

В.М. Бродянский

Московский энергетический институт (Технический университет), ул. Красноказарменная, 14, г. Москва, РФ, 111250

ДОСТУПНАЯ ЭНЕРГИЯ ЗЕМЛИ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ. 2. РЕСУРСЫ ЗЕМЛИ

Во второй части статьи рассматриваются экономические проблемы, тесно связанные с оптимизацией систем жизнеобеспечения, а также прогнозируется дальнейшее развитие данной области. Приводятся доказательства, что неоклассическая экономика не в состоянии решить проблемы объективного анализа и перспектив развития систем жизнеобеспечения в новых условиях XXI в. Анализируется понятие «естественной цены» и несколько вариантов его применения. Рассматриваются три целевые функции оптимизации подобных систем в зависимости от уровня проблемы. В заключение анализируются способы перехода к «экологичной экономике», которая обеспечивает меньшее использование «неорганических» ресурсов и обновление природных органических ресурсов наряду с дальнейшим развитием систем жизнеобеспечения.

Ключевые слова: Доступная энергия Земли. Системы жизнеобеспечения. Вещество. Энергия. Эксергия. Ресурсы. Экология.

V.M. Brodjansky

AVAILABLE ENERGY OF THE EARTH AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE LIFE SUPPORT SYSTEMS. 2. RESOURCES OF THE EARTH

The second part of the article examines the economic problems that are related closely with the optimization of life support systems, and projected future development of this area. Provides evidence that mainstream neoclassical economics is unable to resolve the problems of objective analysis and prospects of development life support systems in the new conditions the XXI century. A concept of «natural prices» and several versions of its application are analysed. Three objective functions of such systems optimization depending on the level of the problem are considered. In conclusion, examines how the transition to «green economy», which provides less use of «inorganic» resources and update of natural organic resources, along with the further development of life support systems.

Keyword: Available Earth energy. Life support systems. Substance. Energy. Exergy. Resources. Ecology.

«Энергетическая проблема на сегодняшний день является проблемой номер один, её решение определяет уровень цивилизации и её благополучия». Капица, 1998.

1. ВВЕДЕНИЕ

При анализе современного энергетического положения на Земле обычно главное внимание уделяет-

Д.т.н., профессором Московского энергетического института (Технического университета) Виктором Михайловичем Бродянским (1921-2009 гг.) эта статья была написана для «Энциклопедии систем жизнеобеспечения», которая готовилась к публикации ЮНЕСКО. Энциклопедия, состоящая из трёх томов, была издана издательством «EOLSS» на английском языке в 2002 г. Все тома этой энциклопедии в 2005 г. были выпущены Издательским домом «Магистр-Пресс» (г. Москва) на русском. Перевод с русского на английский и обратно искажил в некоторых местах статью В.М. Бродянского. Поэтому русский текст нуждался в основательном редактировании, которое тщательно было выполнено к.т.н., доцентом Национального технического университета Украины (КПИ) П.П. Куделей. Из-за большого объёма статья публикуется в двух выпусках журнала. Она, несомненно, вызовет интерес у читателей.

© В.М. Бродянский

ся невозобновляемым энергетическим ресурсам (ископаемое топливо, а именно нефть, природный газ и уголь). Меньший интерес вызывает атомная энергия (из-за связанных с ней опасностей). Альтернативные возобновляемые ресурсы (водяные потоки, ветер, моря и океаны, геотермальное тепло, биомасса) имеют второстепенное значение, а солнечная энергия учитывается в последнюю очередь.

На первый взгляд, такая иерархия хорошо обоснована, так как на сегодня отражает истинную роль энергетических ресурсов в поставке энергии мировой экономике. Однако с точки зрения экологии и насущной необходимости прогнозировать энергетическую ситуацию, данный подход не удовлетворяет современным требованиям. Сегодня важен анализ энергетической ситуации на Земле как единого целого, с учётом развития технических наук. Данный подход имеет две стороны: первая относится к внутреннему энергетическому балансу, вторая к внешнему. Внешний энергетический баланс Земли напрямую связан с солнечным излучением, нет нужды доказывать его жизненную важность. Однако, с другой стороны, солнечное излучение способствует повышению температуры Земли. Нельзя недооценивать опасные последствия этого дисбаланса.

Что касается внутреннего энергетического баланса, очень малая его часть напрямую связана с солнечной энергией. Однако в начале XXI в. общий вклад в энергетику Земли гидросферы, энергии ветра, разницы в температурах океана и течений, биомассы и непосредственного потребления солнечного излучения составлял около 16 %. Это немало, особенно если учесть потенциал биомассы и систем с малой выходной мощностью. В ближайшем будущем у этих энергетических систем крайне благоприятные перспективы развития, особенно в отношении модернизации и понижения стоимости установки.

Данный вид анализа энергетического баланса, связанного с солнечным излучением, необходим для будущего развития систем жизнеобеспечения.

2. ТРИ ФОРМЫ ВНЕШНЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ

2.1. Внешний энергетический баланс Земли

На рис. 1 энергетический баланс Земли изображён в виде диаграммы потоков (диаграммы Сэнки). Энергия солнечного излучения, поступающего на Землю, в среднем равна $1,7 \cdot 10^{17}$ Вт, из которых около 34 % безвозвратно отражается обратно в космос. Остальная энергия, $1,12 \cdot 10^{17}$ Вт, достигает Земли. Кроме того, сюда входит сравнительно небольшая доля лунного излучения и геотермальной энергии. Наконец, существует энергия антропогенного происхождения (от горения органического и атомного топлива), но её сравнительно мало ($7 \cdot 10^{12}$ Вт). Однако не вся энергия остаётся на Земле, часть её преобразовывается и затем уходит в космос в виде низкочастотного излучения.

Это обеспечивает практически устойчивый энер-

гетический баланс на Земле. Важно, что Земля не только не задерживает солнечное излучение, но даже передаёт некоторое количество энергии. В последнее время учёные выдвинули предположение, что дополнительный поток энергии частично задерживается атмосферным загрязнением, вызванным человеком. Данная энергия имеет антропогенное происхождение (сгорание органического и атомного топлива). В результате температура атмосферы постепенно увеличивается. Перегрев вызывает очень опасные последствия. При детальном рассмотрении проблемы необходимо учитывать внутренний энергетический баланс Земли (раздел 3).

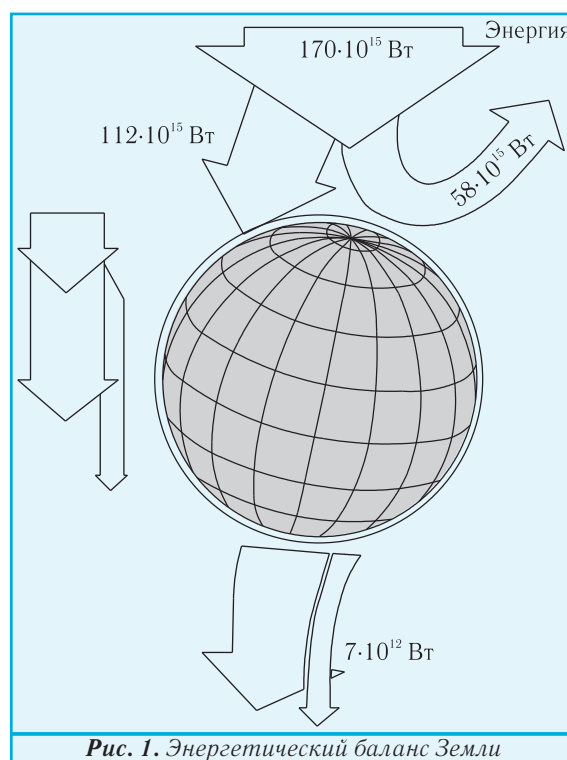
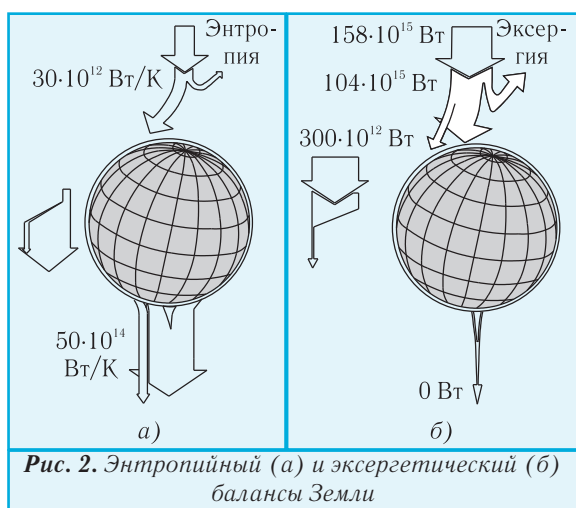


Рис. 1. Энергетический баланс Земли

2.2. Энтропийный баланс Земли

Энтропийный баланс Земли представлен на рис. 2,а. По нему можно сделать интересные выводы. Высокотемпературное солнечное излучение характеризуется высоким уровнем упорядоченности энергии, это соответствует низкому уровню энтропии, так как разброс частот очень мал. С другой стороны, поток низкотемпературного излучения с повышенной «хаотичностью» характеризуется более высокой энтропией (почти в 190 раз, до $57 \cdot 10^{14}$ Вт/К). Таким образом, Земля «выбрасывает» в космос огромный поток энтропии, которая вырабатывается в процессе необратимых преобразований энергии, как природных, так и искусственных. Хотя последние составляют очень небольшую часть энтропийного потока, человечество, несомненно, влияет на увеличение энергообразования (и увеличение энтропии). В действительности, отходящие газы (в основном углекислый газ CO_2) препятствуют выведению тепла в космос и способствуют перегреву поверхности Земли и атмосферы.



2.3. Эксергетический баланс Земли

В эксергетическом балансе Земли (рис. 2,б) заключается ответ на главный вопрос: что получает Земля от Солнца, если вход и выход энергии почти одинаковый? На основе вышеизложенного, эксергетический поток излучения, который достигает Земли, составляет 0,93 от полного энергетического потока, и равен $1,04 \cdot 10^{17}$ Вт. Он полностью остаётся на Земле, так как выход эксергии, определяющийся средней температурой поверхности (~ 300 К), практически нулевой. Таким образом, вся входящая эксергия в конце концов рассеивается по Земле. Только небольшая часть потока используется в биосфере и в некоторой степени людьми, как напрямую, так и через запасы органического топлива. Если говорить о прямом использовании эксергии солнечного излучения, люди на данный момент применяют лишь микроскопическую долю громадного эксергетического потока (менее 0,1 %).

