

# **Электрическая и тепловая энергия**

**Справочное пособие для непрофессионалов**

**Введение**

**Список сокращений**

**Топливо и энергия: термины и единицы измерения**

**Теплотворная способность топлива**

**Потоки энергетических продуктов**

**Выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании топлива**

**Основные характеристики видов топлива и их потоков**

**Природный газ**

**Нефть и нефтепродукты**

**Уголь и продукты его переработки**

**Возобновляемые источники энергии и отходы**

**Топливо-энергетический баланс**

Данное справочное пособие подготовлено Всемирным фондом дикой природы (WWF) по материалам Международного энергетического агентства, Центра по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ, г. Москва) и другим источникам с целью облегчить понимание терминов и ситуации в области электро- и теплоэнергетики.

Издание предназначено для лиц, не являющихся профессионалами в данной области, прежде всего, представителей общественных экологических организаций, работающих в области климата и энергетики.

Издание имеется в электронном виде, см. сайт [www.wwf.ru/climate](http://www.wwf.ru/climate)

Руководитель проекта Алексей Кокорин [akokorin@wwf.ru](mailto:akokorin@wwf.ru)

**Москва 2013 г.**

## Введение

Уважаемый читатель, данное издание весьма специфично. Подзаголовок явно ассоциируется с популярной серией «... для чайников». В этом нет никакой иронии или снобистского взгляда профессионалов. Ни в коем случае. Дело в том, что на первый взгляд очень простые понятия: энергия, тепло, электроэнергия и т.п. совсем не так просты, как кажется. Многолетний опыт работы с общественными организациями, прежде всего экологическими, показал, что людям довольно сложно вспомнить школьный курс физики и свободно разбираться в энергетических терминах и понятиях. Приведем несколько примеров.

Вспомните, вы ведь не раз встречали в интернете, газетах, выступлениях различных лиц единицы кВт/час. Это полный абсурд, таких единиц нет, есть только кВт\*час, но «странная» единица со знаком деления раз за разом продолжает появляться в тех или иных текстах, подготовленных людьми далекими от энергетики.

Когда говорится об атомной энергетике, то можно встретить разные формулировки об ее доле в энергетике России в целом. В одном случае говорится о доле атомных станций в выработке электроэнергии. В другом случае о вкладе атомной энергетики в топливно-энергетический баланс страны. Это совершенно разные вещи. Более того, когда говорится про баланс, то доля «получается» выше, хотя всем известно, что АЭС производят только электроэнергию. Что за парадокс? Дело в том, что в топливно-энергетический баланс входит вся энергия, выработанная всеми установками, даже если она сразу же выбрасывается в прямом смысле слова.

На АЭС две трети выработанной энергии – теплая вода, которая выбрасывается, просто сливается в водоемы-охладители или в море. Использовать ее просто негде, тепло в виде воды для отопления можно передавать по трубам не более чем, примерно, на 10 км. Однако на таком расстоянии от АЭС крупных городов, которые бы могли потребить данную тепловую энергию, просто нет. Их не строят поблизости от городов по соображениям безопасности.

Такая ситуация была понятна уже в самом начале строительства АЭС. Не случайно академик Д. Сахаров предлагал строить АЭС на глубине 100 -150 метров под крупными городами, тогда это было бы относительно безопасно, а тепло бы расходовалось по назначению. Одна такая небольшая станция была построена в Железногорске (Красноярск - 26), она снабжала теплом почти 100 тыс. человек, потом выработала свой ресурс и была закрыта. Подготовка – подземные работы к строительству большей станции велись в Нижнем Новгороде. Однако все было прекращено, так как это было очень дорого, да и, вероятно, все же не полностью безопасно. Таким образом, в топливно-энергетическом балансе две трети работы любой АЭС (равно как и атомного ледокола) – энергия, которая заведомо не используется, но в статистике отражается.

Получается, что всем хорошо известная необходимость сбережения тепла в населенных пунктах около АЭС бессмысленна (если, конечно, не брать в расчет расходы на эксплуатацию теплотрасс, что также немаловажно).

Если тепло поступает к вам от ТЭЦ, то целесообразность его экономии совсем на такой простой вопрос, как кажется. В России динамика потребления электроэнергии и тепла разнонаправлена. Это принципиально важный момент, который важно учитывать, когда говорится о снижении выбросов парниковых газов, прежде всего CO<sub>2</sub>.

С 2000 по 2011 гг. в нашей стране шел рост производства электроэнергии и выбросы CO<sub>2</sub> от данного источника возросли с 370 до 430 млн т CO<sub>2</sub>/год. Заметим, что 430 млн было в 2008 г., а затем в 2010 и 2011 гг.<sup>1</sup> Общий рост за 11 лет составил 16%, что намного меньше увеличения ВВП.

В те же годы выбросы CO<sub>2</sub> от производства тепла снизились, причем и выбросы от котельных и выбросы от ТЭЦ. Выбросы котельных уменьшились с 270 до 225 млн т CO<sub>2</sub>/год. Выбросы ТЭЦ с 210 до 185 млн т CO<sub>2</sub>/год. Конечно, вероятно, немало дало увеличение доли газа. При сжигании газа в пересчете на энергетические единицы тонн условного топлива, выбросы гораздо меньше, чем при сжигании угля, см. ниже соответствующую справочную таблицу. Что-то дало увеличение энергоэффективности и меры по сбережению тепла. Однако есть и эффект «лишней» выработки тепла. Есть ТЭЦ (такой «грех» свойственен не только АЭС), где тепло с избытком производится как «побочный» продукт производства электроэнергии.

По словам директора московского центра по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ) И. Башмакова, тут необходим очень умный и хорошо просчитанный подход. Самая современная станция с комбинированным циклом выработки электроэнергии и тепла работает с высоким к.п.д., но может сложиться ситуация, когда такого количества тепла не нужно. При работе станции имеется строго определенное соотношение выработки электроэнергии и тепла, изменить его можно только переводом станции в конденсационный режим работы, где к.п.д. гораздо ниже. Таким образом, в отличие от экономии электроэнергии, экономия тепла должна быть увязана с планами строительства или модернизации ТЭЦ и котельных, иначе мы можем получить «эффект АЭС».

«Дебрей» и сложностей в энергетике немало. Ниже не планируется их описывать. Задача данного издания иная – дать базовые понятия и определения, помочь разобраться с различными единицами измерения и коэффициентами, составить у читателя ориентировочное представление о том, что такое топливно-энергетический баланс страны.

---

<sup>1</sup> Источник ЦЭНЭФ. И.А. Башмаков, А.Д. Мышак. Факторы, определяющие динамику выбросов в секторе «Энергетика» России. Анализ на основе данных национального кадастра. М.: ЦЭНЭФ, 2012.

