

**Б.А. КОСТЮКОВСКИЙ**, канд. техн. наук**Е.А. РУБАН-МАКСИМЕЦ****Д.П. САС****М.В. ПАРАСЮК**

Институт общей энергетики НАН Украины, Киев

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ЛИБЕРАЛИЗАЦИИ И ГЛОБАЛИЗАЦИИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ И ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

*В работе рассмотрены проблемы прогнозирования развития энергетики в условиях либерализации и глобализации мировой экономики и интернационализации экологических ограничений. Приведены теоретические и методологические основы разработки таких прогнозов в этих условиях.*

### Постановка проблемы

Обоснование, разработка и осуществление государственной политики в области энергетики, охватывающей, в наиболее широком понимании этого термина, все процессы производства, транспортировки, преобразования и использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), как и получение информации, необходимой при принятии управленческих решений субъектами, работающими на рынках ТЭР, базируются на исследованиях перспектив развития национальной энергетики. Основным результатом этих исследований являются научно обоснованные прогнозы развития энергетики страны, лежащие в основе принятия управленческих решений на разных иерархических уровнях.

Для решения этой задачи в последней четверти XX века был разработан теоретико-методологический подход, который стал по сути классическим [1–3], и основывался на последовательном решении задач формирования перспективной потребности в ТЭР и разработки прогноза развития энергетики, который обеспечивает минимизацию затрат на её покрытие.

Этот подход базируется на методологии “сверху-вниз” (top-down) и в наиболее общем случае предполагает проведение исследований в три этапа.

На первом этапе разработки прогноза развития энергетики решается задача формирования макроэкономического прогноза, для чего использовались различные эконометрические

методы, производственные функции, а также межотраслевые методы [4].

При разработке этих прогнозов определяются объёмы производства продукции по разным секторам экономики  $W_{kt}$ , где  $k$  – индекс сектора экономики, в которые логично агрегированы отдельные виды экономической деятельности,  $k \in K$ , а  $t$  – индекс расчётного этапа,  $t = 1 \div T$ . Множество  $K$  в свою очередь разбивается на два подмножества  $K'$  в  $K$ , которые соответствуют неэнергетическим и энергетическим секторам экономики.

На основании этой информации на втором этапе производится оценка потребности в различных видах ТЭР для неэнергетических секторов экономики, то есть тех, чья деятельность не связана с добычей (производством), транспортировкой и распределением ТЭР в соответствии с выражением:

$$\sum_{k \in K'} a_{ikt} \cdot W_{kt} = W_{it}, \quad \forall i, \forall t, \quad (1)$$

где  $a_{ikt}$  удельные прогнозные расходы  $i$ -го вида ТЭР,  $i = 1 \div I$ , в неэнергетических секторах экономики,  $W_{it}$  – конечное потребление  $i$ -го вида ТЭР.

На последнем, третьем этапе, формируется прогноз развития энергетики как решение оптимизационной задачи, которая в наиболее общем случае может быть записана в виде:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k \in K'} \sum_{i=1}^I c_{kit} * W_{kit} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K'} W_{kit} = W_{it}, \quad \forall i, \forall t, \quad (3)$$

где  $W_{kit}$  – объём производства  $i$ -го вида ТЭР,  $c_{kit}$  – стоимость ТЭР или затраты на их производство, переработку, транспортировку и т.п.

Традиционные подходы были корректными для периода времени, когда они разрабатывались, что определялось:

- Стабильными тенденциями развития национальных экономик, их относительной замкнутостью – стабильностью ассортимента импорта и экспорта, что позволяло эффективно использовать методы анализа тенденций и межотраслевые методы прогнозирования.
- Энергетика рассматривалась как инфраструктурная отрасль экономики, задачей которой являлось надёжное покрытие потребности экономики в ТЭР при минимальных ценах. Это обеспечивалось достаточно жестким государственным контролем над уровнями цен на ТЭР, как при плановой, так и рыночной модели организации экономики (при рыночной модели это обеспечивалось государственным контролем над обоснованностью цен природных монополий – электроэнергетика, централизованное тепло- и газоснабжение) и долгосрочными договорами на их импорт и экспорт.
- Экологические требования формировались на национальном уровне и определяли предельно допустимые выбросы в окружающую среду для отдельных объектов (технологий) и локальных территорий их размещения, что обуславливало практическую независимость экологической составляющей цены на ТЭР от развития неэнергетических секторов экономики.

