

УДК 621.311.1

© 1999 г. БЕЛЯЕВ Л.С., МАРЧЕНКО О.В., ФИЛИППОВ С.П.

ЭНЕРГЕТИКА И ПЕРЕХОД К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ*

Рассматриваются подходы к исследованиям долгосрочного развития энергетики в свете особенностей и требований, обусловленных необходимостью перехода мирового сообщества к новой концепции (парадигме) устойчивого развития.

Введение. Необходимость коренного (и достаточно быстрого в исторических масштабах) изменения путей социально-экономического развития человечества и перехода к "устойчивому развитию" в наиболее полном виде обоснована и отражена в решениях Конференции ООН 1992 г. в Рио-де-Жанейро [1]. Очевидно, что эти изменения затронут и энергетику, повлияют на условия ее развития, предъявят к ней новые требования, поэтому в первую очередь нужно определить, какие могут быть изменения и новые требования к энергетике. Эти вопросы ставились и исследовались пока главным образом применительно к проблеме возможного потепления и изменения климата планеты вследствие увеличения выбросов тепличных газов, особенно CO₂, но круг проблем, возникающих при переходе к устойчивому развитию, гораздо шире.

Потребуется определенное совершенствование методологии энергетических исследований и прогнозирования с учетом условий и требований устойчивого развития. Как будет показано ниже, это особенно касается исследований долгосрочного развития энергетики на глобальном уровне. Уяснение такой методологии – основная цель данной статьи.

Предлагаемый материал основан на исследованиях долгосрочного развития мировой энергетики, проводимых в СЭИ СО РАН в течение 5–7 лет [2–5]. Основные цели этих исследований состояли в следующем:

1) выявление долгосрочных тенденций и выработка стратегий развития энергетики различных стран и регионов мира, в том числе возможных сроков исчерпания и целесообразной политики расходования дешевых ресурсов нефти, природного газа, урана; необходимых сроков перехода на новые энергоносители, включая синтетические виды топлива; целесообразных темпов и масштабов внедрения различных энергетических источников и систем;

2) определение рациональных направлений технического прогресса (разработки новых технологий использования возобновляемых энергоресурсов, ядерной энергии, производства синтетического топлива, использования новых энергоносителей и т.п.);

3) анализ влияния различных ограничений на развитие энергетики (экологических, экономических и др.).

Теперь эти цели необходимо дополнить еще анализом и проверкой возможных вариантов развития энергетики с точки зрения соответствия их условиям и требованиям устойчивого развития человечества. Наряду с экологическими большое значение при этом будут иметь и социально-экономические аспекты анализа.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант 96-02-18008.

О концепции устойчивого развития

Основной вывод конференции ООН 1992 г. заключается в том, что человечество не может продолжать развиваться традиционным путем, который характеризуется нерациональным использованием природных ресурсов и прогрессирующим негативным воздействием на окружающую среду. Если развивающиеся страны пойдут тем же путем, которым развитые страны достигли своего благополучия, то глобальная экологическая катастрофа будет неизбежна. Мировое сообщество должно перейти к новой модели развития, получившей название устойчивого развития. (Термин "устойчивое" имеет широкий смысл: устойчивое гармоничное, стабильное и также прогрессивное развитие).

Декларация 1992 г. по окружающей среде и развитию и "Повестка дня на XXI век", принятые на Конференции ООН, раскрывают существо и цели концепции "устойчивого развития", а также предполагаемые соотношения национальных и общечеловеческих интересов, роль государства и различных слоев населения, проблемы, связанные с переходом к устойчивому развитию и др. Декларация 1992 г., например, включает в себя 27 рекомендательных принципов, в том числе следующие, определяющие понятие устойчивого развития [1]:

- 1) признание приоритета социальных факторов ("в центре внимания находятся люди, которые должны иметь право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой");
- 2) признание неразрывности процессов развития и сохранения окружающей среды ("охрана окружающей среды должна стать неотъемлемой компонентой процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него");
- 3) признание интересов будущих поколений людей ("право на развитие должно реализовываться таким образом, чтобы в равной мере обеспечить удовлетворение потребностей в развитии и сохранении окружающей среды как нынешнего, так и будущих поколений");
- 4) обеспечение социальной справедливости как внутри каждой страны, так и между странами ("уменьшение разрыва в уровне жизни народов мира, искоренение бедности и нищеты");
- 5) признание ответственности государств перед своими народами и мировым сообществом за деятельность по обеспечению развития и охране окружающей среды.