## Список сокращений

бarr.	Баррель, 159 литров
бarr./д	баррелей в день
БТЕ	Британская тепловая единица
ВТС	высшая теплотворная способность
ГДж	гигаджоуль, $10^9$ Дж (см. Дж)
ГДж/т	гигаджоуль на тонну
Дж	Джоуль
кВт*ч	киловатт-час, $1 \text{ Вт} * 1 \text{ ч} * 10^3$
КГ	коксовый газ
КПГ	сжатый природный газ
ЛОС	летучие органические соединения
МБТЕ	миллион Британских тепловых единиц
МВт	мегаватт
МДж/м <sup>3</sup>	мегаджоуль на кубический метр
Мм <sup>3</sup>	миллион кубических метров
МТНЭ	миллион тонн нефтяного эквивалента
МТУЭ	миллион тонн угольного эквивалента; МТУЭ = 0,7 МТНЭ
Нм <sup>3</sup>	нормальный кубический метр
NO <sub>x</sub>	окислы азота
НТС	низшая теплотворная способность
ПГ	парниковый газ
ПКП	полное конечное потребление
СНГ	сжиженный нефтяной газ; сюда относятся пропан, бутан и их изомеры, являющиеся газами при нормальном атмосферном давлении и температуре
СПГ	сжиженный природный газ
СО	угарный газ (оксид углерода)
СО <sub>2</sub>	углекислый газ (диоксид углерода)
ТДж	тераджоуль, $10^{12}$ Дж
ТНЭ	тонна нефтяного эквивалента
ТС	теплотворная способность
т.у.т.	тонна угольного эквивалента, то же самое что и тонна условного топлива – т.у.т.
ТЭЦ	теплоэлектроцентраль

## Топливо и энергия: термины и единицы измерения

Есть несколько базовых понятий и терминов, которые необходимо знать, поскольку они широко используются при обсуждении различных видов топлива и энергии.

### «Топливо» и «энергия»

Толковый словарь определяет **топливо**, как любую субстанцию, которая сжигается для получения тепла или энергии. Тепло выделяется в процессе окисления кислородом углерода и водорода, содержащихся в топливе. Получение энергии в тепловой, механической или электрической форме является основной причиной сжигания топлива. Термин **энергия**, применяемый строго в области энергетической статистики, относится только к теплу и другим видам энергии, но многие люди используют его шире и включают в него понятие топлива.

В данном издании термин **энергетический продукт будет** применяться, когда имеется в виду топливо, тепло и другие виды энергии. Однако в энергетической статистике могут применяться синонимы такие, как энергоноситель, вектор энергии или энергоресурс.

### Первичные и вторичные энергетические продукты

Энергетические продукты – это продукты, которые выделяются, либо напрямую получают из природных ресурсов (их называют **первичными продуктами**), таких как сырая нефть, каменный уголь, природный газ, либо производятся из первичных продуктов. Все энергетические продукты, которые не являются первичными, но производятся из них, называются **вторичными продуктами**. Вторичная энергия получается в результате преобразования первичной, либо вторичной энергии.

Например, производство электроэнергии путем сжигания нефтяного топлива - мазута. Другими примерами являются производные нефтепродукты (вторичные), получаемые из сырой нефти (первичная), доменный кокс – из коксующегося угля (первичный), древесный уголь (вторичный) – из древесины (первичная), и т.д.

Электричество и тепло могут быть получены в форме как первичного, так и вторичного продукта. Вторичное тепло образуется при использовании энергетических продуктов, уже добытых или произведенных (например, тепло, образующееся на ТЭЦ).

### Ископаемые виды топлива и возобновляемые источники энергии

Первичные энергетические продукты могут быть разделены на топливо из ископаемых ресурсов и возобновляемые энергетические продукты.

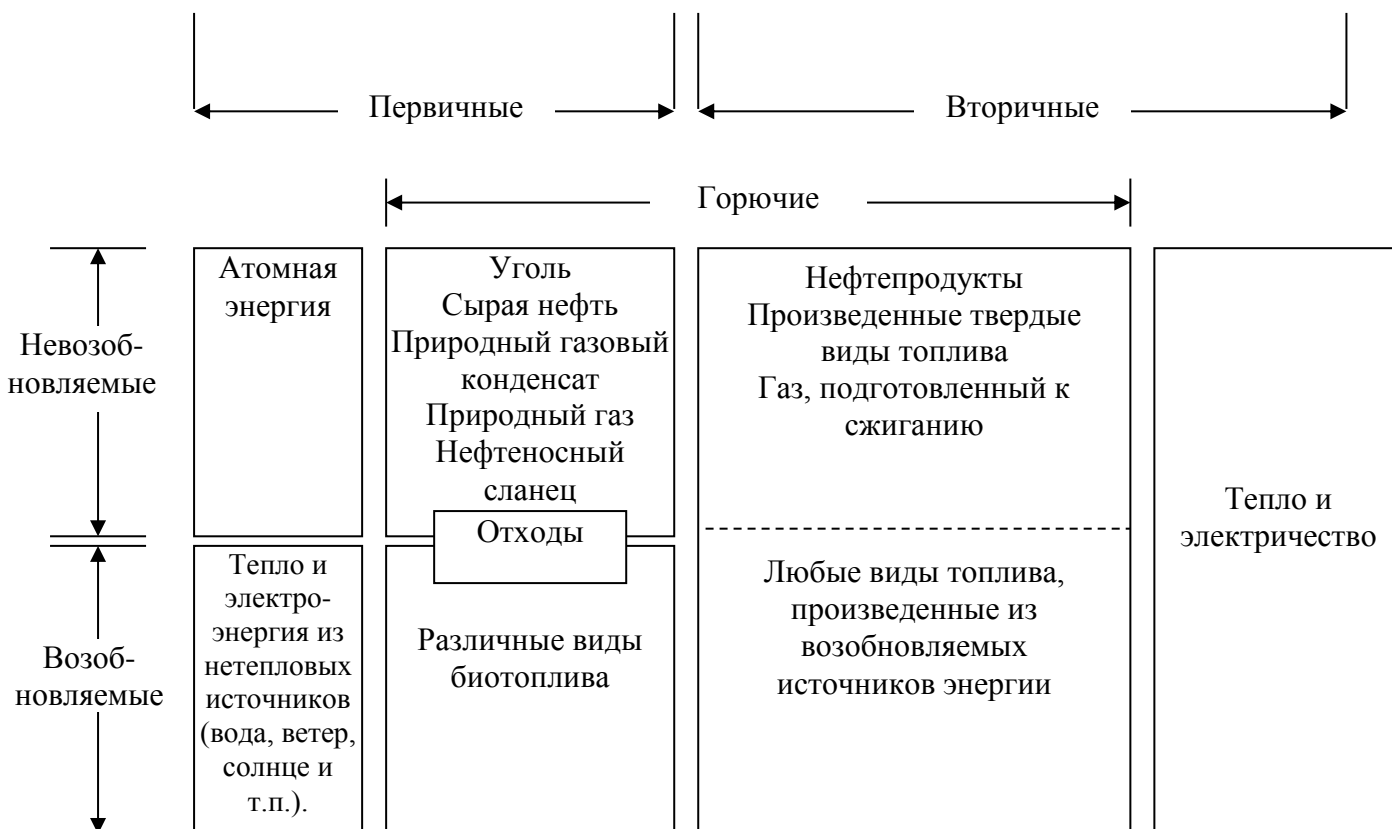
**Ископаемые виды топлива** получают из природных ресурсов, которые сформировались из биомассы в геологическом прошлом. Обобщая, термин ископаемое можно применить к любому вторичному топливу, произведенному из ископаемого топлива.