Следовательно, существование человечества на Земле не имеет практического влияния ни на один из трёх аспектов внешнего энергетического баланса (несмотря на то, что отработавшие газы предотвращают выход тепла в космос).

Совершенно другая ситуация складывается с воздействием человека на внутренний вещественный и энергетический баланс Земли. Полный анализ данной проблемы может занять несколько томов. Тема уже частично раскрыта, исследования будут продолжаться и дальше. Здесь представлены только основные мысли и положения, а также некоторые важные сведения.

3. ВНУТРЕННИЙ МАТЕРИАЛЬНЫЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЗЕМЛИ

Внутренний баланс вещества и энергии отличается от внешнего по нескольким пунктам. Во-первых, внутренний баланс включает не один, а много форм энергетических потоков, причём, не только излучение, но также различные типы материальных потоков, включая сложные биологические виды. Во-вторых, энергетические потоки на Земле отличаются от энергетических потоков внешнего баланса по плотности (как правило, в сторону увеличения). Напри-

мер, средняя плотность солнечного излучения на поверхность Земли равна лишь от $1 \cdot 10^2$ до $3 \cdot 10^2$ Вт/м², а плотность в линиях электропередач составляет $\sim 10^{12}$ Вт/м². В качестве другого примера можно привести природный феномен — молнию. В-третьих, внутренний баланс вещества и энергии связан с различной деятельностью человека, которую во многих случаях можно назвать агрессией, если не прямым грабежом.

При анализе внутреннего баланса Земли необходимо учитывать влияние человеческой деятельности и на органическую, и на неорганическую сферы. Исследование данного воздействия является ключом к развитию систем жизнеобеспечения и сейчас, и, что особенно важно, в будущем. Лучше подвергнуть энергетическому и эксергетическому анализу вначале неорганическую сферу, затем биосферу и, наконец, антропогенную сферу. Конечно, нельзя не учитывать и тесные связи между ними.

3.1. Неорганическая сфера

Неорганическая часть ноосферы включает геосферу, гидросферу и атмосферу. Геосфера занимает лишь тонкий слой поверхности Земли, не больше 8-10 км в толщину и только 0,1-0,2 % радиуса Земли. Более глубокие слои Земли в настоящее время неподвластны человеку, а потому не являются частью ноосферы. Тем не менее, этот тонкий слой даёт большую часть полезных ископаемых, необходимых для антропогенного развития в настоящем и будущем. Уменьшение запасов Земли — не главная проблема ближайшего будущего, так как все жизненно важные незаменимые минеральные ресурсы не истощатся. Это можно утверждать на основе развития новых технологий, особенно в области энергетики. Человечество нанесло сильный вред поверхности Земли, но люди могут употребить все свои научные и технические знания для решения проблемы уменьшения отходов и преобразования их в полезные продукты и энергию.

Гидросфера составляет около 71 % земной поверхности. Суммарный объём запасов воды на Земле — примерно $1390 \cdot 10^6$ км³, из которых только 2,5 % пресной (частично в форме льда). Главный продуктивный слой гидросферы достигает в глубину от 200 до 250 м. Важно заметить, что гидросфера поставляет в четыре или пять раз больше биомассы, чем суша (около $40 \cdot 10^9$ т/год).

Атмосфера представляет внешний слой газов, отделяющих Землю от космоса. Её суммарная масса колеблется от $5,1 \cdot 10^{15}$ до $5,9 \cdot 10^{15}$ т. Основные компоненты атмосферы — азот (78 % от объёма), кислород (21 %) и аргон (0,9 %). В настоящее время их концентрация фактически не меняется. Исключением является только концентрация углекислого газа, которая постепенно увеличивается в результате сгорания органического топлива. К 2000 г. содержание CO₂ в атмосфере составляло примерно 0,034 % по объёму.

Три сферы Земли, описанные выше, вместе с солнечным излучением являются источником сырья и энергии и способствуют развитию биосферы. В конечном итоге они — основа человеческого существо-

вания и функционирования всех систем жизнеобеспечения. Поэтому биосфера заслуживает более пристального рассмотрения.

3.2. Биосфера

Жизнь во всех её формах, от вирусов до человека, составляет биосферу Земли, а человечество — её неотъемлемая часть. Биосфера может существовать и без человечества, но человечество не может существовать без биосферы. Биосфера Земли имеет огромное значение для жизни людей и прогресса цивилизации.

К сожалению, отношения между человечеством и природой пока развиваются в противоположном направлении. Чрезмерно активное воздействие на природу привело к тому, что её сопротивляемость почти исчерпалась. Факторы, определяющие давление на биосферу, и действия, направленные на минимизацию вредных последствий, частично обсуждались выше. Здесь следует рассмотреть данную проблему под другим углом, т.е. проанализировать факторы, которые помогут защитить биосферу и обеспечить её развитие.

Развитие биосферы имеет как количественный, так и качественный аспекты. Даже не говоря об упомянутых аспектах, любое научное действие по «улучшению» живых объектов затрагивает вечный вопрос: «Что такое жизнь?». Если опустить сложные философские и религиозные рассуждения, которые не имеют отношения к практическим вопросам, необходимо все-таки установить границы живого с точки зрения физики.

Тогда для ответа на вопрос «Что такое жизнь?» следует проанализировать способность живых существ сопротивляться негативному воздействию окружающей среды и способность к развитию. Первым работником в данной области написал нобелевский лауреат Э. Шрёдингер. В книге «Что такое жизнь?» (1944 г.) он анализировал энергетический и энтропийный балансы живых существ. Шрёдингер доказал, что «порядок», связанный с жизнью, возникает исключительно от солнечного света и просто воплощается в биомассе. Общий беспорядок всегда возникает во времени. Следовательно, механизм поддержания жизни в ряде существ можно объяснить с термодинамической точки зрения. Живой организм избегает равновесия при помощи еды, питья и дыхания, а в случае растений — усвоения питательных веществ. Т.е. организм обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Э. Шрёдингер писал: «Абсурдно полагать, что сутью является вещественный обмен. Атомы азота, кислорода и так далее ничем не отличаются друг от друга; что можно получить, поменяв их местами? В прошлом любопытные довольствовались объяснением, что мы питаемся энергией. В меню ресторанов, рядом с ценой, указывается энергетическая ценность каждого блюда (эта «энергетическая ценность» применима ко всем пищевым продуктам, но полезна только в качестве меры предотвращения тучности). Если понимать это буквально, то это абсурд. Для взрослого организма энергетическое довольство является таким же устойчивым, как и материальное

довольство».

Тогда что такого есть в пище, что не даёт нам умереть? Ответ простой. Каждый процесс, событие, случай — называйте, как хотите, одним словом, всё, что происходит в природе, означает увеличение энтропии в определённой части мира. Следовательно, живой организм постоянно увеличивает собственную энтропию, или можно сказать, производит положительную энтропию и таким образом стремится к опасному состоянию максимальной энтропии — к смерти. Убереечься от неё, т.е. остаться в живых, можно только постоянно вытягивая из окружающей среды отрицательную энтропию, которая очень полезна, как будет доказано ниже. На самом деле организм питается отрицательной энтропией. Или, другими словами, сутью метаболизма является способность организма освободиться от всей энтропии, которую он вырабатывает в процессе жизни.

Таким образом, Шрёдингер утверждает, что живые организмы питаются «отрицательной энтропией». Эту очень важную мысль можно пояснить на простом примере. Кошка, съев мышь, переваривает её и испражняется веществом, чья энтропия гораздо выше энтропии живой мыши. Мораль этой печальной истории в следующем: кошка получила некоторую долю «отрицательной энтропии». Таким образом, она поддержала собственную энтропию на низком уровне.

Мышь поддерживает низкий уровень энтропии также с помощью пищи и т.д. «Пищевая цепочка» тянется от микроорганизмов до растений, животных и, наконец, человека. Однако между первыми двумя и последними двумя жизненными формами имеется существенная разница. Микроорганизмы и растения могут использовать неорганическую пищу и солнечную энергию для поддержания жизни. Высшие жизненные формы живут только за счёт низших форм (или за счёт друг друга).

Пользуясь современной термодинамической терминологией, мысль Шрёдингера можно выразить на основе эксергии. Каждое звено пищевой цепочки живет, используя эксергию другого, обычно более низкого звена. Формы в начале цепочки используют эксергию природного вещества и солнечное излучение. Все жизненные процессы проходят в полном согласии с первым и вторым законом термодинамики. Суммарное количество энергии остаётся неизменным, но количество эксергии уменьшается. Потеря компенсируется добавлением эксергии из внешних источников.

Данный подход к анализу внешних процессов применим к искусственным и биологическим системам жизнеобеспечения, любой метод модернизации или увеличения их производительности должен основываться на тех же термодинамических принципах и данных. Однако сейчас невозможно проанализировать процессы, идущие внутри биологических объектов. Складывается такая же ситуация, как в технической области, когда учёные пытались оценить потоки вещества или тепла при помощи единиц энергии. Не учитывался качественный аспект энергии в заданных условиях окружающей среды.

Энергетические характеристики пищевых продуктов, основанные на так называемой «калорийности» (упомянутой Шрёдингером), представляют один из подобных подходов. В принципе, данная оценка строится на количестве тепла, которое высвобождается при окислении (сжигании) продукта. Такая оценка, безусловно, полезна для составления диет против излишнего веса. Однако калорийность не отражает качество пищи с точки зрения биологической ценности. Калорийность килограмма угля превосходит калорийность килограмма черной икры, но питаться углем никто не рекомендует.

Отсюда естественно не вытекает, что эксергия является критерием качества пищи. Но проблема гораздо сложнее, её нельзя свести к биологической ценности, хотя эта особенность имеет огромное значение из-за своего фундаментального характера. Биологическая ценность продукта оценивается не только по его химическому составу, но также по уровню сложности его молекулярной структуры. Последнюю в принципе нельзя узнать при помощи термодинамики со ссылкой на энтропию. Чем выше организация вещества, тем сложнее его структура, ниже уровень хаотичности и энтропии. Но определить энтропию биологических тканей на основе вычислений эксергии на данный момент невозможно. И, соответственно, она просто не учитывается. (В принципе, это возможно с помощью информационной теории, но до сегодняшнего дня никто не брался за подобные вычисления).