Следует подчеркнуть, что в основании проблемы устойчивого развития лежит объективная необходимость (а также право и неизбежность) социально-экономического развития стран третьего мира. Развитые страны могли бы, по-видимому, "смириться" (по крайней мере на какое-то время) с достигнутым уровнем благосостояния и потребления ресурсов планеты. Речь идет не просто о сохранении окружающей среды и условий существования человечества, а об обеспечении этого при обязательном повышении социально-экономического уровня развивающихся стран ("Юга") и приближении его к уровню развитых стран ("Севера").

После Конференции в Рио-де-Жанейро проведены еще конференции, связанные с концепцией устойчивого развития: Конференция по населению мира в Каире в 1994 г., Мировой Конгресс по положению женщин в Пекине в 1995 г., Саммит городов в Стамбуле в 1996 г., Конференция по глобальному потеплению в Киото в 1997 г. и др.

Реализация перехода к устойчивому развитию требует решения множества разнообразных проблем (большинство из них рассмотрены в "Повестке дня на XXI век"). К числу наиболее трудных относятся финансовая и техническая помощь развивающимся странам со стороны развитых стран, без которой невозможен переход к устойчивому развитию, а также установление количественных ограничений и квот на загрязнение окружающей среды и использование невозобновляемых природных ресурсов. Решение первой проблемы требует существенных изменений в международных отношениях и в сознании населения развитых стран. Трудности второй проблемы обусловлены как большим разнообразием показателей, характеризующих состояние окружающей среды, так и необходимостью научного обоснования их коли-

чественных значений на конкретный момент или отрезок времени, а также последующего согласования принимаемых к реализации (директивных) их значений на уровне правительств и международных организаций.

Необходимо отметить неясность состава и большую неопределенность многих количественных показателей, которыми может характеризоваться устойчивое развитие как во времени, так и по странам и регионам мира. К таким показателям можно отнести, например, удельный (на душу населения) валовой внутренний продукт (ВВП) отдельных стран и регионов, удельное потребление населением основных видов товаров и услуг (в том числе энергии), показатели загрязнения окружающей среды (например, выбросы CO₂) и т.п. Даже по выбросам и концентрациям CO₂ не удалось пока достичь ясности по предельно допустимым показателям, несмотря на чрезвычайно большой объем проведенных в мире исследований (см., например, [6, 7]). И проблема CO₂ не единственная – даже в случае ее удовлетворительного решения необходимость перехода к устойчивому развитию сохранится.

Имеются и другие, вообще трудно оцениваемые факторы, ведущие к глобальной катастрофе, как, например, войны с применением оружия массового поражения, особенно ядерного, вызванные социально-экономическим неравенством "Севера" и "Юга", не обратимое загрязнение мирового океана, физическая деградация людей вследствие болезней, голода и нездорового образа жизни. Как установить пределы социальной несправедливости, за которыми неизбежны войны? Чем измерить интегральные способности природы к восстановлению (самоочистке) и необходимый комплекс здоровых социальных условий? По-видимому, следует признать неизбежным внесение некоторых качественных исходных предположений и предпосылок в исследования, связанные с концепцией устойчивого развития, в том числе при конструировании сценариев, отражающих ожидаемые (возможные) условия развития.

В значительной мере повышается роль регионального (группа стран) и глобального уровней. Естественно, непосредственная разработка и реализация программ устойчивого развития остаются прерогативой каждой отдельной страны. Однако цели и некоторые параметры (показатели) развития должны соответствовать при этом международным соглашениям, достигнутым на глобальном или региональном уровнях. Для мира в целом, регионов и отдельных стран должны устанавливаться экологические ограничения и оцениваться последствия их введения, вырабатываться общая политика расходования невозобновляемых ресурсов планеты, определяться необходимые и возможные размеры помощи развитых стран развивающимся, а также темпы сокращения разрыва в их уровне жизни. Группировка стран в регионы может потребоваться по многим причинам: ввиду неизбежного разделения стран на развитые и развивающиеся, для учета особенностей и интересов сформировавшихся политических и экономических союзов (Европейский Союз, ОПЭК, СНГ и т.п.), из-за трудностей рассмотрения каждой страны в отдельности и др.