**Возобновляемые энергетические продукты**, исключая геотермальную энергию, вырабатываются непосредственно или опосредованно из потоков постоянно доступной солнечной или гравитационной энергии. Например,

энергетическая емкость биомассы зависит от солнечной энергии, поглощенной растениями во время роста.

Рис. 1 дает схематическое изображение возобновляемой и невозобновляемой энергии, а также соотношения между первичной и вторичной энергией.

**Рис. 1. Терминология по энергетическим продуктам**



**Источник энергии** показывает, энергия какого вида: кинетическая (например: ветра, падающей воды), тепловая (например: атомная, геотермальная, горючих веществ) используется для получения электрической или тепловой энергии.

Различают два типа производителей энергии по **функциональному назначению**:

*Производитель электрической или тепловой энергии для общественных нужд* – это предприятие, для которого поставка электроэнергии или тепла является основным видом деятельности. Производитель может быть государственным или частным предприятием.

*Производитель электрической или тепловой энергии для собственных нужд* – это предприятие или домашнее хозяйство, которое производит электроэнергию или тепло для обеспечения своей основной деятельности, но производство этих энергоносителей не является его основной деятельностью. Производитель энергии для собственных нужд может продавать часть выработанной энергии для общественного потребления.

Часто возникает путаница вокруг термина «Производитель энергии для общественных нужд». Такой производитель может принадлежать частной компании и наоборот, государственной компании может принадлежать предприятие, производящее энергию для собственных нужд. Другими словами, «Производитель энергии для общественных нужд» относится не к типу собственности, а к функциональному назначению.

Что касается **типа энергетической станции**, то производителей электрической и тепловой энергии можно свести к трем типам:

- Электростанции, которые производят только электричество;
- Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые производят тепло и электроэнергию одновременно;
- Теплоцентрали, которые производят только тепло.

**Чистая максимальная электрическая мощность** Чистая максимальная мощность – это максимальная энергия, которая может непрерывно вырабатываться полностью нагруженной станцией. Ее величина измеряется на выходе станции в точке соединения с передающей сетью (т.е. за вычетом энергии, потребленной вспомогательным оборудованием станции и потерь в трансформаторах, которые входят в состав станции).

**Максимальная электрогенерирующая мощность страны** определяется как сумма максимальных мощностей всех отдельных станций, при которых они могут вырабатывать электроэнергию на протяжении как минимум 15 часов в день (заметьте не 24 часа). Отчетные данные должны показывать максимальные значения мощности по состоянию на 31 декабря отчетного года и выражаться в мегаваттах (МВт).

**Пиковая нагрузка** – это высшее непрерывное потребление электроэнергии, удовлетворенное в течение дня, месяца или года. Важно отметить, что поставки электроэнергии во время пикового потребления могут включать потребление, обеспеченное импортированной электроэнергией или наоборот, потребление может включать экспорт электроэнергии.

Суммарная пиковая нагрузка на национальную сеть – это не сумма пиковых нагрузок за год на каждую из станций, так как они могут не совпадать по времени.

**Мощность при пиковой нагрузке** – это совокупная наличная чистая мощность энергосистемы в данное время. Она может отличаться от максимальной наличной мощности, которая упоминалась выше, по причине того, что в период пиковой нагрузки часть электроэнергии по-прежнему используется для обеспечения работы электростанций и теряется в процессе такой работы.

- Суммарную электрогенерирующую мощность страны разделяют между производителями энергии для общественных нужд и производителями энергии для собственных нужд, а также по источникам энергии. Мощности должны быть дополнительно разделены по типам генерирующих станций.

### **Единицы измерения и соотношения между ними**

Наиболее общими единицами, используемыми для отображения количества топлива и энергии, являются единицы объема, массы и энергии. Фактически применяемые единицы измерения зависят от страны и местных

условий и отражают исторические особенности государства, нередко приспособленные к изменяющимся условиям поставок топлива.

В данном разделе в начале будут описаны различные применяемые единицы и даны соотношения между ними. Затем в приложении будут приведены относительные ряды значений теплотворных способностей наиболее часто используемых видов топлива.

Международно-признанными единицами, которые охватывают почти все процессы измерения количества топлива и энергии, являются кубический метр, тонна (метрическая тонна) и джоуль. Они являются производными единицами от метра, килограмма и секунды, применяемыми в Международной системе единиц (СИ) и используются как международная основа измерений, проводимых в науке, технике и торговле. Они являются единицами системы СИ. Однако в течение многих лет использовались другие единицы и в приведенных ниже разделах будут даны соотношения между ними, если они были выведены.

**Приставки в десятичной системе.** В таблице 1 приведены наиболее часто применяемые приставки, выражающие кратные и дробные единицы, используемые в энергетической статистике. Следует отметить, что приставки должны употребляться точно так, как они установлены. Приставки, записываемые строчными буквами, не допускается записывать прописными. Например, значение X киловатт должно быть записано как X кВт, а не X КВТ.

**Таблица 1. Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц**

<i>Кратные</i>				<i>Дольные</i>			
<i>Множи- тель</i>	<i>Наимено- вание</i>	<i>Обозначение</i>		<i>Множи- тель</i>	<i>Наимено- вание</i>	<i>Обозначение</i>	
		<i>латинское</i>	<i>русское</i>			<i>латинское</i>	<i>русское</i>
10 <sup>1</sup>	дека	da	да	10 <sup>-1</sup>	деци	d	д
10 <sup>2</sup>	гекто	h	г	10 <sup>-2</sup>	санти	c	с
10 <sup>3</sup>	кило	k	к	10 <sup>-3</sup>	милли	m	м
10 <sup>6</sup>	мега	M	М	10 <sup>-6</sup>	микро	μ	мк
10 <sup>9</sup>	гига	G	Г	10 <sup>-9</sup>	нано	n	н
10 <sup>12</sup>	тера	T	Т	10 <sup>-12</sup>	пико	p	п
10 <sup>15</sup>	пета	P	П	10 <sup>-15</sup>	фемто	f	ф
10 <sup>18</sup>	экса	E	Э	10 <sup>-18</sup>	атто	a	а

**Единицы объема.** Единицы длины (метр, сантиметр и т.д.) лежат в основе единиц объема. Галлон и литр являлись вначале стандартными единицами измерения объема жидкостей, но в настоящее время объем официально выражается в кубических метрах, табл. 2.