Упрощённый подход к решению проблемы предложил С. Йоргенсен (S. Jorgenson, 1998). Он заявил, что эксергию органического вещества можно рассчитать непосредственно на основе её клеточного строения (объёма генетической информации).

Вычисление эксергии детрита (продукта распада живого вещества) дало следующие результаты: 1 г детрита обладает в среднем эксергией в 18,7 кДж. Следовательно, если известно число информационных генов заданного организма, переводной коэффициент можно получить для любого биологического вида. Например, для бактерии коэффициент равен 2,7, для растений и деревьев — 29,6-86,8, для рыб — 287-283, для млекопитающих — 402, и, наконец, для людей — 716.

В отношении эксергии получаются следующие цифры: $18,7 \cdot 2,7 = 50,5$ кДж/г для бактерий; 534-1623 кДж/г для растений; и, наконец, 13389 кДж/г или $13,4 \cdot 10^6$ кДж/кг для людей. Это существенно больше «энергетической ценности». Естественно, численное выражение эксергии для различных видов тканей можно уточнить, но очевидно, что биомасса во всём своём разнообразии является огромным уникальным вместилищем и источником полезной эксергии Земли.

Следовательно, продуктивность сельского и лесного хозяйства, как и эффективность биопромышленного оборудования, необходимо оценивать другими средствами, на основе эксергии. Продуктивность совершенно точно можно повысить, но для этого требуются дальнейшие исследования. Для изучения связи сложной структуры живого вещества и его энтропии с эксергией, следует работать как в практическом на-

правлении, так и в области молекулярной биологии.

Развитие биосферы и её взаимодействие с техносферой и системами жизнеобеспечения представляют главные проблемы человечества. Технические системы жизнеобеспечения абсолютно бесполезны, если их работа не основывается на результатах существования и деятельности биосферы. Поэтому нельзя забывать о специфических характеристиках биосферы Земли. На Земле насчитывается около 10^{27} живых организмов: суммарная масса живого вещества равна от $3,4 \cdot 10^{12}$ до $4,6 \cdot 10^{12}$ т. Масса человеческого населения около $3 \cdot 10^8$ т. Роль воды в структуре живых организмов показывает общее количество воды в живой материи на Земле. Она составляет почти 10^{12} т. Значения очень велики не только сами по себе, но и в отношении общей массы пресной воды в гидросфере (0,003 %).

Чтобы выделить возможности положительных эффектов (и уменьшить негативные последствия) биосферы, необходимо проанализировать основные процессы, в ней происходящие. Н.В. Тимофеев-Ресовский выделил три стадии процессов, составляющих биосферу:

- поступление энергии в биосферу - солнечная энергия и автотрофный фотосинтез;
- циркуляция вещества и энергии в биосфере;
- вывод субстанции из биосферы в геосферу. В особенности это касается образования угля, известняка, клатратов и других залежей органического происхождения.

На всех трёх стадиях биологических процессов техносфера оказывает вредоносное воздействие. Поэтому необходимо не только уменьшать это воздействие, но и приносить пользу окружающей среде, чтобы увеличить продуктивность и возможности самих процессов биосферы. Данный аспект проблемы часто упускают из вида экологи. Их главная задача — причинять как можно меньше вреда природным биологическим системам. Это, действительно, очень важно и требует новых решений, исследований и значительных затрат. Но это только одна сторона проблемы. Необходимо также помогать природе в развитии полезных защитных процессов и таким образом преодолевать негативное антропогенное воздействие, неизбежное при развитии техносферы.

На стадии поступления энергии в биосферу главная задача — увеличить эффективность использования эксергии солнечного излучения в растениях. Последние исследования доказали, что это возможно сделать несколькими способами, в том числе при помощи озеленения территорий (хотя новые исследования тоже очень важны и обещают плодотворные результаты). Положительного эффекта можно добиться через современную генетику.

На стадии циркуляции в биосфере основная деятельность направлена на увеличение эффективности преобразования вещества и энергии через развитие живых объектов, полезных человеку. Последние достижения в биологии позволяют реализовать данный подход.

Наконец, на стадии выхода следует минимизировать обесценивание органических веществ, которые покидают круговорот биосферы, и более полно использовать их биологический потенциал. Например, когда органическое вещество применяется в качестве топлива или для производства биогаза, его биологический потенциал теряется (пусть даже и потребляется тепло от сгорания). Другими словами, используется только энергия, а во много раз превосходящая её эксергия реализуется лишь частично.

Таким образом, прогресса в биосфере можно достичь двумя путями: пассивно (защита от вредного влияния техносферы) и активно (восстановление на основе современных научных исследований и экономического развития). Естественно, необходимо развивать и применять обе стратегии в рациональном взаимодействии. Защита, развитие и усовершенствование биосферы тесно связаны с проблемами улучшения всех систем жизнеобеспечения. Последний нерешённый вопрос представляет большую сложность, так как каждая отдельная система жизнеобеспечения имеет множество связей не только с природой, но и с другими системами, а также с человеческой сферой. Все искусственные системы жизнеобеспечения созданы людьми для людей. Но последствия их имеют две стороны: положительную (удовлетворение запросов человека) и отрицательную (деградация окружающей среды и губительное воздействие на здоровье человека). Так, человечество мешает созданию основ работы по усовершенствованию систем жизнеобеспечения.

В такой сложной ситуации следует рассмотреть три главные взаимосвязанные проблемы человеческой сферы. Первая: каким образом использовать природные ресурсы для удовлетворения всех потребностей растущего населения Земли в XXI в.? Вторая: сможет ли ноосфера Земли противостоять негативно-му воздействию систем жизнеобеспечения и достаточно ли её «буферной способности»? Наконец, третий вопрос: можно ли довести результаты работ по созданию и импровизации систем жизнеобеспечения до должного уровня?

3.3. Сфера, созданная человеком (система жизнеобеспечения)

Вышеизложенные проблемы можно в конечном счёте свести к единственному вопросу — хватит ли человечеству пригодной энергии (т.е. эксергии) для их решения. А эксергии понадобится очень много. Если речь идёт о природных ресурсах Земли, то при помощи увеличения необходимого количества эксергии можно и минимизировать потребление ресурсов, и возобновить их запасы (особенно пресной воды, биомассы и отходов).

Сопrotивляемость природы также можно поддерживать, расходуя соответствующее количество эксергии на переработку отходов и энергопополнение полезных биологических систем природного или антропогенного происхождения. Все эти частные проблемы объединяются в одну главную: исследование энергетического (эксергетического) запаса и (что не менее

важно) его ограничений.

Улучшение качества различных систем жизнеобеспечения до уровня, пригодного в XXI в., — сложная задача, так как эксергетическая отдача любого объекта (природного или искусственного) не превышает 100 %. Более того, сложности возникают как раз при достижении предела отдачи. К тому же необходимо учитывать расход эксергии при возникновении каждого объекта.

Проанализируем оба сложных вопроса. Как и в предыдущем случае начать следует с основного: где найти колоссальное количество эксергии для применения в XXI в. Наиболее современным переносчиком эксергии является электричество, и спрос на электрическую энергию подходит для анализа данной ситуации.

Спрос на электричество в XXI в. увеличится в несколько раз. Предсказать это увеличение сложно даже на ближайшие 10-20 лет, не говоря уже о последующих десятилетиях. Статистические данные противоречат друг другу. Однако некоторые выводы по тенденциям развития электрической энергии в ближайшем будущем сделать можно, основываясь на доступной информации.

Во-первых, стоит отметить, что производство электрической энергии во второй части XX в. удваивалось каждые 12-15 лет. Данную тенденцию нельзя экстраполировать на XXI в. Необходимо учитывать неравномерное распределение потребления энергии в различных областях земного шара. В 1975 г. потребление электрической энергии составляло менее 2 кВт на человека для 72 % населения мира, 7 кВт и более на человека для 6 % населения и 2-7 кВт на человека для 22 %.

Очевидно, что параллельно увеличению общего потребления энергии в развитых странах начнутся радикальные изменения, в результате которых слаборазвитые страны дотянутся до уровня развитых. В то же время следует принимать во внимание неизбежное замещение в ближайшем будущем традиционных источников энергии, тепла и света. Например, высокий процент энергии до сих пор вырабатывается при сжигании древесины (почти 60 % в Африке, 20 % в Латинской Америке и почти 10 % в Азии). Итого, до $1,5 \cdot 10^9$ м³ древесины в год.

В любом случае производство электрической энергии неизбежно увеличится в ближайшем будущем в несколько раз. Такого роста невозможно добиться только при помощи тепловых электростанций, которые используют химическое топливо (уголь, нефть или природный газ). Здесь речь не идёт об истощении данного вида топлива, и в ближайшем будущем этого не произойдёт. Дело в другом, опасность возникает из-за неизбежного высвобождения газообразных продуктов горения с углекислым газом CO₂ во главе. На данный момент электростанции вырабатывают в год до $25 \cdot 10^8$ т этого газа. Модернизация тепловых электростанций на химическом топливе не изменит положение. Если учесть результаты горения в других тепловых двигателях (в автомобилях и самолё-