В целом же переход человечества на пути устойчивого развития представляется неизбежным, поэтому исследования способов такого перехода, в том числе и применительно к энергетике, несомненно, необходимы, особенно при разработке долгосрочных прогнозов развития энергетики на уровнях страны, региона и мира в целом.

Требования к энергетике устойчивого развития

Давно говорят о том, что энергетика вступает или даже уже находится в переходном периоде. С этим, по-видимому, трудно не согласиться, тем более что даже "традиционное" развитие энергетики можно рассматривать как переход из современного состояния в некоторое будущее. Однако необходимо уточнить, какой именно переход имеется в виду, так как представления о нем изменялись с течением времени.

В 70-е годы во времена энергетического кризиса говорили о переходе от использования ограниченных ресурсов органического топлива к практически неисчерпаемым или возобновляемым энергоресурсам. Особые надежды возлагались на ядерную энергетику с использованием реакторов-размножителей (бридеров). Были

высказывались предложения о создании атомных островов [8], мировой энергетической системы [9] и др. Наиболее серьезные исследования энергетических проблем были проведены в то время в Международном институте прикладного системного анализа (Австрия) [10].

В 80-е и 90-е годы большое внимание стали уделять решению экологических проблем, связанных с энергетикой. Были предложены интересные концепции интегрированных экологически чистых энергетических систем [11, 12], основанных как на органическом топливе, так и на использовании ядерной энергии. Особое значение в таких системах имеют синтетические энергоносители (метанол, синтез-газ, водород и др.) и экологически чистые технологии их производства и использования. (Следует оговориться, что термин "экологически чистые" нельзя трактовать как "абсолютно чистые", скорее это экологически приемлемые или относительно чистые энергетические технологии и системы.) В последние годы особенно много работ было посвящено проблеме ограничения (уменьшения, стабилизации) выбросов CO₂, имеющей глобальный характер.

С учетом этого переходный период стал восприниматься как переход к экологически чистой энергетике [13] в предположении, что она базируется на использовании неограниченных энергетических ресурсов. Прояснился даже один из возможных видов такой энергетики. Она может быть основана на двух экологически чистых и удобных в использовании энергоносителях – электроэнергии и водороде. Производиться же они должны из таких практически неограниченных первичных энергоресурсов как, например, солнечная и ядерная энергия (имеется в виду использование бридеров на уране и тории или термоядерных реакторов). Проблема состоит в том, что такая "электроводородная" система потребует исключительно больших финансовых, трудовых и материальных ресурсов и ее создание для большинства регионов мира может стать возможным лишь в конце XXI или в XXII веках, поэтому в течение еще многих десятилетий человечество будет вынуждено использовать более дешевое органическое топливо и нести дополнительные затраты на очистку продуктов его переработки и сгорания.

Для исследований путей создания экологически чистых энергетических систем на национальном, региональном и глобальном уровнях разработаны методические подходы и большое число математических моделей. К ним относятся и упоминавшиеся предыдущие работы авторов данной статьи [2–5, 12]. Следует заметить, что в большинстве работ, связанных с проблемой CO₂, также исследуются в основном экологические аспекты, хотя затрагиваются и вопросы устойчивого развития [6, 7].

Вернемся теперь к энергетике устойчивого развития, о переходе к которой и следует говорить при современных представлениях о ситуации в мире. Можно видеть, что требования неисчерпаемости используемых энергетических ресурсов и экологической чистоты, заложенные в концепции экологически чистой энергетической системы, удовлетворяют двум важнейшим принципам устойчивого развития (соблюдение интересов будущих поколений и сохранение окружающей среды). Кроме того, всегда предполагалось, что развитие энергетики должно быть увязано с развитием экономики (рассматриваемой страны или региона).

Анализируя остальные принципы и особенности концепции устойчивого развития, можно заключить, что к энергетике в данном случае следует предъявить, как минимум, два дополнительных требования (см. табл. 1):

4) обеспечение энергопотребления (в том числе энергетических услуг населению) не ниже определенного социального минимума;

5) развитие национальной энергетики (так же, как и экономики) должно быть взаимно скоординировано с развитием ее на региональном и глобальном уровнях.