Такие единицы, как стер и корд, используются исключительно как меры объема древесного топлива и представляют соответственно 1 кубический метр и 128 кубических футов штабелированного древесного топлива. Следовательно, реальный объем плотной древесины, выраженный в каждой из этих единиц, определяется приблизительно, т.к. плотность штабелирования и форма поленьев используемой древесины могут меняться в широких пределах.



**Таблица 2. Коэффициенты пересчета между единицами объема**

<i>В:</i>	<i>Галлон США (gal)</i>	<i>Галлон британский (gal)</i>	<i>Баррель (bbl)</i>	<i>Куб. фут (ft<sup>3</sup>)</i>	<i>Литр (l)</i>	<i>Куб. метр (м<sup>3</sup>)</i>
<i>Из:</i>	<i>умножить на:</i>					
<i>Галлон США</i>	1	0,8327	0,02381	0,1337	3,785	0,0038
<i>Галлон брит.</i>	1,201	1	0,02859	0,1605	4,546	0,0045
<i>Баррель</i>	42,0	34,97	1	5,615	159,0	0,159
<i>Куб. фут</i>	7,48	6,229	0,1781	1	28,3	0,0283
<i>Литр</i>	0,2642	0,220	0,0063	0,0353	1	0,001
<i>Куб. метр</i>	264,2	220,0	6,289	35,3147	1 000	1

**Единицы массы.** Единицей массы в системе СИ является килограмм (кг); в энергетической статистике широко используется тонна (метрическая тонна), равная 1 000 кг, как наименьшая единица. В национальных товарных балансах большинства стран используется килотонна (1 000 т) в качестве единицы выражения массы товара, табл. 3.

**Таблица 3. Коэффициенты пересчета между единицами массы**

<i>В:</i>	<i>Килограмм (kg)</i>	<i>Тонна (t)</i>	<i>Длинная тонна (lt)</i>	<i>Короткая тонна (st)</i>	<i>Фунт (lb)</i>
<i>Из:</i>	<i>Умножить на:</i>				
<i>Килограммы (kg)</i>	1	0,001	$9,84 \times 10^{-4}$	$1,102 \times 10^{-3}$	2,2046
<i>Тонна (t)</i>	1000	1	0,984	1,1023	2204,6
<i>Длинная тонна (lt)</i>	1016	1,016	1	1,120	2240,0
<i>Короткая тонна (st)</i>	907,2	0,9072	0,893	1	2000,0
<i>Фунт (lb)</i>	0,454	$4,54 \times 10^{-4}$	$4,46 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	1

**Единицы энергии.** Единицей энергии в системе СИ является джоуль (Дж). Для практического выражения количества энергии частично в силу исторических причин и частично из-за малой величины джоуля, требующего применения малознакомых для неспециалистов кратных приставок, используется множество других единиц измерения. В результате, международные организации используют единицы энергии такой размерности, которые наиболее подходят для отражения величин национальных поставок энергоносителей и используемых продуктов. На протяжении многих лет использовалась тонна угольного эквивалента, что то же самое, что и тонна условного топлива (т.у.т. = ТУЭ). МТУЭ = М т.у.т. = 0,7 МТНЭ.

Однако вследствие того, что нефть заняла доминирующее положение, в большинстве стран (но не в России, где используется т.у.т.) эта единица была заменена тонной нефтяного эквивалента (ТНЭ), которая содержит 41,868 гигаджоулей, табл. 4. Во многих национальных балансах используется эта единица, однако, в соответствии с рекомендациями Международной организации

по стандартизации (ISO) все больше стал использоваться тераджоуль. Международно-признанным значением Британской тепловой единицы (БТЕ) считается 1 055,06 Дж. БТЕ является базовой единицей для кВада (1015 БТЕ) и терма (105 БТЕ).

Представленные в табл. 4 коэффициенты пересчета основываются на теплотворной способности топлива, которая отдельно и более подробно рассматривается в следующем разделе.

**Таблица 4. Коэффициенты пересчета единиц энергии**

<i>В:</i>	<i>Тераджоуль</i>	<i>Гигакалория</i>	<i>МТНЭ</i>	<i>МБТЕ</i>	<i>Гигаватт-час (ГВт.ч)</i>
<i>Из:</i>	<i>умножить на:</i>				
Тераджоуль (ТДж)	1	238,8	$2,388 \times 10^{-5}$	947,8	0,2778
Гигакалория (Гкал)	$4,1868 \times 10^{-3}$	1	$10^{-7}$	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$
МТНЭ*	$4,1868 \times 10^4$	$10^7$	1	$3,968 \times 10^7$	11630
МБТЕ**	$1,0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
Гигаватт-час (ГВт.ч)	3,6	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3412	1

\*Миллион тонн нефтяного эквивалента. **М т.у.т. = 0,7 МТНЭ**

\*\*Миллион Британских тепловых единиц

**Количество горючих веществ**, потребленных для производства электрической и тепловой энергии, выражается, в некоторых случаях, в единицах измерения физических величин в зависимости от типа топлива; и во всех случаях – в единицах энергии.

- Твердые виды ископаемого топлива (уголь, торф, и т.д.) выражаются в тысячах тонн.
- Синтез-газы выражаются в тераджоулях (ТДж).
- Жидкие виды ископаемого топлива (нефть, нефтезаводской газ) выражаются в тысячах тонн.
- Природный газ и заводской газ выражаются в тыс. кубических метров и в тераджоулях (ТДж).

Когда выражают количество газа в единицах объема, необходимо знать при какой температуре и под каким давлением. Газы легко сжимаются, значение объема газа имеет смысл только при оговоренной определенной температуре и давлении. Существует два набора условий:

- Нормальные условия: температура  $0^{\circ}\text{C}$  и давление 760 мм рт.ст.
- Стандартные условия: температура  $15^{\circ}\text{C}$  и давление 760 мм рт.ст.
- Возобновляемые источники энергии и отходы выражаются в тераджоулях (ТДж).

Данные о генерирующих мощностях отображаются как полезные (чистые) генерирующие мощности. Полезная генерирующая мощность равна валовой (или паспортной) генерирующей мощности за вычетом мощности, которая потребляется вспомогательным оборудованием и трансформаторами, установленными на конкретном предприятии.