В условиях глобализации и либерализации экономики, в том числе и энергетики, целый ряд отраслей которой вплоть до середины 80<sup>х</sup> годов прошлого столетия рассматривались исключительно как природные монополии, а также интернационализации экологических ограничений к развитию и функционированию экономики и энергетики, предъявляется ряд дополнительных требований, которые можно формализовать в виде:

$$\sum_{k \in K'} b_{kpt} * W_{kt} = Q_{K'pt} \quad \forall t, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K'} b_{kpt} * W_{kt} = Q_{K'pt} \quad \forall t,$$

$$Q_{K'pt} + Q_{K''pt} \leq Q_{pt}, \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K'} c_{kit} * W_{kit} \leq \sum_{k \in K'} c_{kit} * W_{kiv} \quad \forall i, \forall t, \quad (6)$$

где  $b_{k'pt}$  и  $b_{k''pt}$  – удельные выбросы  $p$ -го загрязнителя (парникового газа),  $p = 1 \div P$ , ограничение на выброс которого –  $Q_{pt}$ , определяется международными обязательствами,  $Q_{k'pt}$ ,  $Q_{k''pt}$  – объёмы выбросов ПГ в неэнергетических и энергетических секторах экономики,  $c_{kit}$  – гранично-приемлемая цена на ТЭР. С точки зрения производителей – это минимальная цена на  $i$  вид ТЭР, ниже которой его производство (поставка) становится убыточным, а с точки зрения потребителей – это максимальное значение цены, при превышении которой приобретение соответствующих объёмов  $i$ -го вида ТЭР становится для них экономически не оправданным (невозможным).

Выражения (4) и (5) описывают условия, при которых возможно производство соответствующих объёмов продукции в энергетических и неэнергетических секторах экономики при наличии общих для них экологических ограничений, а (6) – необходимые условия стабильного функционирования и развития рынков ТЭР. В соответствии с (6), вся проданная продукция на рынке должна быть оплаченной, что возможно только тогда, когда цены предложения не выше цен спроса, а цены спроса не ниже цен предложения.

На формирование цен в энергетическом секторе, кроме целого ряда других факторов, определённое влияние будет оказывать условие (6), т.к. чем более жёсткими будут экологические ограничения в энергетическом секторе, тем большие затраты на природоохранные мероприятия потребуются, а необходимый объём производства ТЭР, в свою очередь, будет зависеть от цен предложения. Исходя из этого, цена предложения на  $i$  вид ТЭР может быть представлена в виде функциональной зависимости вида:

$$c_{K''it} = f(W_{iv} Q_{K'pt}), \quad (7)$$

Однако объём потребления в неэнергетических секторах будет зависеть от цены предложения:

$$W_{it} = \sum_{k \in K'} W_{kit} = f_1(c_{K''it}), \quad (8)$$

Выражения (4–8) показывают, что в рассматриваемых условиях формирование научно обоснованных прогнозов требует согласованной разработки прогнозов развития энергетических и неэнергетических секторов экономики, что не обеспечивается в рамках традиционных подходов к прогнозированию развития энергетики. Причем необходимо отметить, что классические методы разработки макроэкономических прогнозов в этих условиях становятся неприменимыми.

**Целью работы** является разработка теоретико-методологических основ прогнозирования развития энергетики в условиях глобализации и либерализации мировой экономики и интернационализации экологических ограничений, как основы для разработки конкретных методов и средств формирования таких прогнозов.

Развитие и функционирование любой из социально-экономических систем, под которыми, в зависимости от уровня агрегирования и абстрагирования, может пониматься любая система, связанная с хозяйственной деятельностью людей – мировая или национальная экономика, их сектора, виды экономической деятельности, предприятия, домохозяйства и т.д., может быть описано траекторией её развития  $\phi_\tau$ , где  $\tau$  – индекс траектории. Такая траектория параметризована моментами времени (периодами)  $t, t[1, T]$ , каждому из которых соответствует точка траектории  $\phi_{\tau t}$ , описываемая множеством показателей  $\{\eta_{\tau mt}\}$ , где  $m \in M$ .