Четвертое требование вытекает из принципов приоритета социальных факторов и обеспечения социальной справедливости – для реализации права людей на здоровую и плодотворную жизнь, уменьшения разрыва в уровне жизни народов мира, искоренения бедности и нищеты необходимо обеспечить определенный прожиточный ми-

Таблица 1

Требования, предъявляемые к энергетике

№ п/п	Энергетика устойчивого развития
1.	Использование неисчерпаемых или достаточных на очень длительную перспективу (несколько столетий) первичных энергетических ресурсов
2.	Обеспечение сохранности окружающей среды (применение экологически чистых технологий и вторичных энергоносителей)
3.	Согласованность (сопразмерность) развития энергетики с развитием экономики
4.	Обеспечение энергопотребления (в том числе энергетических услуг населению) не ниже определенного минимума
5.	Скоординированность развития энергетики на национальном, региональном и глобальном уровнях

нимум, в том числе удовлетворение минимально необходимых потребностей в энергии населения и экономики (минимум будет меняться по регионам и во времени). Естественно, это требование относится, главным образом, к развивающимся странам, определяя ту нижнюю границу, при которой их развитие может считаться устойчивым. Выдвижение такого требования ставит новые достаточно сложные задачи по количественному определению необходимого минимума и по его реализации. Удовлетворение минимальных потребностей развивающихся стран в энергии будет одним из направлений оказания им помощи со стороны развитых стран.

Пятое требование связано с глобальным характером надвигающейся экологической катастрофы и необходимостью скоординированных действий всего мирового сообщества по устранению этой угрозы. Даже страны, имеющие достаточные собственные энергетические ресурсы, как, например, Россия, не могут теперь изолированно планировать развитие своей энергетики из-за необходимости учитывать глобальные и региональные экологические и экономические ограничения. В наибольшей мере это относится к развивающимся странам и регионам, которым должна выделяться (и распределяться каким-то образом между отдельными странами) финансовая и техническая помощь со стороны развитых стран. Для последних же важны размеры выделяемой помощи, так как на ее величину уменьшается возможное финансирование развития собственной экономики (и энергетики). Данное требование также ставит новые задачи экономических, экологических и энергетических исследований на уровнях регионов и мира в целом. Это уже не только задачи международных обменов (торговли) ресурсами, продукцией и капиталом. Главными становятся изучение влияния глобальных и региональных ограничений по сохранению окружающей среды и экономическому развитию, определение допустимых (компромиссных, скоординированных) соотношений между экологическими и экономическими параметрами и показателями, распределение между странами и регионами квот на вредные выбросы, потребление природных ресурсов, финансовую помощь и т.п.

Необходимо отметить, что третье из указанных в табл. 1 требований (согласованное развитие энергетики и экономики) существенно изменяет (усложняет) свое содержание применительно к энергетике устойчивого развития (по сравнению с просто экологически чистой энергетикой). Наряду с традиционно учитывающейся зависимостью энергопотребления от развития экономики и необходимостью выделения финансовых, трудовых и материальных ресурсов для развития энергетики и смежных с ней отраслей, теперь необходимо определять и учитывать, например, экономическую помощь развитых стран развивающимся, в том числе для обеспечения минимума энергопотребления и сохранности окружающей среды.

В методическом отношении учет особенностей устойчивого развития при исследовании энергетики потребует более глубокого анализа экономики, социальных факторов, а также развития энергетики и экономики на уровнях регионов и мира в целом. Это означает необходимость привлечения к исследованиям энергетики новых, ранее не учитывавшихся показателей, усложнения или применения новых математических моделей, увеличения числа рассматриваемых сценариев внешних (по отношению к энергетике) условий и др.

Уточнение методологии исследований

Как уже отмечалось, речь пойдет о методологии долгосрочного (на 30–50 лет и более) прогнозирования развития энергетики на глобальном и региональном уровнях. С учетом необходимости перехода человечества к устойчивому развитию роль таких прогнозов повышается. С одной стороны, как показано выше, становится обязательной увязка развития национальной экономики и энергетики с развитием их на уровнях региона и мира в целом. С другой стороны, приходится рассматривать более отдаленный период для того, чтобы убедиться в возможности предотвращения глобальной экологической катастрофы, которая может наступить раньше или позже (или вообще отступить) в зависимости от успешности действий, предпринимаемых для перехода к устойчивому развитию.