## Теплотворная способность топлива

Если количество топлива выражено в описанных выше натуральных единицах, его можно перевести в другие – энергетические единицы измерения. Применение единиц измерения энергии позволяет суммировать энергоемкость различных видов топлива в разных агрегатных состояниях.

Для перевода количества топлива из натуральных единиц или каких-то промежуточных единиц (таких, как масса) в единицы энергии необходимо знать коэффициент пересчета, выражающий количество тепла, получаемого из одной единицы топлива. Этот коэффициент пересчета называется **теплотворной способностью** топлива или **калорийностью**. Типичным выражением этой величины будет, например, 26 ГДж/т (гигаджоулей/тонна) для угля или 35,6 МДж/м<sup>3</sup> (мегаджоулей/метр кубический) для газа. Теплотворную способность топлива получают путем измерения в лаборатории, специализирующейся на определении качества топлива. Большинство производителей топлива (горнодобывающие компании, нефтеперерабатывающие заводы, и т.д.) сами измеряют теплотворную способность и другие качественные характеристики производимых ими видов топлива.

Большинство видов топлива является соединением углерода и водорода. Могут быть и другие элементы, которые не влияют или влияют слабо на теплотворную способность топлива. Углерод и водород, соединяясь с кислородом в процессе горения, дают тепло. Когда водород соединяется с кислородом, образуется вода в газообразном состоянии. Поэтому водяной пар выбрасывается наружу вместе с другими продуктами горения в составе выхлопных газов из установки, в которой происходит горение (бойлер, двигатель, печь и т.д.).

Когда выхлопные газы остывают, **вода конденсируется в жидкое состояние и высвобождает тепло, называемое латентным, которое уходит впустую в атмосферу**. В зависимости от учета или не учета данного тепла, теплотворную способность топлива можно выразить высшим и низшим значением.

**Высшее значение** учитывает все тепло, высвобожденное из топлива, включая и унесенное вместе с водяным паром во время горения.

**Низшее значение** не учитывает латентного тепла водяного пара, образовавшегося во время горения.

Разница между высшей и низшей теплотворной способностью обычно находится в пределах от 5% до 6% высшего значения для твердых и жидких топлив и около 10% для природного газа, табл. 5-12.

Есть несколько видов топлива, которые не содержат или содержат очень мало водорода (например, доменный газ, высокотемпературный кокс и некоторые другие нефтяные коксы). В этих случаях разница между высшей и низшей теплотворной способностью будет незначительной.

Установление низшей теплотворной способности твердых видов топлива довольно сложно из-за того, что в них часто содержится вода вдобавок к той, которая образуется из содержащегося в них водорода. Снижение значения низшей теплотворной способности из-за содержащейся в топливе воды весьма трудно определить, потому что влажность топлива может меняться из-за погоды и условий хранения.

Таким образом, **низшая теплотворная способность топлива – это общее тепло, выделенное непосредственно при его горении** (не учитывается тепло, которое затем поступит в атмосферу при конденсации водяного пара, образовавшегося при горении), **за вычетом тепла, необходимого для испарения воды, содержащейся в топливе до его сжигания.**

Большинство потребителей твердых видов топлива, таких как электростанции, имеет возможность определять низшую теплотворную способность путем отслеживания количества вырабатываемой электроэнергии.

Теплотворная способность **ядерного топлива**, из-за сложности ее однозначного определения, не является формой представления атомной энергии. Вместо этого, в форме первичной энергии определяется тепло, содержащееся в паре и поступающее из реактора на турбину (заметим, не выработанная электроэнергия, которой примерно в 3 раза меньше, чем первичная энергия).

**Таблица 5. Значения теплотворной способности каменных углей**

<i>Каменные угли</i>	<i>Высшая теплотворная способность*, МДж/кг</i>	<i>Низшая теплотворная способность*, МДж/кг</i>	<i>Содержание углерода*, кг/т</i>	<i>Содержание влаги*, %</i>
Антрацит	29,65 – 30,35	28,95 – 30,35	778 – 782	10 – 12
Коксующийся уголь	27,80 – 30,80	26,60 – 29,80	674 – 771	7 – 9
Прочие битуминозные угли	23,85 – 26,75	22,60 – 25,50	590 – 657	13 – 18

\* уголь, готовый к использованию

**Таблица 6. Значения теплотворной способности коксов**

<i>Тип кокса</i>	<i>Высшая теплотворная способность*, МДж/кг</i>	<i>Низшая теплотворная способность*, МДж/кг</i>	<i>Содержание углерода*, кг/т</i>	<i>Содержание влаги*, %</i>
Металлургический кокс	27,90	27,45	820	8 – 12
Газовый кокс	28,35	27,91	853	1 – 2
Полукокс	26,30	25,40	710	15
Нефтяной кокс	30,5 – 35,8	30,0 – 35,3	875	1 – 2

\* КОКС, ГОТОВЫЙ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

**Таблица 7. Значения теплотворной способности газов, полученных из угля**

<i>Тип газа</i>	<i>Высшая теплотворная способность*</i> <i>МДж/м<sup>3</sup></i>	<i>Низшая теплотворная способность*,</i> <i>МДж/м<sup>3</sup></i>	<i>Низшая теплотворная способность*,</i> <i>МДж/кг</i>	<i>Содержание углерода*,</i> <i>%</i>
<i>Коксовый газ</i>	19.01	16.90	37.54	464
<i>Доменный газ</i>	2.89	2.89	2.24	179

\* газ, готовый к использованию

**Таблица 8. Значения теплотворной способности отдельных нефтепродуктов**

<i>Нефтепродукт</i>	<i>Плотность</i> <i>кг/м<sup>3</sup></i>	<i>Литров на тонну</i>	<i>Высшая теплотворная способность,</i> <i>ГДж/т</i>	<i>Низшая теплотворная способность*,</i> <i>ГДж/т</i>
Этан	366,3	2730	51,90	47,51
Пропан	507,6	1970	50,32	46,33
Бутан	572,7	1746	49,51	45,72
Сжиженный нефтяной газ**	522,2	1915	50,08	46,15
Нафта	690,6	1448	47,73	45,34
Авиационный бензин	716,8	1395	47,40	45,03
Автомобильный бензин***	740,7	1350	47,10	44,75
Авиационный керосин	802,6	1246	46,23	43,92
Прочие керосины	802,6	1246	46,23	43,92
Газойль и дизельное топливо	843,9	1185	45,66	43,38
Топочный мазут низкосернистый	925,1	1081	44,40	42,18
Топочный мазут высокосернистый	963,4	1038	43,76	41,57

\* - Для нефти и более тяжелых нефтепродуктов значение низшей теплотворной способности принимается равным 95% значения высшей теплотворной способности.

\*\* - Считается смесью 70% пропана и 30% бутана по массе.