В этом контексте задача разработки прогноза формулируется как оптимизационная задача выбора из множества возможных траекторий развития рассматриваемой экономической системы  $\{\phi_\tau\}$  такой допустимой траектории  $\phi_\tau^{\text{опт}}$ , которая бы в наибольшей степени обеспечивала достижение целей (критериев оптимальности) её функционирования и развития.

Основными условиями, обеспечивающими допустимость развития социально-экономических систем, является выполнение балансов производства – потребления различных видов продукции, товаров и услуг в натуральном и стоимостном выражении (условия (3) и (6)), а также экологических ограничений (условия (4–5)).

Балансы производства – потребления в общем случае формализуются в виде:

$$f_{it} - \left( \sum_{y \in Y} X_{iy't} - V_{it} \right) - \sum_{i' \in I'} \sum_{y'' \in Y} a_{ii'y''t} X_{i'y''t} - E_{it} - S_{it} = 0, \quad (9)$$

где

$i, i'$  – индекс видов продукции,  $i, i' \in I, i \neq i'$ ;

$y', y''$  – индекс технологии производства  $i, i'$  вида продукции,  $y', y'' \in Y, y' \neq y''$ ;

$X_{iy't}, X_{i'y''t}$  – объём производства продукции;

$a_{ii'y''t}$  – удельные расходы  $i$ -го вида продукции при производстве  $i'$  видов продукции;

$S_{it}$  – объём конечного потребления  $i$ -го вида продукции;

$E_{it}$  – объём экспорта  $i$ -го вида продукции;

$V_{it}$  – объём импорта  $i$ -го вида продукции;

$f_{it}$  – коэффициент потерь при транспортировке и хранении (только для баланса в натуральном виде).

Для некоторых видов продукции при построении таких балансов, прежде всего это относится к ТЭР, дополнительно учитывается суточная, недельная и сезонная неравномерность их потребления [5].

Общие для всей экономики экологические ограничения формализуются в виде:

$$\sum_{y=1}^Y X_{iyt} \cdot (b_{yipt} + \sum_{i' \in I'} a_{ii'yt} \cdot b_{yii'pt}) = O_{ipt}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^I O_{ipt} + \sum_{i' \in I'} N_t \cdot a_{ii'yt}^N \cdot b_{pit} \leq O_{pt}, \quad (11)$$

$$I = I' \cup I'', \quad I' \cap I'' = 0, \quad (12)$$

где,

$p$  – индекс загрязнителя или парникового газа,  $p \in P$ ;

$b_{yipt}$  – удельные технологические выбросы  $p$ -го загрязнителя, в натур. ед.;

$a_{ii'yt}$  – удельные расходы  $i$ -го вида энергетической продукции (вида ТЭР);

$b_{yiii'pt}$  – удельные выбросы  $p$ -го загрязнителя при потреблении  $i$ -го вида энергетической продукции (при энергетическом использовании), в натур. ед.;

$N_t$  – численность населения, чел.;

$a_{ii'yt}^N$  – объём потребления  $i$ -го вида энергетической продукции на 1 чел.;

$b_{pit}$  – объём выбросов  $p$ -го загрязнителя при потреблении единицы  $i$ -го вида энергетической продукции населением, в натур. ед.;

$O_{ipt}$  – объём выброса при производстве  $i$  вида продукции, в натур. ед.;

$O_{pt}$  – общее ограничение на выброс  $p$ -го загрязнителя, в натур. ед.;

$I'$  – индекс неэнергетического вида продукции;  
 $I''$  – индекс энергетического вида продукции.

Наряду с этими общими ограничениями, для обеспечения допустимости траектории развития исследуемой системы должны быть учтены технологические и локально-территориальные экологические ограничения, физико-технические особенности работы отдельных технологий производства – потребления разных видов продукции, а также должна быть обеспечена непротиворечивость процессов развития системы – учет динамики [5, 6].

Для выбора оптимальной траектории, цели развития исследуемой социально-экономической системы необходимо формализовать в виде набора критериев. Однако специфика исследуемых систем обуславливает то, что формализовать эти цели в виде набора объективных критериев не представляется возможным, т.к. часть из них не может быть строго формализована, они противоречивы, в какой-то степени носят субъективный характер, их будущую приоритетность точно определить невозможно.