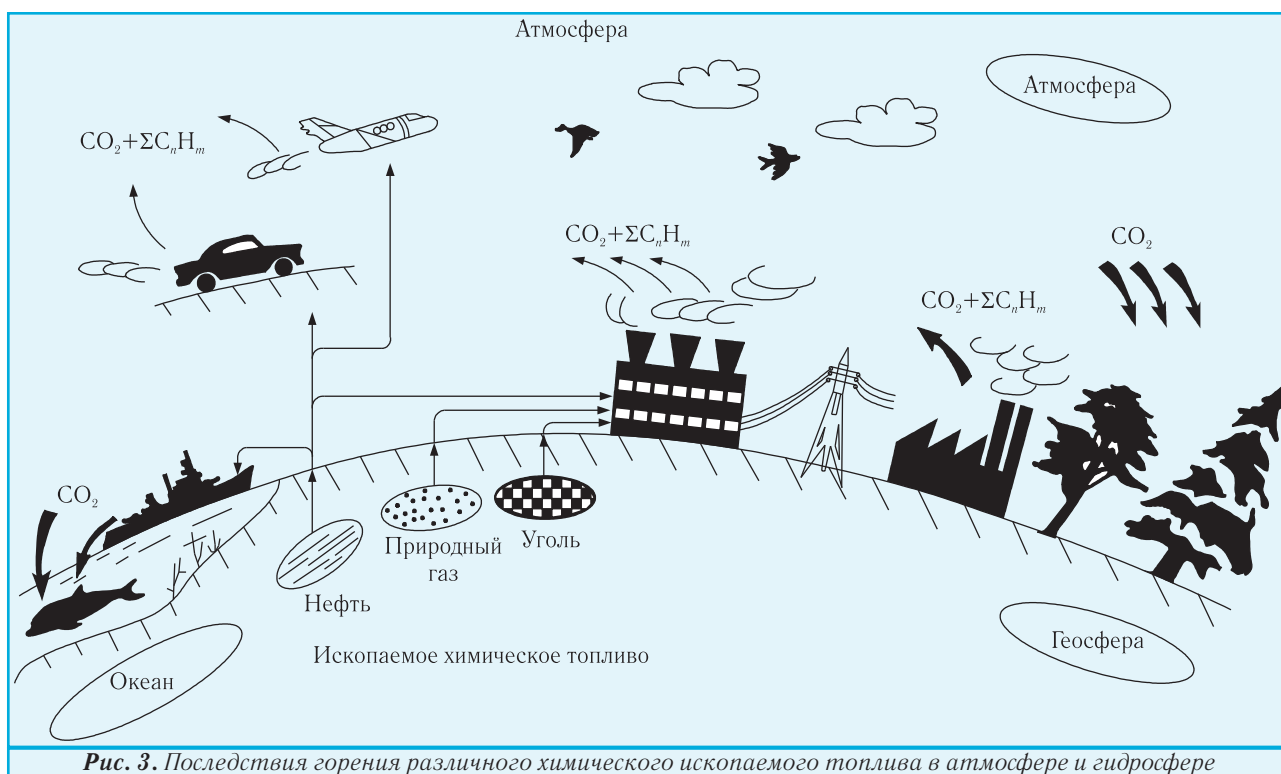


Рис. 3. Последствия горения различного химического ископаемого топлива в атмосфере и гидросфере

тах) и системах отопления, количество вырабатываемого CO_2 , как и других продуктов горения, будет ещё больше (рис. 3).

Биосфера и гидросфера не в состоянии поглотить столько CO_2 , поэтому растёт концентрация углекислого газа в атмосфере.

На рис. 4 показано увеличение концентрации CO_2 в атмосфере за последние годы. На графике концентрация CO_2 до начала эры тепловых двигателей (около 1800 г.) обозначена пунктиром. С того времени положение резко изменилось. Сейчас общее содержание CO_2 в атмосфере очень высокое, от 750 до $800 \cdot 10^8$ т.

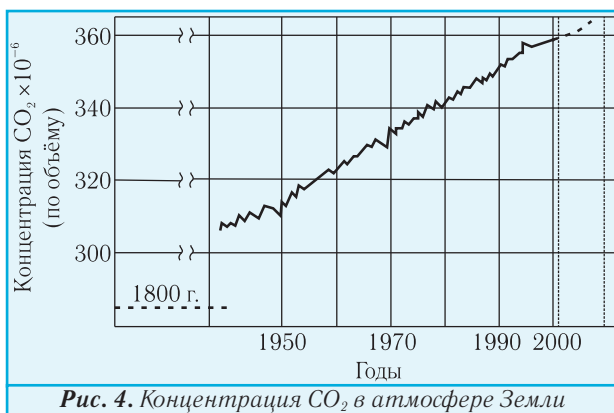


Рис. 4. Концентрация CO_2 в атмосфере Земли

Высокая концентрация CO_2 и других «парниковых» газов приведёт к уменьшению теплового излучения Земли и, соответственно, к увеличению средней температуры поверхности. За последние 30-40 лет, температура поверхности увеличилась на $0,6-0,7$ °C. Предположительно к 2010 г. она поднимется ещё на $1,3$ °C. Цифра вроде бы небольшая, но за ней кроются серьёзные экологические последствия. Таяние арк-

тических (в Гренландии) и антарктических льдов вызовет подъём уровня моря от $0,3$ до 1 м к 2010 г. В результате будут затоплены многие густонаселенные территории.

Существует противоположная точка зрения на проблему глобального потепления и его негативные последствия. Некоторые учёные полагают, что другие явления могут частично или полностью компенсировать высокую концентрацию CO_2 в атмосфере, а именно колебания солнечного излучения (колебания солнечного излучения прямо связаны с «числом Вульфа», которое определяется количеством пятен на солнце). По астрономическим прогнозам современный высокий уровень солнечной активности будет уменьшаться в XXI в. и в дальнейшем (предыдущий минимум солнечной активности и соответствующее падение температуры на Земле пришлось на период между 1650 и 1700 гг.). Таким образом, влияние CO_2 на климат частично или полностью возмещается. Но в любом случае развитие электроэнергетического производства имеет сейчас и будет иметь в будущем решающее значение.

В большей части прогнозов, касающихся энергетических запасов на первую половину двадцать первого века, не учитываются проблемы окружающей среды, а за химической топливной энергетикой сохраняется главнейшее место, которое она занимает сейчас. В любом случае в настоящей ситуации напрашивается другой вывод — о главенствующей роли атомных электростанций. Биосфера не может поглотить такое количество CO_2 и других загрязняющих агентов. Биосферу и человечество необходимо защищать от опасных последствий загрязнения и перегрева. Противоатомное движение обречено на провал, так как его члены не представляют реального давления

человека на ноосферу Земли. Противники атомной энергии считают проблемы, связанные с ростом её производства (иногда крайне серьёзные), неизменным атрибутом данной области энергетики. Они не принимают во внимание не только прогресс в исследовании атомной энергии, но и экологическую ситуацию. Парадоксально: простой отказ от дальнейшего развития атомной энергии представляет угрозу человеческой жизни и собственности.

Анализ истории и тенденций энергетического развития (рис. 5) показывает, что в добывании мировой энергии мы пришли от древесины к атомному топливу естественным путём. (Строго говоря, здесь больше подходит термин «мировая эксергия», так как для строгой оценки использования мировой энергии необходимо учитывать выдающуюся роль теплового производства. Поскольку эксергия тепла ниже, чем его энергия, сумма также будет меньше. Однако в глобальном анализе качество энергии обычно не принимается в расчёт, что может быть приемлемо в первом приближении). Некоторые страны уже далеко продвинулись в данном направлении (например, Франция, где атомная энергия составляет 77 %, Германия — 29 % и Япония — 30 %). Больше всего атомной энергии потребляют в Швеции, и особых проблем или сильных негативных реакций это не вызывает. Естественно, подобная тенденция не исключает развития альтернативных энергетических ресурсов: ветра, солнечного излучения к поверхности Земли, океанических течений и разницы температур, геотермальной энергии и энергии приливов.

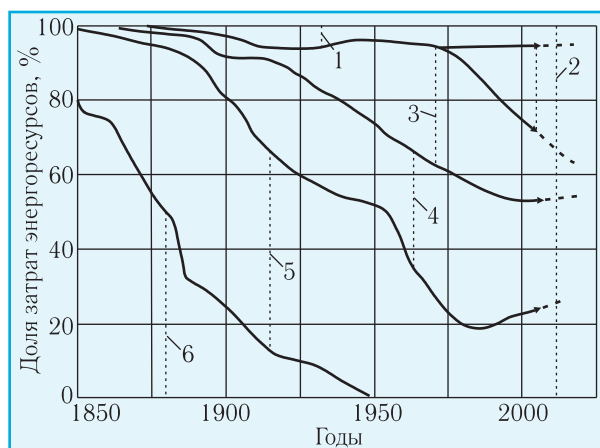


Рис. 5. Структура потребления первичных запасов энергии: 1 — гидроэнергия; 2 — атомная энергия; 3 — природный газ; 4 — нефть и жидкий природный газ; 5 — уголь; 6 — древесина

Учитывая потребности человека в энергии, можно предположить, что атомная энергия вместе с альтернативными источниками в ближайшем будущем решит проблему энергоснабжения. Но данный подход к решению энергетического вопроса не отменяет другие, не менее серьёзные проблемы: развитие систем жизнеобеспечения, которые преобразуют природные ресурсы в полезную энергию, и, соответственно, приспособление этой энергии для удовлетворения

различных потребностей человека. В противном случае экологический баланс будет неизбежно нарушен. Модернизация в данной области приведёт в дальнейшем к минимизации потерь эксергии во всех процессах различных систем жизнеобеспечения. Результат можно истолковать двумя способами: как увеличение эффективности эксергии η_e и как минимизацию расходов эксергии, связанных с её производством.

Чёткий ответ на вопрос, что лучше из потенциальных технических решений каждой проблемы, может послужить экономической оптимизации (в отношении экологических запросов). В то же время эксергетический анализ каждого объекта или проблемы даёт возможность ограничить число вариантов или заранее отбросить неисполнимые решения.

4. ДВА ПОДХОДА К ЭКОНОМИКЕ И РАЗВИТИЮ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

«Наша экономика должна координироваться энергетическими, а не денежными величинами. Деньги — понятие относительное и преходящее, энергия же фундаментальна и вечна».

А. Кинг

4.1. Экономические науки и природные силы производства

Различные варианты эксергетической оптимизации систем жизнеобеспечения указывают путь к модернизации с учётом современной экологической ситуации. Несмотря на существенную важность этой работы в разных странах, экономисты не используют её результаты в должном объёме. Сегодня экономические расчёты ведутся на основе денежных ценностей, хотя такой подход не соответствует современному положению. Главный недостаток — невозможность учитывать ценность природных объектов окружающей среды, особенно жизненно важных ресурсов. Это вытекает из незнания термодинамики и экологии. Данные отрасли науки не входят в число университетских предметов, которые должны изучать студенты-экономисты. Как объяснить такой пробел в образовании, если термодинамика даёт ключевую информацию о природных ресурсах и энергии, а экология — о взаимоотношениях природы и человека? (Честно говоря, многие инженеры тоже не уделяют должное внимание экологии).