\*\*\* - Среднее значение для автомобильных бензинов с октановым числом от 91 до 95 единиц.

Значения теплотворных способностей метана составляют: высшая 55,52 МДж/кг (37,652 МДж/м<sup>3</sup>), низшая 50,03 МДж/кг (33,939 МДж/м<sup>3</sup>). Однако поставляемый потребителю природный газ содержит, кроме метана, и другие газы (обычно этан и пропан). Поскольку наличие более тяжелых газов повышает

теплотворную способность на единицу объема, значения высших теплотворных способностей могут меняться в достаточно широких пределах – от 37,5 до 40,5 МДж/м<sup>3</sup>.

**Таблица 9. Коэффициенты пересчета массы или объема в тепло (высшая теплотворная способность)**

В:	Сжиженный природный газ**		Газ							
			Норвегия		Нидерланды		Россия		Алжир	
	МДж	БТЕ	МДж	БТЕ	МДж	БТЕ	МДж	БТЕ	МДж	БТЕ
Из:	умножить на									
м <sup>3</sup> *	40,00	37660	40,00	37913	33,32	31581	38,23	36235	39,19	37145
кг	54,25	51417	52,22	49495	42,07	39875	55,25	52363	52,46	49726

\* при 15°С.

\*\* в газовом состоянии

**Таблица 10. Коэффициенты пересчета между стандартными кубическими метрами (ст. м<sup>3</sup>) и нормальными кубическими метрами (нр. м<sup>3</sup>)**

В:	ст. м <sup>3</sup>	ст. м <sup>3</sup>
Из:	умножить на	
Стандартные условия*	1	0,948
Нормальные условия**	1,055	1

\* Стандартными условиями являются: температура 15°С и давление 760 мм. рт. ст.

\*\* Нормальными условиями являются: температура 0°С и давление 760 мм. рт. ст.

**Таблица 11. Коэффициенты пересчета единиц измерения сжиженного и газообразного природного газа**

В:	Метрические тонны СПГ	м <sup>3</sup> СПГ	ст. м <sup>3</sup> *
Из:	умножить на		
Метрических тонн СПГ	1	0,948	1360
м <sup>3</sup> СПГ	0,45	1	615
ст. м <sup>3</sup>	7,35 x 10 <sup>-4</sup>	1,626 x 10 <sup>-3</sup>	1

\* 1 ст. м<sup>3</sup> = 40 МДж

**Таблица 12. Соотношение между значениями низшей и высшей теплотворной способности природного газа**

1 НТС* = 0,9 ВТС**
--------------------

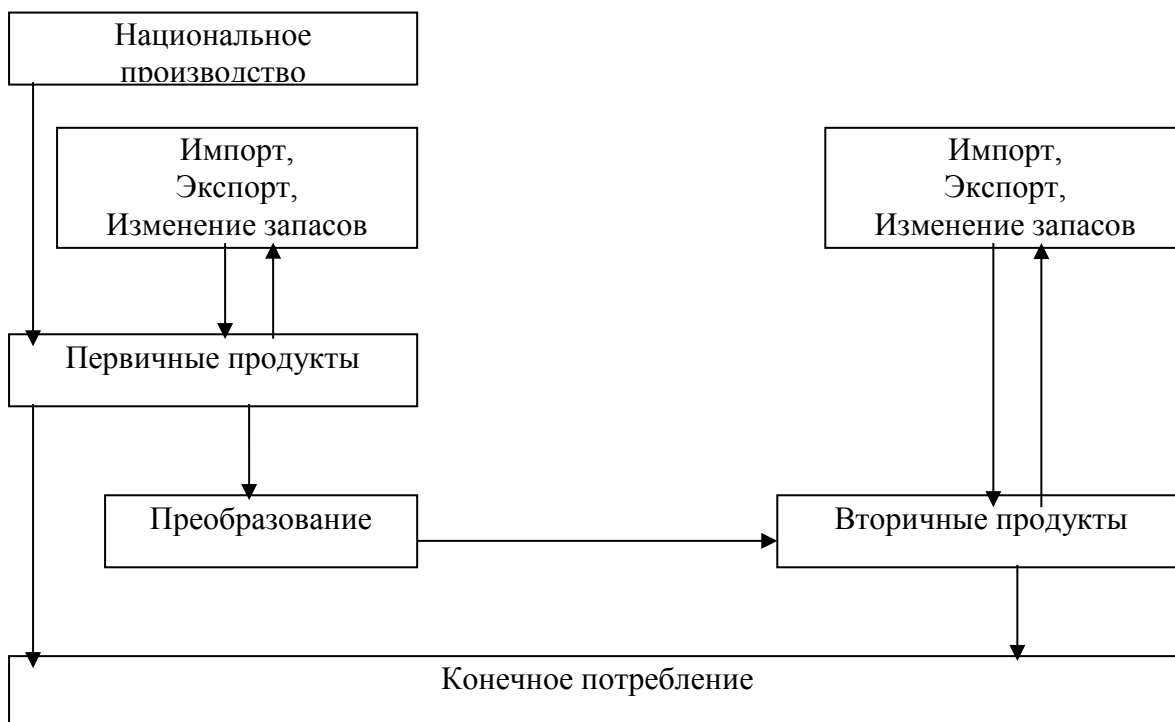
\* НТС – низшая теплотворная способность.

\*\* ВТС – высшая теплотворная способность.

## Потоки энергетических продуктов

На рис. 2 изображена общая схема движения потока продуктов от его первого появления до окончательного исключения из статистического учета (конечного использования).

Рис. 2. Общее представление потоков энергетических продуктов



Объем производства первичных **ископаемых видов топлива** обычно измеряют рядом с местом их добычи из месторождений. Уровень производства должен измеряться по количеству топлива в товарной кондиции. Любое количество топлива, не готовое к употреблению или продаже, должно быть исключено из объема производства. Например, часть газа, добытого из газовых и нефтяных месторождений, может быть закачана обратно, для поддержания давления (повторно закачанный газ), сожжена или выброшена в атмосферу (выпущенный газ). Оставшийся газ может быть, затем, обработан с целью отделения более тяжелых газов (газовых конденсатов). Производство готового к продаже **природного газа** следует измерять или вычислять только после вычитания повторно закачанного газа, сожженного или выпущенного газа и газовых конденсатов.

### Первичная электрическая и тепловая энергия

Установление объемов производства первичной электрической и тепловой энергии тесно связано с определением этих двух форм энергии в различных условиях их использования. Например, гидроэлектроэнергия – это электроэнергия, вырабатываемая генераторами переменного тока, приводимыми

в действие водяными потоками. Для ядерных реакторов – это тепло, содержащееся в паре, выходящем из реактора и поступающем на турбину.