Поэтому в общем случае, в качестве критериев, определяющих оптимальность прогноза развития экономики и энергетики страны, может быть принято любое подмножество показателей  $M'$  (вектор критериев),  $M'M$ , описывающих их развитие и функционирование.

Исходя из методов возможной их формализации, эти критерии могут быть разбиты на подмножества:

1. Подмножество  $M_1'$ , включающее критерии, значения которых при построении прогноза должны быть минимизированы, например, уровни выбросов парниковых газов.
2. Подмножество  $M_2'$ , содержащее критерии, значения которых при построении прогноза должны быть максимизированы, например, объём валового внутреннего продукта.
3. Подмножество  $M_3'$ , которое объединяет критерии, значения которых должны быть максимально близкими к некоторому “целевому” значению, например, доля возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе.
4. Подмножество  $M_4'$ , которое объединяет критерии, значения которых должны быть больше и/или меньше некоторой величины, например, доходы домохозяйств должны быть не меньше некоторой величины.

С учетом этого, обобщенный критерий построения прогноза может быть формализован в виде:

$$\sum_{t=1}^T \left( \sum_{m \in M_1'} \lambda_{\tau mt} x_{\tau mt} - \sum_{m \in M_2'} \lambda_{\tau mt} x_{\tau mt} \right) + \sum_{t=1}^T \sum_{m \in M_3'} \lambda_{\tau mt} \cdot (\eta_{\tau mt} - x_{\tau mt}) \rightarrow \min, \quad (13)$$

$$\eta_{\tau mt}^{\min} \leq x_{\tau mt} \leq \eta_{\tau mt}^{\max}, \quad \forall m, m \in M_4, \quad (14)$$

где:

$x_{\tau mt}$  – оптимизируемый критерий;

$\lambda_{\tau mt}$  – вес критерия, который определяет его приоритетность;

$\eta_{\tau mt}$  – целевые значения критериев;

$\eta_{\tau mt}^{\min}, \eta_{\tau mt}^{\max}$  – нижняя и верхняя границы области определения критерия.

Множество критериев  $M'$ , а также методов их формализации, определяются исходя из конкретных целей исследования, принятого уровня детализации представления в модели элементов, связей и процессов и т.д.

Из критерия (13) видно, что в общем случае может существовать ряд векторов критериев, значения показателей которых  $x_{\tau mrt}$ , отличаясь друг от друга, обеспечивают достижения его минимума,  $x_{\tau mrt} \in M^r$ , где  $r$  соответствует индексу таких векторов,  $r=1 \div R$ . Соответствующие этим векторам варианты развития исследуемой социально-экономической системы образуют множество оптимальных по Парето решений, т.е. таких решений, для которых не существует таких критериев  $x_{\tau mrt}$ , значение которых может быть улучшено без ухудшения значений других критериев. При этом, чем более сложной является исследуемая социально-экономическая система и чем детальнее описываются процессы её функционирования и развития, тем большую мощность имеет множество оптимальных по Парето вариантов её развития.

Этим определяется значительное влияние на качество прогнозов не только эффективности методологических подходов к проведению исследований, построению математических моделей, баз данных, реализованных на ЭВМ, но и уровня квалификации лиц, формирующих прогнозы и принимающих соответствующие решения, т.к. исключительно формализованными методами синтезировать ограниченное число обоснованных прогнозов невозможно.

При исследовании связанных социально-экономических систем, находящихся на разных иерархических уровнях, часто возникают задачи формирования показателей вышестоящей системы на основании показателей нижестоящей (операция агрегирования) и детализации на нижнем уровне решений, полученных на верхнем уровне (операция дезагрегирования).

Для разных иерархических уровней существует однозначно определённая процедура агрегирования, т.е. если известны (определены) траектории развития всех подсистем  $n$  уровня, например, секторов экономики, то траектория подсистемы  $n-1$  уровня, экономики страны в целом, определяется однозначно. Поэтому для любых показателей верно соотношение:

$$\eta_{\tau mt(n-1)} = \sum_{v=1}^V \eta_{\tau mt nv}, \quad (15)$$

где  $v$  – количество подсистем экономической системы  $n$  уровня,  $v=1 \div V$ .