Данное ограничение связано не только с отсутствием необходимых тем в учебном плане, но и с общим неадекватным восприятием экологии, и особенно термодинамики. Корни такого представления уходят в тот период, когда в классических работах У. Петти, А. Смита и Д. Риккардо закладывались основы экономики. Экономическая теория базируется на предположении, что цена на любой продукт (товар) определяется только количеством и качеством усилий, затраченных на его производство.

Из знаменитой формулы У. Петти «труд — отец богатства, а природа — его мать» в расчёт принимался только вклад отца. Несмотря на то, что вклад мате-

ри - всё, что производит природа, Земля — имеет огромное значение, его воспринимали как безвозмездный дар. В те времена такой подход можно было оправдать в определённых рамках. Однако, поскольку положение «Земли» существенно изменилось, и запасы «матери — природы» оказались безграничными, необходимо кое-что поменять и в экономике. Тем не менее в экономической науке до сих пор придерживаются устаревшей позиции и оценивают только последующие расходы (добыча, переработка и транспортировка природных ресурсов). Но ценность самих ресурсов совершенно не учитывается.

Точно так же ценность украденных из магазина товаров определяется затратами на воровство, включая подготовку к операции и сбыт краденного. Тем не менее такой «грабительский подход» очень хорошо работает, особенно в микроэкономике. Это естественно, так как для фирмы или корпорации, усилия которых направлены на реальный рынок, важна специфика ситуации на рынке как сейчас, так и в ближайшем будущем. В конкурентных кругах важно минимизировать денежные издержки на единицу продукции, чтобы оставаться впереди конкурентов и получать стабильную прибыль. Здесь бесполезно говорить о неприятностях с «закромами природы».

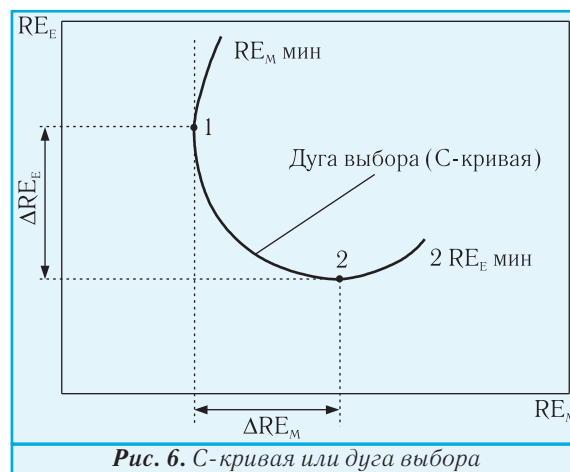
Конечно, термодинамика помогает оптимизировать энергетику процесса производства и в результате понизить его стоимость. Но это задача для инженеров. Экологи занимаются в основном последствиями загрязнения окружающей среды, государственные институты разрабатывают соответствующие меры. Таким образом, проблемы «ноосферы», связанные с развитием систем жизнеобеспечения при учёте экологических требований, не поддаются решению на основе традиционной экономики.

Это, конечно, не означает, что рынок потеряет своё значение для всех ветвей современной экономики. Он является определяющим фактором экономической жизни, особенно в сегодняшнем деловом мире. Тем не менее в экономике необходим новый подход. Иначе анализ будущих тенденций развития систем жизнеобеспечения в новых ситуациях станет невозможным.

Чтобы лучше понять соотношение денежного и эксергетического потоков в экономике, рассмотрим на рис. 6 так называемые С-кривую или «дугу выбора» (Le-Goff, Giniltri, 1983).

С-кривая обозначает отношения затрат на ресурсы в денежной и эксергетической форме. Каждый вариант оптимизации подразумевает собственный минимум затрат (денежных или эксергетических). Так как при оптимизации одного и того же объекта значения RE_M и RE_E зависят от одного и того же переменного фактора, каждому значению одного из них соответствует значение другого. Точки 1 и 2 являются минимальными значениями денежных (RE_M) и эксергетических (RE_E) затрат. В большинстве случаев эти точки не совпадают. Отрезок между точками 1 и 2 называется «дугой выбора», чтобы подчеркнуть, что выбор минимальных денежных затрат (точка 1) приведёт

к чрезмерным затратам эксергии (RE_E), а выбор минимальных эксергетических затрат (точка 2) вызовет чрезмерные затраты денег (RE_M).



Для выяснения природы расхождений между оптимумами на С-кривой необходимо учитывать главный недостаток экономики свободного рынка и методов вычисления эксергетической стоимости (затрат). Методы вычисления эксергетической стоимости были описаны выше. Теперь проанализируем некоторые свойства рыночной экономики с современной точки зрения.

4.2. Рыночная экономика: что ей под силу, а что нет

Достоинства рыночной экономики известны всем. Рынок — замечательный механизм, который возник давным-давно, когда люди начали обмениваться товарами. «Невидимая рука» рынка, как писал А. Смит, создаёт связи между производством и потреблением при помощи цен. Если спрос на товар выше, чем предложение, цена увеличивается и стимулируется выпуск товара на рынок. С другой стороны, если спрос на товар уменьшается, вместе с ним уменьшается и цена, а, следовательно, и выпуск товара. Так работает механизм отрицательной обратной связи производства и потребления.

Очевидно, что случаются периодические колебания ниже и выше точки равновесия, что приводит к отклонению равновесной цены от среднего значения. Таким образом, полное равновесие существует только на точках перехода от положительного к отрицательному значению и наоборот. Другими словами, только в этих точках случается равновесие «естественной» цены (термин отцов классической политэкономии). В остальное время реальная цена не совпадает с равновесной: она либо выше (на $+\Delta$), либо ниже (на $-\Delta$).

На теоретическом свободном рынке эти отклонения очень малы, и механизм отрицательной обратной связи действует нормально, стимулируя полезные инициативы и выживая неприбыльные, а значит, бесполезные товары. Но идеальная конкуренция существует только в теории. На практике рыночный механизм всегда подвержен искажающим влияниям. Главное из них — монополизация, «выгодная для некото-

рых лиц», как писал А. Смит, которая устанавливает цены, существенно отличающиеся от равновесных, «естественных». В этом отношении рыночный механизм часто подвергается контролю со стороны государства, который проявляется несколькими способами.

Первый связан с необходимостью введения антимонопольной политики, так как рынок не в состоянии самостоятельно справиться с «вирусом». Второй определяется необходимостью удовлетворять потребности населения, которые не имеют рыночной цены (наука, культура, образование, здравоохранение и т.д.). Последний (но не менее важный) относится к экологическим требованиям.

Существует ещё один фактор, связанный с государственным регулированием рынка: необходимость предсказывать экономическое развитие. Сам рынок, несмотря на все его достоинства, не может предвидеть будущее. Механизм отрицательной обратной связи не годится для решения данной проблемы, так как реагирует только на существующую ситуацию. Способность рынка к саморегулированию похожа на ответную реакцию простейших организмов, которая помогает им верно отвечать на стимул, но не позволяет предвосхищать события. Последнее доступно только высшим животным, чей мозг обрабатывает информацию и отдаёт нужные команды исполнительным органам. У рынка нет мозга, поэтому правительству приходится его заменять.

Известный экономист, нобелевский лауреат *В. Леонтьев* сказал: «Рыночный механизм подобен ветру, наполняющему парус корабля. Он необходим для экономического развития не меньше, чем планирование, которое можно сравнить с корабельным рулём». История XX в. показала, что любой дефект в такой комбинированной структуре вызывает кризис и приводит в тупик.

Возможное разрешение ситуации — согласование рыночного механизма с разумным, научно обоснованным регулированием со стороны правительства. Это то же «гармоничное сочетание свободы с планированием», которое описывал *Тейяр де Шарден*. Он рассматривал его как обязательное условие существования человечества в будущем.

Таким образом, несмотря на все достоинства рыночной экономики, даже в её новом воплощении (неоклассическая экономика), теоретической базе присущи некоторые недостатки. Первый, как обсуждалось выше, заключается в невнимании к ценности природных ресурсов. Второй связан с отсутствием приемлемых методов количественной оценки вредного влияния человека на окружающую среду. Как очевидно из третьего и четвёртого параграфов статьи, эту проблему можно решить с помощью термодинамики (учения об эксергии) и экологии.

Но существует и третья проблема — необходимость предсказывать экономическое развитие. Здесь также применим эксергетический подход через естественную теорию ценности.

4.3. Естественная теория ценности

Допустим, что анализ эксергии и расхождения в

денежном подходе основаны на «С-кривой». Теперь необходимо выявить особенности каждого метода.

Первый метод, основанный на различных вариантах использования эксергии, описан во втором разделе. Наиболее перспективным является метод вычисления совокупной эксергии, предложенный Шаргутом. В нём учитываются все природные затраты, кроме труда.

Второй метод, основанный на «естественной теории ценности», претерпел изменения в соответствии с современными термодинамическими понятиями и требует дополнительных пояснений. Во главе угла здесь ставится понятие естественной цены. О нём писал ещё У. Петти, однако он так и не сформулировал чёткое теоретическое определение.

Адам Смит (1776 г.) первым формализовал это понятие. Он выдвинул предположение, что цену можно определить с точки зрения «объективных» и «субъективных» законов: «Истинная цена, по которой обычно продаётся товар, называется его рыночной ценой. Она может быть выше, ниже или равна естественной цене».

Раннее определение равновесия чётко прослеживалось в теории Смита. Смит предложил термин «эффективный спрос» для описания субъективных рыночных отношений, а естественную цену определил как объективную. Взаимное влияние естественной и рыночной цены обуславливает равновесие: «Когда количества выпущенного на рынок товара как раз достаточно для удовлетворения эффективного спроса, рыночная цена максимально приближается к естественной». Смит утверждал, что естественная цена динамически устойчива и является величиной, к которой стремятся рыночные цены. Данная концепция естественной цены встречается во всех теориях.

Однако различные школы придавали разное значение субъективным и объективным законам при определении ценности. Например, согласно физиократическому учению, «естественная» цена определяется физическими, «объективными» законами, которые доминируют над «субъективными». Позднее *Риккардо*, *Маркс* и другие развили эту идею, используя человеческий труд в качестве основной экономической ценности. В неоклассической экономике (*Маршалл* и др.) «естественная» цена превратилась в «нормальную». «Нормальная» цена связана с равновесием спроса и предложения, где «субъективные» законы доминируют над «объективными».