Часто содержание тепла в паре, поступающем на турбину, неизвестно и подлежит оценке. Это значение получают вычислением в обратном порядке от валового производства электроэнергии с использованием термического КПД электростанции. Аналогичный подход можно использовать для оценки геотермального тепла, поступающего на турбины, если невозможно провести прямые измерения содержания тепла в потоке геотермального пара. Однако в таком случае используется фиксированное значение термического КПД.

**Схема потоков электроэнергии и тепла** от производства до потребления показана на рис. 3 и 4. Эта схема потоков намеренно упрощена с тем, чтобы дать общее представление о цепочке поставок. Производство, продажа и потребление – основные элементы, необходимые для того, чтобы иметь полную картину потоков электроэнергии и тепла в стране.

**Рис. 3. Упрощенная схема потоков электроэнергии**

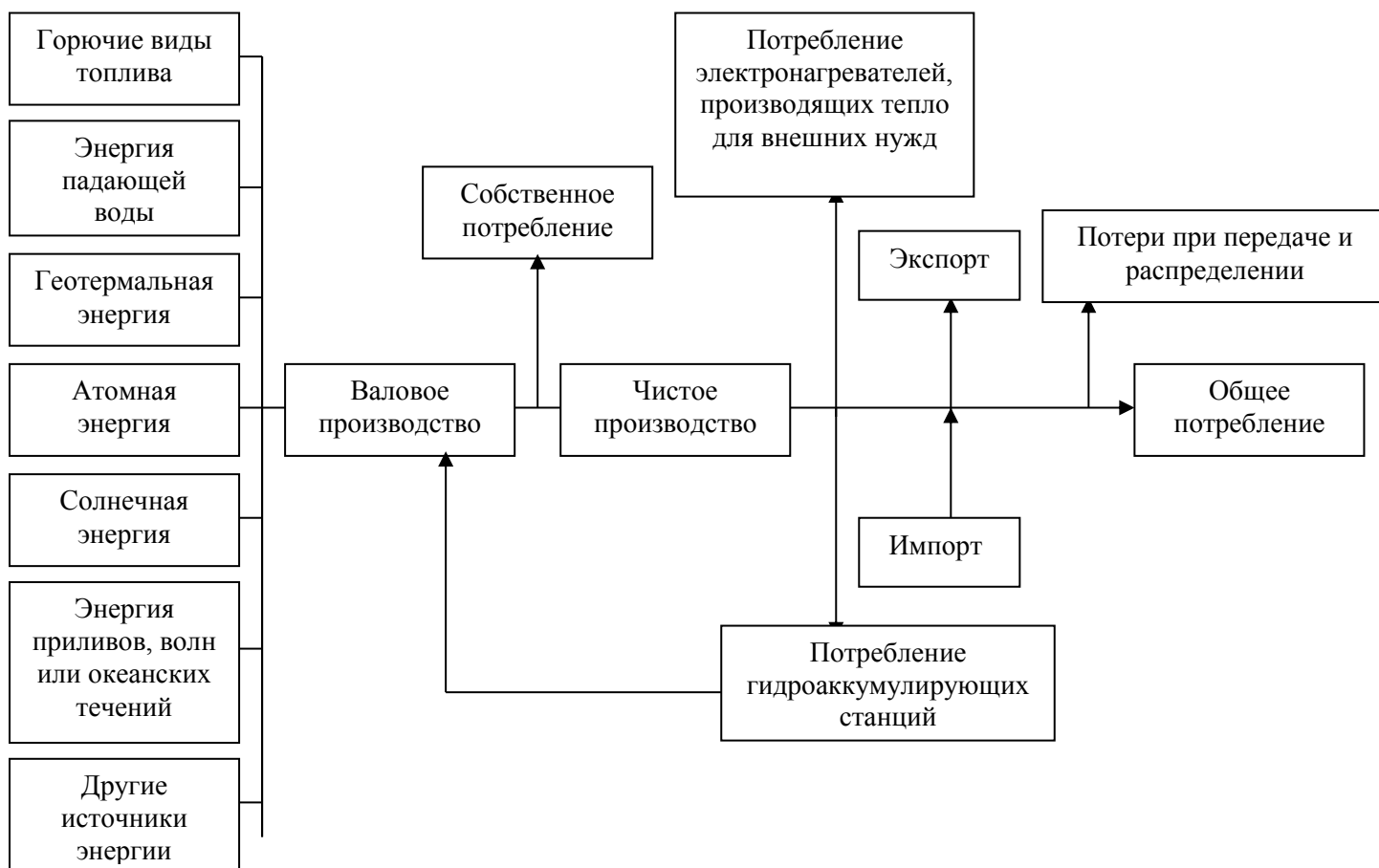
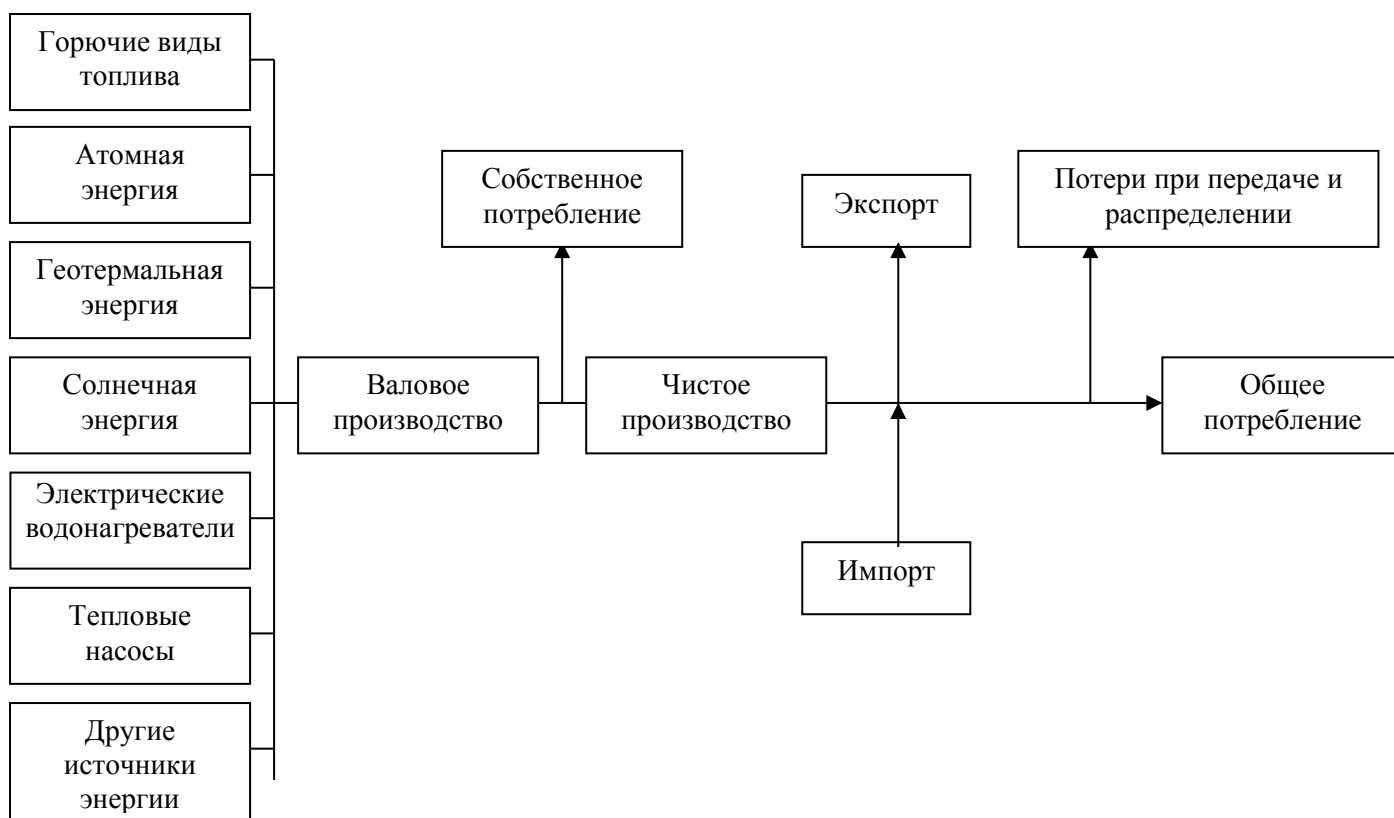