Процедура же дезагрегирования не является однозначной, т.е. траектории  $\phi_{\tau t(n-1)}$  может быть поставлено в соответствие некоторое множество траекторий каждой из подсистем нижнего уровня  $\{\phi_{\tau t nv}\}$ .

Разработанный на основании изложенных теоретических положений подход к прогнозированию развития энергетики базируется на согласованном решении ряда задач в рамках итерационной процедуры с использованием системы математических моделей [7]. Координирующим элементом системы этих моделей являются модели формирования сводных энергоэкологоэкономических балансов (ЭЭЭБ), которые обеспечивают согласованность решений по развитию энергетики и секторов экономики – конечных потребителей ТЭР, с учётом общенациональных экологических ограничений.

В составе этой системы моделей можно выделить три основные подсистемы:

1. Формирования ЭЭЭБ.
2. Исследования перспектив развития секторов экономики – конечных потребителей ТЭР.
3. Исследования перспектив развития энергетики и отдельных её отраслей и формирования вариантов их развития.

Ведущую роль в каждой из выделенных подсистем системы математических моделей играют оптимизационные модели.

Исходя из специфики исследуемых социально-экономических систем и задач прогнозирования их развития, для разработки вариантов прогнозов целесообразно использовать метод усовершенствованных оптимизационных моделей [6], который предусматривает формирование моделей в процессе исследований на основании общих правил формализации и набора методов моделирования отдельных элементов, процессов и связей этих систем. Это позволяет, исходя из конкретных целей исследования, глубины прогнозирования, наличия и степени неопределённости исходной информации, временных и других ограничений, формировать оптимизационные модели с разными критериями и различным уровнем детализации и адекватности описания отдельных элементов, процессов и связей рассматриваемых систем, использовать модели разных типов – линейных, частично-целочисленных, с булевыми переменными, модели с нечеткими ограничениями и т.д.

Базовая методика проведения исследований в соответствии с разработанным подходом предполагает следующие основные этапы их проведения.

**Формирование предварительного ЭЭЭБ на уровне страны.** На этом этапе решается задача формирования согласованного прогноза развития секторов экономики, которые обеспечивают достижение целей её развития при соблюдении общих для всей экономики ограничений на её функционирование и развитие на основании агрегированной предварительной информации. Основными “сдерживающими” факторами при этом являются экологические ограничения. Это связано с тем, что в условиях глобализации и либерализации мировой экономики классические ограничения – трудовые, материальные и финансовые ресурсы, практически перестали быть сдерживающими.

Предварительный ЭЭЭБ формируется с использованием оптимизационных линейных моделей с интервальными (вариант такой модели приведен [8]) или нечеткими ограничениями.

При решении этой задачи определяются:

Глобальные цели развития экономики и энергетики, а также методы их формализации в виде системы критериев вида (13).

Агрегированные по секторам экономики ограничения вида (14), которые накладываются

ся на возможности их развития, импорта и экспорта продукции, товаров и услуг.

Матрицы коэффициентов удельных показателей расходов продукции  $k$  сектора экономики при производстве продукции в  $k'$  секторах экономики, причем  $k \neq k'$ , расходов ТЭР и выбросов загрязнителей в отдельных секторах. Эта информация на перспективу имеет высокую степень неопределенности и при её формировании ведущую роль играют экспертные оценки, анализ тенденций и эффективной практики. Потому о конкретных значениях этих показателей можно говорить только с позиций теории нечётких множеств [9] или интервального метода их формирования.

В результате исследований на этом этапе, формируется предварительный ЭЭЭБ, показатели которого приведены в таблице 1. Он определяет условия развития секторов экономики – необходимые объёмы производства продукции, возможности потребления ТЭР, ограничения на выбросы загрязнителей и парниковых газов.

**Формирование предварительных вариантов развития неэнергетических секторов экономики.** На этом этапе решается задача формирования представительных альтернативных траекторий развития неэнергетических секторов экономики в пространстве возможных состояний, которое определяется исходя из показателей, описывающих развитие неэнергетических секторов, определенных при формировании предварительного ЭЭЭБ.

Для решения этой задачи используются приёмы стратегического маркетинга, детализированные оптимизационные модели формирования ЭЭЭБ секторального уровня, модели

жизненного цикла для оценки эффективности инвестиционных решений и т.д.