Идея нового подхода состоит в том, что каждый класс законов («объективных» и «субъективных») требует своей единицы измерения, которая отражает специфические свойства производства и обмена. Деньги являются естественной единицей измерения для обмена, эксергия — для ресурсов (включая труд), используемых при производстве. Любой товар или услуга имеют относительную ценность в денежном выражении и абсолютную ценность в отношении эксергии. В данном случае эксергетическая цена включает те же затраты ресурсов (включая труд), что и денежная цена, но расчёты не зависят от рыночной оценки

(Бандура и Бродянский, 1996).

Таким образом, определение естественной цены основывается на общих затратах эксергии, необходимой для производства единицы товара или оказания услуги. Для вычисления затрат необходимо подсчитать все ресурсы, прямые и косвенные, используемые в процессе производства. Чем больше информации о товаре, тем точнее определение естественной цены.

В таблицах затрат/выпуска указана детальная информация о пропорциях различных объёмов промышленного производства для каждого вида промышленности в экономике. Зная общий объём отдельного производства, можно использовать специальные коэффициенты из этой таблицы для определения затрат, необходимых для производства единицы товара. Технологические изменения приводят к пересмотру естественной цены вследствие изменения межотраслевых пропорций. Изменения отражаются на коэффициентах в таблице.

Количество выпуска заново выражается в эксергетических единицах при помощи таблиц химической эксергии природных элементов. Так для каждого товара определяются его эксергетические затраты. Относительные эксергетические затраты можно сравнить точно так же, как сравниваются цены на товар. Они обуславливают межотраслевые пропорции, которые соответствуют естественной цене.

Чтобы сравнить текущую цену с эксергетическими затратами, последние надо пересчитать в денежной форме, сохраняя межотраслевые пропорции, соответствующие «естественным» ценам. Для этих целей используется коэффициент k_0 . Данный коэффициент является отношением денежной массы к сумме эксергии всех ресурсов, использованных при производстве товара. При умножении каждой затраты эксергии на k_0 получается система «естественных» цен в денежном выражении. Так как физические и химические законы являются основой определения эксергетических затрат, эта цена полностью соответствует определению «естественной» по Петти и Риккардо.

Из экономической теории хорошо известно, что при идеальной конкуренции процесс производства технически эффективен. Это происходит из-за эффективного рыночного распределения всех ресурсов в производстве. Однако тогда требуется должная оценка всех ресурсов. При использовании денежной или эксергетической формы можно получить минимальные денежные или эксергетические затраты соответственно. Итак, у нас есть несколько минимальных затрат ресурсов, в зависимости от единицы измерения. Обычно они не совпадают. В сущности при идеальной конкуренции ситуация не должна зависеть от единицы измерения.

Таким образом, макроравновесие (как и идеальная конкуренция) — это состояние, когда значения «естественной» и номинальной цены совпадают. Система «естественных» цен обуславливает межотраслевые пропорции, которые содействуют минимальным затратам ресурсов (независимо от единиц измерения), с тем чтобы суммировать валовой продукт

страны. В данном случае, суммарный валовой продукт производится с минимальными денежными и эксергетическими затратами, а значит, с минимальным использованием невозобновляемых ресурсов.

Определение естественной и номинальной цен позволяет установить макроравновесие вне зависимости от рыночных условий. При идеальной конкуренции текущая цена совпадает с «нормальной», определяемой на основе «субъективных» законов (согласно неоклассической концепции). В то же время она равняется по значению «естественной» цене, определяемой на основе «объективных» законов. В соответствии со взглядами Смита, в такой идеальной ситуации затраты можно объяснить с точки зрения любого класса законов. Но вне идеальной конкуренции нормальная и естественная цены не совпадают.

Согласно данному предположению, учитывается только значение эксергетической ценности, обуславливающей минимальные эксергетические затраты на производство. Однако возникает вопрос, как установить это минимальное значение. Самый надёжный метод, как показывает практика, следующий. Для определения эксергетических затрат необходимо выбрать минимальное значение для заданного периода времени. В данном случае самая низкая стоимость будет считаться минимальной, т.е. эксергетическими затратами. Чёткая разница между терминами «эксергетические затраты» и «эксергетические расходы» подчёркивает, что эксергетические затраты являются минимальными эксергетическими расходами.

Таким образом, с одной стороны, эксергетические затраты системы — реальный факт, так как каждая из их составляющих уже достигнута в экономике при рыночных условиях. С другой стороны, их можно назвать идеальными, так как рыночные условия, определяющие эксергетическую себестоимость, так и не сформировались. Система эксергетических затрат позволяет расходовать минимальное количество эксергии при производстве валового внутреннего продукта и представляет новые возможности для экономического анализа и рыночного регулирования.

Из понятия макроравновесия, рассмотренного выше, следует, что в состоянии равновесия «естественная» цена P_{oi} для каждого товара i пропорциональна минимальной эксергетической себестоимости E_{oi} того же товара, т.е.:

$$P_{oi} = k_0 E_{oi} \text{ для отдельной промышленности, } (1)$$

$$P_o = k_0 E_o \text{ для всей экономической системы. } (2)$$

Вектор E_{oi} для уравнения (1) можно определить при помощи метода вычисления эксергетических затрат (включая затраты труда), описанного выше. Для расчёта k_0 необходимо учитывать некоторые свойства «естественной» цены, основанные на определении данного понятия и макроравновесия.

Во-первых, общий коэффициент k_0 обязательно использовать для всех продуктов производства, чтобы сохранить неизменные межотраслевые пропорции

(относительные затраты), определяемые системой эксергетических затрат. Во-вторых, согласно классическому понятию, «естественная» цена P_o не зависит от рыночных условий и от любого перераспределения ресурсов в производстве или сфере обмена. Текущая рыночная цена P_i , которая обычно зависит от рыночной ситуации, колеблется вокруг значения P_o таким образом, что разница между ними (ситуационный компонент цены ΔP_i) время от времени меняет знак:

$$P_i = P_o \pm \Delta P_i. \quad (3)$$

Таким образом, k_0 должен зависеть от ситуации (рыночных условий) в минимальной степени, чтобы отражать данное свойство P_o .

В-третьих, P_o и P_i должны иметь общую базу, чтобы отражать тот факт, что в «естественном» состоянии $P_o = P_i$. В-четвёртых, денежная масса должна быть такой большой, чтобы «естественная» и рыночная цены накладывались друг на друга. В-пятых, информация для определения k_0 должна быть легкодоступна и однозначна.

Из уравнений (1), (2) и вышеизложенных свойств следует, что коэффициент k_0 является соотношением двух величин, которые служат основой для определения цены и эксергетических расходов соответственно. Данные величины являются статической, номинальной стоимостью, которая не зависит от рыночной ситуации. То есть данные величины не зависят от перераспределения ресурсов в сфере производства и обмена, определяемого текущими ценами.

С точки зрения эксергетической оценки, с выбором таких основ проблем не возникает, так как уравнение эксергетических затрат включает абсолютный (свободный от влияния конъюнктуры) компонент. Такая основа однозначно определяется суммой эксергии всех природных ресурсов, используемых в производстве. Это номинальная, абсолютная стоимость природных ресурсов, которую выделяют из доступных методов производства или набора доступных технологий.

Так как себестоимость в денежном выражении всегда относительна, в нашем случае нельзя использовать уравнение стоимости. Для выбора основы (при определении k_0) с точки зрения денежной оценки требуется дополнительное уравнение, отличное от уравнения стоимости. Согласно количественной теории денег, статическое (номинальное) количество денег (денежной массы M), денежный оборот V , уровень рыночных цен P и реальный доход Y связаны следующим известным уравнением:

$$MV = PY \text{ или } P = MV/Y. \quad (4)$$

Из уравнения (4) очевидно, что денежная масса M является основой для формирования уровня цен.

Какой показатель денежной массы наиболее пригоден для этой задачи? Необходимая денежная масса выбирается в процессе подстройки модели к заданным параметрам экономической системы. Учитывая вышеизложенные свойства «естественной» цены, де-

нежная масса формируется из некоторых компонентов государственной денежной массы в обращении. Эта денежная масса неодинакова в разных странах.

Таким образом, коэффициент k_0 , определяющий отношение «естественной» цены и уровня эксергетических затрат, а также служащий коэффициентом пересчёта денежной и эксергетической форм определения стоимости, является отношением выбранной денежной массы к сумме эксергий всех природных ресурсов, используемых в производстве.

Чтобы продемонстрировать, что такая система цен и является «естественной», достаточно по прошествии какого-то времени наложить текущую рыночную цену P на расчётную «естественную» цену P_o . Так как расчётная цена определяет общую тенденцию колебаний текущей рыночной цены, система расчётных цен будет «естественной» (согласно определению «естественной цены»). Кроме того, согласно вышеизложенному определению точки пересечения кривых P и P_o должны определять переходные моменты экономических циклов и состояние макроравновесия одновременно.

На рис. 7, к примеру, время от времени «естественная» P_o и официальная P рыночная цена в экономике США налагаются друг на друга. Базисный год для индекса цен — 1987 (Бандура и Бродянский, 1996).

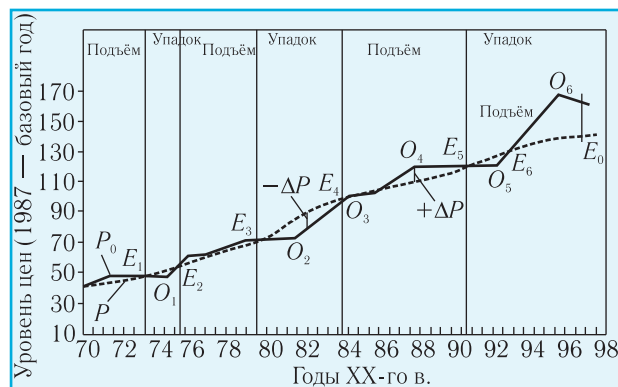


Рис. 7. Эксергетическая модель экономического цикла США: E_1 - E_6 — эксергетическая себестоимость, соответствующая состоянию макроравновесия в течение времени t_1 - t_6 (поворотные пункты экономики); O_1 - O_6 — поворотные пункты эксергетических затрат; E_0 — долгосрочная тенденция развития экономики в эксергетическом выражении («+» показывает положительную разность между естественной (сплошная линия) и текущей (пунктир) ценами; «-» показывает, что текущая цена выше естественной)

Эмпирическая оценка требует огромного количества исходных данных. Испытательный период в экономике США занимает 25 лет, с 1970 по 1994 гг.