В принципе следовало бы рассматривать развитие всей экономики и социальной сферы. При этом необходимое развитие энергетики определилось бы "автоматически". Однако, как мы полагаем, это пока невозможно, и приходится прогнозировать развитие энергетики отдельно. При этом необходимо должным образом учитывать связи с экономикой и экологические ограничения (задаваемые отдельно для энергетики).

Применительно к концепции устойчивого развития, как уже упоминалось, долгосрочные прогнозы приобретают еще одно важное назначение – проверка вариантов будущего развития энергетики "на устойчивость", т.е. возможности реализации для них целей и принципов устойчивого развития. А для этого требуется углубление в экономику и экологию и включение в анализ дополнительных экономических и экологических показателей, которые не использовались прежде в исследованиях развития энергетики.

Анализ, который нужно провести для "проверки на устойчивость", может состоять, как это сейчас представляется, из следующих этапов (в последующем, возможно, потребуется их уточнение).

1. *Проверка обеспечения экологических требований и ограничений.* В этом отношении мы пока ограничимся рассмотрением глобальных ограничений на выбросы CO₂.

2. *Прогнозирование на рассматриваемую перспективу удельных и абсолютных значений валового внутреннего продукта (ВВП) по странам и регионам мира.* Этот экономический показатель может быть принят основным в проводимом анализе. Его удельные значения (на душу населения) характеризуют уровень развития экономики и благосостояние населения в том или ином регионе мира, а абсолютные значения – общие масштабы развития экономики, в том числе возможности выделения средств на развитие энергетики. Очень важен анализ ВВП в динамике за весь рассматриваемый период.

3. *Определение и анализ следующих наиболее важных показателей* (в динамике для всех регионов мира): – удельного энергопотребления (тут./чел); – энергоемкости ВВП (тут./долл); – доли затрат на энергетику в ВВП (долл/долл).

Эти показатели отражают взаимосвязи энергетики с экономикой, а также общий уровень развития регионов. Их анализ и сопоставление для развитых и развивающихся стран позволят судить о степени отставания последних, тенденциях в сокращении разрыва и др.

4. Выработка заключения об "устойчивости" рассмотренных вариантов развития энергетики. На этом этапе выявленные выше тенденции и уровни развития экономики и энергетики анализируются в свете целей, принципов и требований устойчивого развития. Сейчас еще нельзя четко алгоритмизировать процедуры такого анализа – это можно будет сделать по мере накопления опыта.

В следующем разделе будет проведен в соответствии с данной схемой анализ вариантов развития энергетики мира (разделенного на 10 регионов) в XXI веке, полученных при расчетах на Глобальной энергетической модели GEM-10R.

Анализ вариантов развития энергетики мира

Расчеты были проведены для 10 сценариев внешних условий, различающихся уровнями энергопотребления, ограничениями на темпы расходования наиболее эффективных энергоресурсов (нефти и газа), значениями технико-экономических показателей технологий, ограничениями на выбросы тепличных газов и развитие ядерной энергетики. Полученные результаты приведены в [3–5]. Здесь же ограничимся кратким анализом с точки зрения выполнения принципов устойчивого развития трех сценариев: базового сценария 1 (средний уровень энергопотребления, отсутствие ограничений на выбросы CO₂, равная доступность современных и перспективных энергетических технологий для всех регионов мира), сценария 2 с ограничениями на выбросы CO₂ (по миру в целом на уровне 1990 г.) и наиболее неблагоприятного сценария 3 с одновременными ограничениями на выбросы CO₂ и мораторием на развитие ядерной энергетики.

Рассмотрим сначала значения удельного (на душу населения) ВВП, который характеризует уровень экономического развития страны или региона, а также (с некоторой долей условности) средний уровень жизни населения. В настоящее время существует очень большое различие в значениях этого показателя для регионов мира: от 1 тыс. долл. США на человека в год (Юго-Восточная Азия и Африка) до 22 тыс. долл. на человека в год (Северная Америка); между отдельными странами разрыв оказывается еще более значительным.