При решении этой задачи определяются:

1. Объёмы производства основных видов продукции, прежде всего энергоёмких и при производстве которых значительным является негативное экологическое воздействие, с детализацией до уровня технологий производства.
2. Гранично-приемлемые цены спроса на ТЭР, увязанные с объёмами и режимами энергопотребления.
3. Уточнённые экологические ограничения на развитие энергетических секторов экономики.

#### **Прогнозирование развития энергетики.**

При разработке прогнозов развития энергетики входной информацией являются варианты энергопотребления неэнергетических секторов экономики и гранично-приемлемые цены на ТЭР, которые согласованы между собой, а также уточнённые экологические ограничения.

Для разработки прогнозов используются методы, аналогичные тем, которые применяются для прогнозирования развития неэнергетических секторов экономики с учетом особенностей энергетики, а именно, значительная связность рынков отдельных видов ТЭР из-за их взаимозаменяемости. Поэтому на первом этапе разрабатывается прогноз развития системы энергообеспечения и ТЭК страны с использованием оптимизационных линейных общеэнергетических моделей с булевыми переменными для обеспечения выбора одного варианта развития энергетических секторов экономики из множества альтернативных. На втором этапе выполняется детализация полученного прогноза с использованием частично-целочислен-

Таблица 1. Показатели энергоэкологоэкономического баланса для уровня экономики страны

Сектор экономики*	Производство	Конечное потребление	Импорт	Экспорт	Производство – потребление ТЭР				Объем выбросов, поглощение загрязнителей и ПГ			
					ТЭР 1	ТЭР 2	...	ТЭР N <sub>2</sub>	ОВ 1	ОВ 2	...	ОВ N <sub>3</sub>
Сектор 1	W <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	...	Y <sub>1n</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	...	B <sub>1n</sub>
Сектор 2	W <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>	...	Y <sub>2n</sub>	B <sub>21</sub>	B <sub>22</sub>	...	B <sub>2n</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Сектор N <sub>1</sub>	W <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	V <sub>n</sub>	E <sub>n</sub>	Y <sub>n1</sub>	Y <sub>n2</sub>	...	Y <sub>nn</sub>	B <sub>n1</sub>	B <sub>n2</sub>	...	B <sub>nn</sub>
Всего	W	S	V	E	Y	Y	...	Y	B	B	...	B

\* Под сектором экономики, в зависимости от уровня агрегирования, может пониматься экономика в целом, ее сектора, виды экономической деятельности, отдельные рынки продукции, товаров и услуг, и т.д.

ных оптимизационных моделей секторального уровня — электроэнергетики, угольной, газовой и нефтяной промышленности.

В качестве функционала в общеэнергетических моделях применяются критерии, которые базируются на использовании гранично-приемлемых цен на потребление и производство ТЭР [6].

На этом этапе определяются:

Уточненная потребность в ТЭР для неэнергетических секторов экономики.

Уточнённые экологические ограничения на развитие неэнергетических секторов экономики.

Детализированные прогнозы развития системы энергообеспечения и ТЭК страны.

**Формирование уточнённых вариантов развития неэнергетических секторов экономики.** С учетом определённого на этапе прогнозирования развития энергетики состава потребителей в неэнергетических секторах экономики производится уточнение вариантов их развития.

**Формирование уточнённых ЭЭЭБ страны и оценка необходимости следующей итерации исследований.** При формировании уточ-

ненного ЭЭЭБ страны используются матрицы коэффициентов удельных показателей расходов продукции, расходов ТЭР и выбросов загрязнителей в отдельных секторах экономики. Эти матрицы формируются на основании агрегирования показателей секторального уровня, полученных при формировании вариантов развития секторов экономики.

Для формирования ЭЭЭБ используются линейные оптимизационные модели, в которых, в отличие от моделей построения предварительного ЭЭЭБ, нечеткость матриц удельных показателей не учитывается.

Если отклонение показателей полученного ЭЭЭБ от показателей предварительного ЭЭЭБ допустимо, полученные прогнозы развития экономики и энергетики страны принимаются как окончательные. При этом ЭЭЭБ страны может быть построен с высокой степенью детализации путем агрегирования секторальных показателей по выражению (15).