Те же отношения характерны для отдельных видов промышленности. Например, на рис. 8 представлен анализ рыночных и «естественных» цен во времени для электроэнергетики в экономике США. Результаты подтверждают соотношение «естественной» це-

ны (количественно определённой), текущей рыночной цены и макроравновесия.

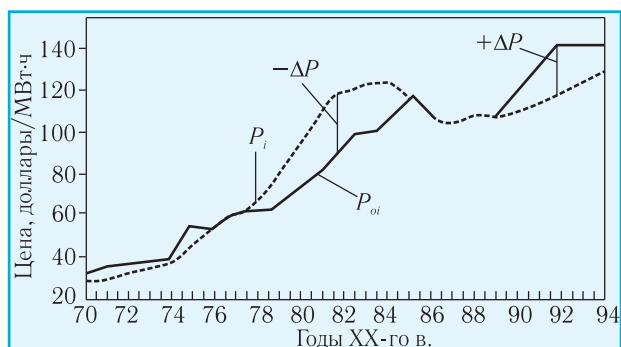


Рис. 8. Рыночная динамика «естественных» и текущих цен для электроэнергетики США: P_i , P_{oi} — текущие и естественные цены на электроэнергию, соответственно, доллары/МВт·ч

Чтобы продемонстрировать определение поворотных пунктов экономического цикла и единство экономических и экологических целей в вышеизложенном подходе, рассмотрим его применение. Применение эксергетического анализа в решении макроэкономических проблем расширяет потенциал экономического анализа оптимального развития систем жизнеобеспечения. Основное его применение описано ниже.

1. Определение поворотных пунктов экономического цикла. Согласно теории, проиллюстрированной на рисунках 7 и 8, это можно считать эксергетической моделью экономических циклов в денежном выражении (в реальном времени), так как точки пересечения кривых P и P_0 должны соответствовать поворотным пунктам экономического цикла. Все эти точки можно однозначно определить за две недели до события. В противоположность представленной здесь модели, традиционный экономический метод позволяет определить поворотные пункты только через полгода после события и то неоднозначно.

2. Другим применением является метод определения уровня конкуренции в отрасли. Для государственной политики важно следить за уровнем конкуренции. Например, чтобы узнать, следует ли запретить слияние фирм, Министерство юстиции США использует метод, основанный на определении доли рынка отдельной фирмы до и после слияния. Неточность данного метода и других таких же средств оценки рынка приводило к возникновению серьёзных юридических проблем.

3. Существует прямая связь между промышленной системой и влиянием на окружающую среду. На неконкурентном рынке, как известно, ресурсы распределяются неэффективно. Неэффективность производства ведёт к нежелательным последствиям для окружающей среды. Если количество продукции не меняется, производство на монополистических рынках приносит больше вреда, чем производство на конкурентных рынках. Антитрестовской политике препятствует неспособность доказать существование неконкурентных явлений. Данная модель предоставляет

ценное средство для оценки качества рынка. Перевод анализа на реальную политику позволяет определить роль правительства на рынке.

Глубина экономического кризиса и размер ущерба окружающей среде тесно связаны с межотраслевыми диспропорциями. И хотя о влиянии окружающей среды на экономические циклы нечасто упоминается, существуют веские доказательства, что абсолютная бедность ведёт к экологической деградации. Экономическая стабильность не предотвратит негативное влияние на окружающую среду, но если её объединить с частичными методами эксергетической оптимизации систем жизнеобеспечения, можно минимизировать отклонения от оптимальной линии развития систем жизнеобеспечения. Старое понятие естественной цены У. Петти открыло новые возможности в экономике для устойчивого развития ноосферы.

4.4. Оптимизация систем жизнеобеспечения: три типа целевых функций

В данной статье кратко описаны основные проблемы, связанные с определением эффективности методов для оценки развития систем жизнеобеспечения при учёте сопротивляемости ноосферы Земли. Приведены доказательства, что термодинамический подход с эксергетической основой предоставляет дополнительную возможность создания общей базы энергетического, экономического и экологического анализа для оптимизации и прогнозирования будущего развития.

Однако очевидно, что такой анализ и оптимизация не могут быть одинаковыми для различных объектов. Несколько методов оптимизации, которые описаны в литературе и обсуждались выше в данной статье, основаны на целевых функциях, использующих денежные и эксергетические единицы. Соответственно, расположение оптимумов на С-кривой (рис. 6) будет иным.

Выбор подходящего метода оптимизации зависит от особенностей и конкретных условий функционирования заданных объектов и от целей анализа. С этой точки зрения методы оптимизации систем жизнеобеспечения путём применения эксергетического подхода можно разделить на три группы.

Первая группа (первый уровень) состоит из отдельных систем, параметры которых находятся под слабым влиянием других объектов. В таких случаях оптимизация проводится при помощи минимизации денежных затрат производства и эксплуатации. Эксергетический подход используется только для предварительного анализа и исключения несовершенных вариантов. Результат в таких условиях соответствует положению точки RE_M на С-кривой (рис. 6).

Вторая группа (второй уровень) включает фирмы и корпорации, продукция которых имеет существенное значение в государственной или международной экономике. Экономическая политика основывается на денежных вложениях, а также некоторых правительственных постановлениях. Таким образом, результат перемещается от точки RE_M в направлении к точке RE_E на С-кривой.

Решение, соответствующее положению RE_E , мож-

но вывести из эксергетической оптимизации методом вычисления совокупной эксергии или другим аналогичным методом (см. раздел 4.3). В данном случае необходимо учитывать экологические требования, связанные с минимизацией затрат природных ресурсов и негативного влияния на окружающую среду. В нескольких странах проводится подобный анализ, но процесс ещё находится на начальной стадии развития. Политики часто предпочитают словесные обещания тщательному законотворчеству. Но необходимость подобной работы становится всё более и более очевидной.

Третий уровень касается прогнозов экономического развития в ближайшем будущем. Они тесно связаны с направлением работы по развитию и модернизации систем жизнеобеспечения. Все методы, используемые в настоящее время для прогнозирования макроэкономического развития, основаны на чисто экономических экстраполяционных методах, и, как правило, оказываются неэффективны. Количественный анализ производства валового внутреннего продукта и тенденции данного процесса в состоянии указать на будущее экономическое развитие. Но денежное выражение этой тенденции зависит от многих искажающих факторов. В то же время эксергетическое выражение себестоимости даёт практические результаты.

Все методы, связанные с тремя уровнями модернизации систем жизнеобеспечения (в ограниченном или широком масштабе), характеризуются удобной и быстрой процедурой. Главная особенность данных подходов — это их тесная связь с современным положением и тенденциями развития всех частей ноосферы Земли. Они приемлемы, в какой-то мере, для всех шести сегодняшних технологий: механической, термальной, химической, электрической, атомной и, наконец, самой сложной из всех, биологической.

Это обусловлено тем, что методы основаны на термодинамике, отрасли науки, которая, по словам Альберта Эйнштейна, является «единственной физической теорией общего содержания, которая... никогда не будет опровергнута».

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ПОДХОД К «ЭКОЛОГИЧНОЙ ЭКОНОМИКЕ»

Подведём итог анализа развития систем жизнеобеспечения. Несомненно, подобный сценарий мог бы обеспечить удовлетворение всех потребностей человека в широкомасштабном производстве в ближайшем будущем. Ресурсов Земли, неорганических и биологических, для этой цели достаточно. Однако здесь необходимо выполнение трёх фундаментальных принципов устойчивого развития. Они актуальны и сейчас, и в ближайшем будущем.

1. Максимальное и эффективное использование возобновляемых или практически неисчерпаемых источников доступной энергии (т.е. эксергии), атомной, а в перспективе термоядерной.

2. Минимальное использование невозобновляемых источников вещества и энергии и максимальная утилизация отходов.

3. Максимальное сохранение и особенно развитие всех биологических жизненных форм, от вирусов до высших млекопитающих.

В долгосрочной перспективе все вышеуказанные принципы устойчивого экономического развития можно свести к необходимости предохранять от бессмысленного расточения все формы эксергии во всех частях ноосферы Земли. Активная работа в сфере позитивного преобразования земной среды, ноосферы, приведёт к результату, который соответствует идее «экологичной экономики».

Однако выполнение трёх основных принципов связано с определёнными трудностями как научного, так и политического характера. Научные проблемы вызывают два главных положения. Первое вытекает из разнообразия научных описаний, которые появились в результате поиска общего подхода к сложной действительности. Учёные и инженеры подходят к решению с разных сторон, хотя следует выработать единое видение проблемы. Вторая сложность состоит в недостатке знаний о современных подходах среди учёных, вовлечённых в создание новых объектов систем жизнеобеспечения. Эти проблемы возникают неизбежно, их можно решить путём дополнительного образования и приобретения опыта.

Экономические проблемы гораздо сложнее. Неоклассическая экономика не в состоянии адекватно отразить современную ситуацию. Традиционная неоклассическая экономика не только не обращается к биофизической действительности, но и не предоставляет средств определения ценности природных неорганических и, в особенности, органических веществ. Более того, она основана на индивидуальных или корпоративных интересах и не затрагивает коллективные. Наконец, прогностические возможности неоклассической экономики сильно ограничены. В результате стандартные методы экономии нельзя применять для анализа крупномасштабных экономических явлений. При использовании эксергии в качестве дополнительного экономического средства устраняются вышеописанные ограничения, появляется возможность решить проблемы при помощи «эксергоэкономической стоимости» и других естественных ценностных индексов. (Интересно, что знаменитый научный фантаст и учёный *Артур Кларк*, который ещё в 1945 г. предсказал появление геостационарных спутников и спутников связи, в одном из интервью сказал: «Человечество откажется от всех существующих валют. Единым эквивалентом станет МВт·ч»). Однако с введением этого подхода в практику современной экономики неизбежно возникнут сложности. В докладе международного семинара «Развитие энергетических наук» (проведённого в итальянском городе Порто-Венере в мае 1998 г.), говорится: «Надеемся, что «естественный» подход можно соединить с важными компонентами неоклассической и классической экономики для создания экономической системы, адекватной современным требованиям». Сейчас необходимые шаги осуществляются очень интенсивно.