Темпы экономического роста каждой отдельной страны зависят от большого количества факторов, причем достаточно обоснованные методы долгосрочного (на 50 и более лет) прогноза ВВП пока отсутствуют. Применяется, как правило, сценарный подход – назначение будущих темпов экономического развития стран и регионов с учетом современных показателей и тенденций, выявленных на основе анализа исторического опыта. Так, например, анализ темпов роста ВВП, наблюдавшихся во второй половине XX века в ряде развитых и развивающихся стран (Германия, Италия, Япония, Китай, Индия), выявил интересную особенность [14]. В процессе развития, характеризующегося увеличением ВВП на душу населения, наблюдается "всплеск" годовых темпов его роста до 7–8% при удельных значениях ВВП около 3–5 тыс. долл. США на душу населения (рис. 1). Иными словами, каждой стране (или соответствующему региону мира) необходимо достичь указанных критических значений удельного ВВП, чтобы получить возможность развиваться быстрыми темпами (период индустриализации и ускоренного развития). Затем, после превышения ВВП уровня 10–15 тыс. долл./чел. в год, темпы развития снижаются.

Данный феномен, несомненно, должен иметь объяснение с экономической точки зрения; в настоящей работе он был использован (без детального анализа его причин) для прогнозирования роста ВВП. Приведенные на рис. 1 данные были аппроксимированы зависимостью (см. кривую), с использованием которой проведены расчеты роста удельного ВВП каждого региона; затем данные были агрегированы (рис. 2) в три группы (укрупненные регионы мира): – страны, входящие в Организацию экономического сотрудничества и развития (OECD); страны бывшего СССР и Восточной Европы (FSUEE); развивающиеся страны (DC).

Согласно большинству демографических прогнозов, рост населения мира, составляющего в настоящее время около 6 млрд. человек, замедлится в середине следую-

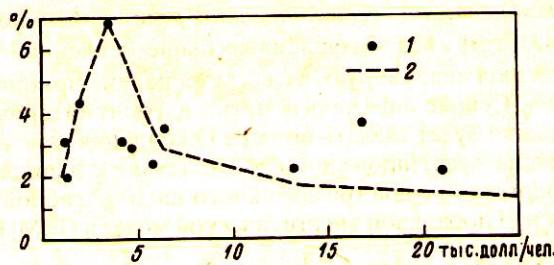


Рис. 1. Зависимость темпов роста ВВП от его удельных значений (в год): 1 – фактические значения для регионов мира; 2 – аппроксимация

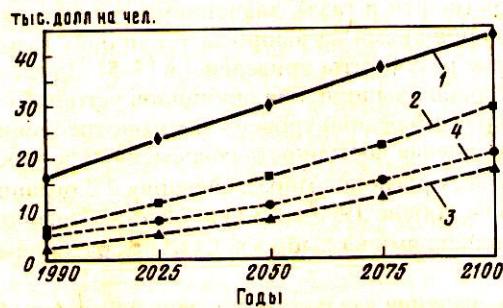


Рис. 2. Прогноз удельных значений ВВП (в год):
1 – OECD; 2 – FSUEE; 3 – DC; 4 – Мир

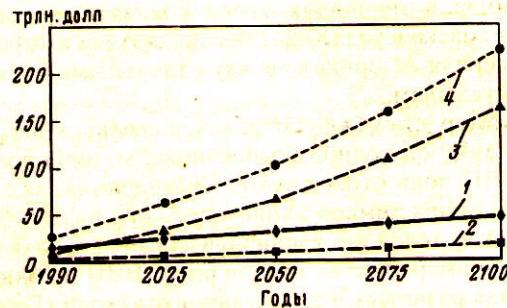


Рис. 3. Прогноз абсолютных значений ВВП (в год):
1 – OECD; 2 – FSUEE; 3 – DC; 4 – Мир

щего века и к его концу достигнет 10–12 млрд. человек; основной рост населения прогнозируется в развивающихся странах, доля которых увеличится с 76% в 1990 г. до 86% в 2100 г. (табл. 2). С использованием этих прогнозов численности населения получены прогнозируемые абсолютные значения ВВП по укрупненным регионам мира (рис. 3).

Для дальнейшего анализа на устойчивость в табл. 3 приведено душевое потребление конечной энергии в укрупненных регионах, принятое при проведении расчетов на мировой энергетической модели [3–5], а в табл. 4 – долевые затраты на развитие энергетики, полученные для указанных трех вариантов (сценариев).

Анализ табл. 3 и 4, а также рис. 2 и 3 позволяет сделать следующие заключения о соответствии рассматриваемых вариантов развития энергетики укрупненных регионов мира условиям (требованиям) устойчивого развития.