Если полученные решения имеют недопустимые отклонения, то цикл исследований повторяется. При этом в качестве входной информации для исследования принимаются полученные на этом этапе показатели.

## ВЫВОДЫ

1. Традиционные теоретико-методологические подходы исследования перспектив развития энергетики не обеспечивают возможность эффективного формирования прогнозов её развития в условиях либерализации и глобализации мировой экономики и интернационализации экологических ограничений, т.к. они не предусматривают необходимость выполнения условий (4–8). Это обуславливает необходимость дальнейшего усовершенствования методологических подходов для разработки таких прогнозов в этих условиях.
2. Сделана формализация новых ограничений, которые накладываются на развитие экономики и энергетики в условиях либерализации и глобализации мировой экономики и интернационализации экологических ограничений (выражения (4 – 6)).
3. Предложен обобщающий критерий оптимизации для решения задач формирования вариантов развития социально-экономических систем (выражения (13 – 14)), что является дальнейшим развитием усовершенствованного метода оптимизационных моделей.
4. Предложен новый подход к разработке прогнозов развития энергетики и базовая методика проведения соответствующих исследований в условиях либерализации и глобализации мировой экономики и интернационализации экологических ограничений. Основными отличиями разработанного подхода от существующих подходов является:
  - Применение оптимизационных моделей формирования сводных энергоэкологоэкономических балансов с интервальными или нечёткими ограничениями как центрального, координирующего элемента системы математических моделей для формирования согласованных прогнозов развития неэнергетических и энергетических секторов экономики.
  - Использование в качестве входной информации для формирования вариантов развития энергетики показателей альтернативных вариантов развития неэнергетических секторов экономики, которые отличаются структурой и объёмами пот-

ребности в ТЭР, гранично-приемлемыми ценами на них, уровнями негативного воздействия на окружающую среду, но обеспечивают выполнение сформированных при разработке ЭЭЭБ требований к развитию соответствующих неэнергетических секторов экономики.

- Применение функционала на основе механизма гранично-приемлемых цен в моделях формирования вариантов развития энергетики и булевых переменных для обеспечения выбора единственного варианта развития неэнергетических секторов экономики из множества альтернативных.

1. *Мелентьев Л.А.* Системные исследования в энергетике. – М.: Наука, 1979. – 414 с.
2. *Messner S., Schrattenholzer L.* MESSAGE-MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively. – *Energy* 2000; 25:267–82.
3. *Обзор пакета кодов ENPER, рекомендованных МАГАТЭ для перспективного планирования в энергетике / Л.Л. Литвинский, О.А. Пуртов, А.Ю. Зенюк и др. // Ядер. та радіац. технології. – 2003. – №3. – С. 40–52.*
4. *Терехов Л.Л.* Экономико-математические методы. – М.: Статистика, 1972. – 360 с.
5. Оптимизация республиканского топливно-энергетического комплекса и его отраслевых систем / АН Украины. Ин-т проблем энергосбережения; М.Н. Кулик, А.И. Юфа, Б.А. Костюковский и др. – К.: Наук. думка, 1992. – 215 с.
6. *Костюковский Б.А.* Методи та засоби прогнозування розвитку структури генеруючих потужностей об'єднаних електроенергетичних систем в умовах ринкового регулювання діяльності в електроенергетиці: дисертація на здобуття наук. ступеня. канд. техн. наук: 05.14.01 / Інститут загальної енергетики НАН України. – К., 2007. – 161 с.
7. *Костюковский Б.А., Шульженко С.В., Нечаева Т.П., Максимец Е.А., Парасюк М.В., Сас Д.П.* Система математических моделей для комплексной оценки перспектив развития топливно-энергетического комплекса // Энергоэффективность: Тезисы докладов международной научно-практической конференции (6–8 октября 2008 г., Киев, Украина) – К.: Институт газа НАНУ. – 2008. – С. 37–38.
8. *Костюковский Б.А., Максимец О.О., Спітковський А.І., Сас Д.П., Парасюк М.В.* Формування узгоджених прогнозів розвитку економіки та енергетики з використанням оптимізаційних моделей // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С.21–24.
9. *Мацневский С. В.* Нечеткие множества: Учебное пособие.– Калининград: Изд-во КГУ, 2004.– 176 с.