Политики предпочитают словесные обещания

тщательному законотворчеству. Полумерами в данной ситуации не обойтись. Однако есть основание верить в перемены. «Категорический императив» *Канта* показывает, что для существования человечества необходимо изменить отношение к окружающей среде. Возникает вопрос, когда это произойдёт? Научная база ещё разрабатывается, а её практическое применение находится в зачаточном состоянии.

В отношении развития систем жизнеобеспечения, которые могут послужить основой для решения этих проблем, есть две перспективы на будущее. Первый, оптимистический, вариант заключается в интерпретации данного понятия как «системы обеспечения жизни», второй, пессимистический — подразумевает превращение его в «системы подавления жизни». Будем надеяться, что развитие систем жизнеобеспечения пойдёт по первому пути. Учёные и инженеры давно занимаются исследованиями, а что касается экономистов, бизнесменов и политиков, то эволюция экологической и экономической ситуации заставит их обратить больше внимания на данную проблему и предпринять активные действия.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Bandura, A.V.; Brodianski, V.M.** 1996. Nature of Macroeconomic Equilibrium and Driving Force of Economic Cycles. Proceedings of ECOS-96, Stockholm, Sweden. 533-40. [В этой работе устанавливается связь между экономическими и эксергетическими свойствами производства.]
- Brodianski, V.M.; Sorin, M.V.; Le-Goff, P.** 1994. The Efficiency of Industrial Processes: Exergy Analysis and Optimization. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier. 487 pp. [Всесторонний анализ преобразований массы и энергии в технических системах на основе понятия эксергии.]
- Jorgensen, S.E.** 1998. Exergy as an orientor for the development of ecosystems. Advances in Energy Studies (Proceedings of International Workshop, Porto Venere, Italy), pp. 371-402. Rome, Italy, Musis. [В этой работе предлагается метод вычисления эксергии биологических тканей.]
- Kapitza, P.** 1998. Global Problems and Energy. In: P. Kapitza, The Science and Modern Society, Moscow, Nauka.
- Odum, H.T.** 1996. Environmental Accounting. Energy and Environmental Decision Making, New York, John Wiley, 370 pp. [В этой работе представлено сочетание термодинамического и монетарного подходов к проблемам окружающей среды.]
- Petty W.** 1998. The Economic Writing of Sir William Petty. **Kelly, A.M.** Publisher. [Впервые опубликовано около 1670 года.]
- Ricardo, D.** 1986. On the Principles of Political Economy. Cambridge, UK, Cambridge University Press. [Впервые опубликовано в 1817 г.]
- Schrodinger, E.** 1992. What is Life? Cambridge, UK Cambridge University Press [Впервые опубликовано в 1944 году]. 182 pp. [Это первая фундаментальная научная работа по этому вопросу.]
- Smith, A.** 1986. The Wealth of Nations. University of Chicago Press [Впервые опубликовано в 1776 году.]
- Soddy, F.** 1931. Money versus Man. London.
- Szargut, J.** 1998. Exergy analysis of thermal processes: ecological cost. Advances in Energy Studies (Proceedings of International Workshop, Porto Venere, Italy), pp. 77-97. Rome, Italy, Musis. [Описывается применение понятия эксергии для оценки истощения невозобновляемых природных ресурсов.]
- Szargut, J; Morris, D.; Stevard, F.** 1987. Exergy Analysis of Thermal Chemical and Metallurgical Processes. Hemisphere Publ. Corp. [В этой работе даются фундаментальные положения и способы применения эксергетического метода.]
- Vernadsky, V.I.** 1928. About the Problems and Organization of Applied Sciences in the USSR Academia of Sciences. Leningrad. Publishing house of the Academy of Science.

СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

Затраты — количество всех ресурсов, необходимых для производства заданного товара или оказания услуги. Затраты можно вычислять в различных единицах: денежных (неоклассическая экономика) или эксергетических.

КПЭ (коэффициент преобразования энергии, иногда трактуется как КПД) — мера, показывающая, в какой степени система выполняет своё назначение. Значение КПЭ подсчитывается как отношение энергетических потоков, поступающих в систему и покидающих ее, безотносительно к качеству и направлению потоков. КПЭ может быть больше или меньше единицы (например, в случае охлаждающих устройств).

Неоклассическая экономика — основана на «неоклассическом синтезе» классической микроэкономики А. Смита и современных методов экономико-математического анализа (П. Самуэльсон (P. Samuelson)). Несмотря на все достоинства, у этой науки имеется и несколько недостатков. Во-первых, неоклассическая экономика не придаёт значения всем формам энергии в анализе экономического роста. Во-вторых, неоклассическая экономика отделена от биофизической действительности, хотя биофизика является движущей силой экономической системы. В-третьих, неоклассическая экономика основана на индивидуальных интересах и не учитывает коллективные. (Более детальное рассмотрение этого вопроса дано в окончательном документе международного семинара «Развитие энергетических наук», Порто-Венере, Италия, май 1998 г.)

Ноосфера — все компоненты Земли, на которые оказывает влияние человеческая деятельность. Это неорганическая часть — верхняя кора геосферы, гидросфера и атмосфера — и органическая часть, или биосфера (см. «окружение»).

Окружающая среда — в эксергетической отрасли термодинамики, это идеализация реального окружения системы, характеризующаяся равновесием, отсутствием колебаний в давлении, температуре, химическом потенциале, кинетической или потенциальной энергии. Среда является частью «окружения».

Окружение — все объекты, которые находятся за границей заданной системы. Окружение включает не только равновесную «среду», но также объекты, которые не находятся в состоянии равновесия, но могут взаимодействовать с системой. Окружение включает все залежи полезного ископаемого топлива, руды, минералов, источники горячей воды, солнечного излучения и другие природные ресурсы,

включая биологические объекты. В широком смысле, относительно человечества как огромной системы, термин «окружение» равнозначен термину «ноосфера».

Пригодная энергия (пригодность) — один из первых вариантов термина «эксергия» (Дж. Кинан, 1932). См. «Эксергия».

Эксергия — в качестве общего понятия это максимальный потенциал работы (механической или электрической) относительно заданной «окружающей среды». Эксергия выражается различными термодинамическими функциями согласно типу изучаемой энергии.

Эксергетическая эффективность (или эффективность

Карно) — критерий совершенства, который можно вычислить для системы, устройства или его части. Отношение потока эксергии на выходе из установки (или её компонента) к потоку эксергии на входе. Эксергетическая эффективность не может превышать единицу или 100 %.

Цена — денежная ценность (количество денежных единиц), которую потребители готовы заплатить за товар или услугу.

Ценность — психологическая или культурная оценка товара. Ценность зависит от предпочтений отдельного человека или группы людей. Ценность можно вычислить при помощи различных единиц измерения, включая эмоциональные.

ПАМЯТИ ВИТАЛИЯ НИКОЛАЕВИЧА ТАРАНА



21 марта 2011 г. скоропостижно на 75-ом году жизни ушёл от нас наш товарищ и друг, к.т.н., доцент кафедры криогенной техники Одесской государственной академии холода Виталий Николаевич Таран.

Практически вся его жизнь, как и жизнь отца, доцента Н.Г. Тарана, была связана с ОГАХ. С 1954 г. он начал обучаться в этом вузе, который в то время назывался Одесским технологическим институтом пищевой и холодильной промышленности. В.Н. Таран с отличием окончил его в 1959 г. и был направлен на работу на Одесский завод «Автогенмаш» (сейчас АО «Кислородмаш»). Там в 1959-1962 гг. занимался конструкторской работой в отделе проектирования воздуходелительных установок.

В 1962-1965 гг. В.Н. Таран обучался в аспирантуре института под руководством известного специалиста в области термодинамики, д.т.н., профессора Я.З. Казавчинского.

С 1968 г. он приступает к преподавательской работе на кафедре теоретических основ теплохладотехники. В 1970 г. В.Н. Таран защитил кандидатскую диссертацию, в которой излагались результаты работы по составлению единого уравнения состояния для расчёта термических и калорических свойств газообразных и жидких гелия-4 и гелия-3. После этого его преподава-

тельская и научная деятельность продолжилась на кафедрах холодильных машин и криогенной техники.

В 1976 г. В.Н. Таран как авторитетного специалиста в области холодильной и криогенной техники, отлично знающего французский язык, командировали в Алжир, где он работал до 1979 г. Там преподавал курс «Процессы и аппараты нефтехимических производств», занимался исследованиями циклов, схем и установок сжижения природного газа.

С 1979 г. В.Н. Таран работал доцентом на кафедре криогенной техники ОГАХ. Он был не только отличным преподавателем, воспитавшим сотни специалистов, но и видным научным сотрудником ОГАХ. Ему поручали преподавание наиболее сложных дисциплин. Только в этом учебном году он вёл занятия по математическому моделированию криогенных систем, методам автоматизированного проектирования криогенной техники и др. Им разработано и внедрено в учебный процесс кафедры современное программное обеспечение для расчёта термодинамических свойств криогенных веществ, проектирования различных ректификационных колонных аппаратов, расчёта и конструирования многопоточных теплообменников.

Виталий Николаевич — автор большого числа научных работ, патентов на изобретения, в которых он заложил основы создания совершенных машин, аппаратов и установок криогенной техники. Результаты его работ еще долго будут использоваться в учебной и научной деятельности Академии.

В.Н. Таран многие годы плодотворно сотрудничал с редакцией журнала «Технические газы». В течение 2004-2011 гг. им опубликовано в журнале около 20 научных статей, в которых излагаются результаты теоретических исследований процессов и циклов, машин и аппаратов систем криогенной техники. Он неоднократно выступал с содержательными докладами перед участниками международных семинаров, организуемых Украинской ассоциацией производителей технических газов «УА-СИГМА».

Светлая память о Виталии Николаевиче Таране навсегда останется в сердцах его воспитанников и коллег.

Редакция и редколлегия журнала «Технические газы» присоединяются к многочисленным соболезнованиям в связи с кончиной Виталия Николаевича Тарана.