASP) package: A Computer Code for Power Generating System Expansion Planning*. Version WASP-III Plus, User's Manual / Vienna: IAEA, 1995. – Vol. 1–2. – 426 p.
- [10] *Thinking about the future – Strategic anticipation and risk assessment and horizon scanning* / National Security Coordination Secretariat and S. Rajaratnam School of International Studies Nanyang Technological University. – Singapore. – 2008. – 199 p.
- [11] Godet, M. *From anticipation to action* / UNESCO, Paris, France. – 1994. – 292 p.



Никитин Сергей Николаевич (родился 29.12.1966) – старший научный сотрудник Института энергетики Национальной академии наук Беларуси. В 1993 г. окончил Московский инженерно-физический институт. В 1999 г. закончил курсы МАГАТЭ по энергетическому планированию, в 2006 г. – курсы МАГАТЭ по использованию программы MESSAGE. Сфера научных интересов – энергетическое планирование и прогнозирование, проблема минимизации выбросов парниковых газов от энергетического сектора. Владеет английским языком.



Фильютнич Иван Сергеевич (родился 19.09.1981) – научный сотрудник Института энергетики Национальной академии наук Беларуси. В 2004 г. закончил Белорусский государственный технологический университет, в 2006 г. – курсы МАГАТЭ по использованию программы MESSAGE, в 2011 г. – бизнес-школу Открытого университета Великобритании, в 2012 г. получил степень MBA в Международном институте менеджмента ЛИНК. Сфера научных интересов – энергетическое прогнозирование и планирование, исследования в сфере экономики энергетики и энергоэффективных технологий, бенчмаркинга энергоэффективности. Владеет английским и испанским языками.



Войтехович Ирина Владимировна (родилась 26.09.1982) – аспирант объединенного института энергетических и ядерных исследований «Сосны» Национальной академии наук Беларуси. В 2006 году закончила Белорусский национальный технический университет (магистр). Тематика исследований – прогнозирование выбросов парниковых газов в энергетике, устойчивое развитие, низкоуглеродная экономика. Владеет английским языком.