1. Принятый рост удельного энергопотребления в развивающихся странах (табл. 3) может оказаться недостаточным для их устойчивого развития (к концу XXI века удельное энергопотребление остается значительно меньше, чем в настоящее время в

Таблица 2

**Принятый прогноз роста населения регионов мира
(млн. человек)**

Год	OECD	FSUEE	DC	Мир
1990	860	404	4028	5292
2025	966	481	6520	7967
2050	1012	508	8130	9650
2075	1019	531	8880	10430
2100	1029	541	9280	10850

Таблица 3

**Принятое удельное потребление конечной энергии в регионах мира
(т у.т. / чел. в год)**

Год	OECD	FSUEE	DC	Мир
1990	2,8	3,3	0,5	1,1
2025	3,2	3,4	0,7	1,1
2050	3,3	3,5	0,8	1,2
2075	3,3	3,5	1,2	1,5
2100	3,2	3,5	1,6	1,9

Таблица 4

Затраты на развитие энергетики (в долях ВВП)

Год	Сценарий 1			
	OECD	FSUEE	DC	Мир
2025	0,068	0,097	0,045	0,058
2050	0,061	0,081	0,044	0,052
2075	0,048	0,069	0,046	0,048
2100	0,038	0,066	0,057	0,054

Год	Сценарий 2			
	OECD	FSUEE	DC	Мир
2025	0,095	0,120	0,058	0,077
2050	0,092	0,093	0,068	0,077
2075	0,073	0,067	0,078	0,076
2100	0,042	0,067	0,117	0,096

Год	Сценарий 3			
	OECD	FSUEE	DC	Мир
2025	0,093	0,146	0,075	0,088
2050	0,113	0,124	0,088	0,098
2075	0,093	0,076	0,103	0,099
2100	0,047	0,061	0,147	0,121

развитых регионах). Для определения допустимых значений этого показателя требуются дополнительные более глубокие исследования.

2. Рост удельного ВВП в развивающихся странах в первой половине XXI века (рис. 2) представляется слишком медленным для сокращения имеющегося разрыва в уровне жизни их населения с развитыми странами. В этом отношении также требуются специальные исследования, в том числе с учетом возможной помощи им со стороны развитых стран.

3. Ввиду больших абсолютных значений ВВП развивающихся стран во второй половине XXI века (рис. 3) возможная помощь им станет относительно небольшой, в первой же половине века эта помощь может быть существенной. Особенно важно оказать помощь развивающимся странам в первой четверти XXI века, чтобы "разогнать" их экономику. В этом случае они смогут быстрее выйти на приемлемый уровень благосостояния, и в последующем дополнительная (внешняя) помощь им может не понадобиться.

4. В базовом сценарии 1 доля затрат в энергетику (табл. 4) во всех регионах относительно невелика и, по-видимому, была бы посильна, в том числе и для развивающихся стран. Однако этот сценарий не может считаться "устойчивым", так как выбросы CO₂ к концу века увеличиваются для него до 85 Гт CO₂ в год, т.е. почти в 4 раза по сравнению с 1990 г. [3]. Между тем в [6, 7] достаточно убедительно показано, что максимальные выбросы углерода в XXI веке должны находиться в пределах 10–11 Гт/год (или 35–40 Гт CO₂ в год). В остальных же сценариях доля затрат в энергетику для развивающихся стран оказывается достаточно большой (и возрастающей), что вызывает сомнения в возможности осуществления необходимого развития энергетики (без внешней помощи).

Следовательно, варианты развития энергетики регионов мира, полученные ранее обычным путем, нельзя признать в достаточной мере удовлетворяющими условиям устойчивого развития мирового сообщества, поэтому необходимо серьезное совершенствование методологии долгосрочного прогнозирования развития энергетики на всех территориальных уровнях.

Выводы. 1. Переход человечества на пути устойчивого развития, представляющийся неизбежным, требует существенного совершенствования методологии исследований долгосрочного развития энергетики, особенно на региональном (группа стран) и глобальном уровнях. Наибольшее внимание в последнее время уделялось проблеме возможного потепления и изменения климата планеты в связи с увеличением выбросов CO₂ [6, 7 и др.]. Вместе с тем не меньшее, а, пожалуй, даже большее значение имеют социально-экономические аспекты устойчивого развития.

2. В статье сделана попытка уяснить требования к энергетике, обеспечивающей устойчивое развитие человечества. Выявлено по меньшей мере два дополнительных требования (табл. 1) по сравнению с "экологически чистой" энергетикой – обеспечение необходимого минимума энергопотребления в развивающихся странах и необходимость координации развития энергетики на национальном, региональном и глобальном уровнях.

3. В первом приближении предложена схема анализа (проверки) вариантов развития энергетики "на устойчивость". Проведен анализ трех вариантов, которые были получены ранее в расчетах на модели мировой энергетической системы (см. [3–5]).

4. Установлено, что при ограничениях на выбросы CO₂ и особенно при одновременном моратории на развитие ядерной энергетики развивающимся странам будет трудно или вообще невозможно обеспечить развитие энергетики в масштабах, необходимых для их устойчивого развития. Потребуется помочь со стороны развитых стран, хотя бы наиболее отсталым странам Африки и Юго-Восточной Азии.

5. Необходимы дальнейшие исследования в следующих направлениях:

1) дополнительная апробация и совершенствование методики анализа вариантов развития энергетики "на устойчивость"; 2) специальные исследования по установле-

нию минимума энергопотребления в развивающихся странах, который требуется для их устойчивого развития (он может различаться по регионам мира); 3) углубленные экономические исследования по методам прогнозирования ВВП на долгосрочную перспективу; по установлению приемлемых темпов сокращения разрыва в социально-экономическом развитии между развитыми и развивающимися странами; по определению возможных размеров (и принципов распределения) помощи развивающимся странам; 4) дальнейшие исследования глобальных экологических проблем (выбросов тепличных газов, загрязнения земель, водоемов и Мирового океана и т.п.), в том числе, в увязке с проблемами социально-экономического развития; 5) специальные исследования по энергетике устойчивого развития применительно к России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.). Информационный обзор. Новосибирск: СО РАН, 1992. 62 с.
2. Беляев Л.С., Кавелин И.Я., Филиппов С.П. Исследование эффективности мировой энергетической системы с применением математических моделей // Изв. РАН. Энергетика. 1994. № 4. С. 46–54.
3. Беляев Л.С., Филиппов С.П. Изучение долгосрочных тенденций в развитии мировой энергетики // Изв. РАН. Энергетика. 1996. № 3. С. 10–21.
4. Беляев Л.С., Марченко О.В., Филиппов С.П. Исследование тенденций и масштабов развития ядерной энергетики мира в XXI в. // Изв. вузов. Ядерная энергетика. 1997. № 1. С. 4–9.
5. Belyaev L.S., Filippov S.P., Marchenko O.V. Possible role of power from space in the 21st Century // Proc. SPS '97 Conf. Montreal, 1997. P. 35–40.
6. Демирчян К.С., Демирчян К.К. Выбор стратегии развития энергетики России при необходимости учета глобального потепления // Изв. РАН. Энергетика. 1996. № 4. С. 3–27.
7. Демирчян К.С., Демирчян К.К. Исследование методов моделирования чувствительности климатической системы, углеродного цикла и сроков ограничения выбросов углерода на прогнозируемые изменения глобальной температуры // Изв. РАН. Энергетика. 1998. № 1. С. 3–39.
8. Marchetti C. Geoengineering and the energy island // Second Status Rep. of the IIASA Project on Energy Systems. RR-76-1. Laxenburg: IIASA., 1976. P. 220–244.
9. Haefele W., Sassin W. The global energy system // Behavioral Science. 1979. V. 24. № 3. P. 169–189.
10. Haefele W. Program leader. Energy in a finite world. Cambridge: Ballinger Publ. Comp., 1981. 837 p.
11. Haefele W., Martinson D., Walbeck M. The concept of novel horizontally integrated energy systems // Proc. X World Congress on Automatic Control. Munchen: IPAC, 1988. V. 5. P. 155–161.
12. Беляев Л.С., Каганович Б.М., Филиппов С.П., Вагнер Г.И. и др. Пути перехода к чистому энергоиспользованию. Два методических подхода // Изв. АН СССР. Энергетика и трансп. 1987. № 4. С. 11–22.
13. Хефеле В. Энергетика в переходный период. Основные проблемы // Изв. АН СССР. Энергетика и трансп. 1990. № 2. С. 3–13.
14. Global energy perspectives to 2050 and beyond. London–Laxenburg: World Energy Council, International Institute for Applied Systems Analysis, 1995. 106 p.

Иркутск

Поступила в редакцию
13.VII.1998