Рис. 4. Упрощенная схема потоков тепловой энергии



Электроэнергия вырабатывается как первичный или вторичный продукт на электростанциях; общее количество произведенного электричества называется **валовым производством электроэнергии**.

Электростанции потребляют часть электроэнергии для собственных нужд. **Чистое производство электроэнергии** получают путем вычитания энергии, потребленной для собственных нужд из валового производства электроэнергии. Эта чистая продукция подается по передающим линиям и распределительным сетям к конечным потребителям, или преобразуется в тепло в электрических водонагревательных котлах или запасается путем аккумулирования энергии на гидроаккумулирующих станциях (ГАЭС).

**Собственное потребление энергетического сектора:** количество энергетических продуктов, потребленных на топливных и энергетических предприятиях таким образом, что они исчезают со счетов, а не возвращаются в виде другого энергетического продукта. Потребленные таким образом энергетические продукты используются для того, чтобы обеспечивать деятельность предприятий по добыче, преобразованию или производству энергии, но они не участвуют в процессах преобразования.

**Потери при распределении и другие потери.** Потери при распределении и доставке по электрическим и газовым сетям являются простейшими примерами, но есть случаи, относящиеся к поставке коксовых и доменных газов и нефтепродуктов по нефтепроводам.

**Валовое производство тепловой энергии** – это количество энергии, которое было произведено и продано сторонним потребителям, т.е. не связанным с производителем. В этом случае перечень источников энергии несколько отличается, отображая тот факт, что тепло не производится из энергии падающей воды или энергии приливов, волн, энергии океанских течений, однако, дополнительно получается с помощью тепловых насосов и электрических водогрейных котлов.

Валовое производство геотермальной тепловой энергии – это количество теплоты, использованное из источников тепла или пара, находящихся в земной коре. Оно может быть оценено путем измерения производства электроэнергии на геотермальных электростанциях в случае, если вся получаемая тепловая энергия используется только для производства электроэнергии.

**Разделение топлива, использованного ТЭЦ для производства электрической и тепловой энергии.**

Общая производительность работы ТЭЦ определяется как:

$$e = (H + E) / F$$

где: E – количество произведенной электрической энергии;

H – количество произведенной тепловой энергии;

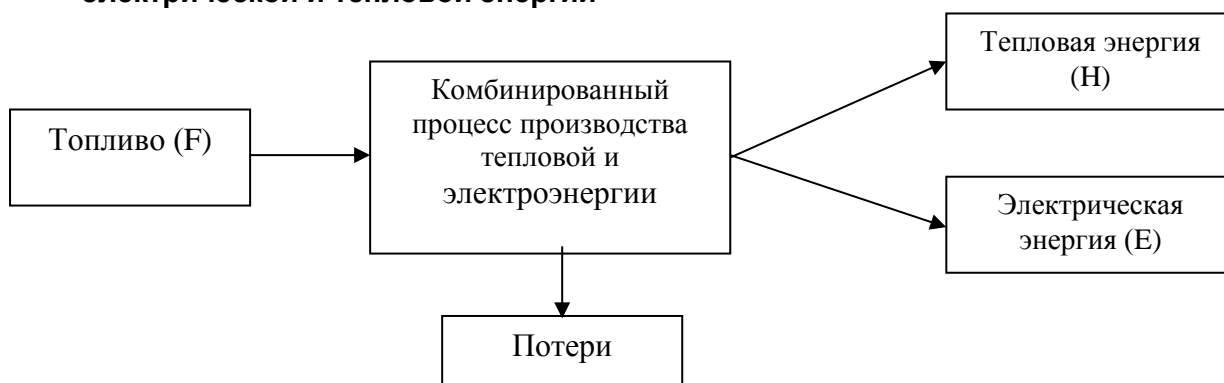
F – количество потребленного в процессе преобразования топлива.

Топливо, поставленное для производства электрической и тепловой энергии, выражается следующим образом:

$$F_h = H / e = F [H / (E + H)] \quad F_e = F - H / e = F [E / (E + H)]$$

Поставленное предприятию количество топлива в энергетической статистике разделяется между производством тепловой и электрической энергии пропорционально их долям в общем количестве произведенной энергии, рис. 5.

**Рис. 5. Распределение на ТЭЦ топлива, затраченного на производство электрической и тепловой энергии**



Это разделение делается даже в том случае, если тепловая энергия не продавалась. Затем, количество топлива, из которого была произведена тепловая энергия, разделяют пропорционально количеству проданной тепловой энергии к общему количеству произведенной тепловой энергии.

## **Импорт и экспорт**

Электроэнергия передается по высоковольтным национальным сетям электропередач, которые соединяются на границах различных государств. Недостаточная пропускная способность этих соединительных участков ограничивает возможности обмена электроэнергией между соседними странами. Необходимо отметить, что поскольку запастись электроэнергией невозможно, то поставки должны равняться потреблению с тем, чтобы передающая сеть оставалась в состоянии равновесия. Это обстоятельство создает дополнительные технические сложности для операторов линий электропередач, но в то же время делает еще более важной поставки энергии через границы.

**Объем импорта и экспорта продуктов** – это количества, соответственно поступающие в и вывозимые из определенной страны как результат сделок купли-продажи. Считается, что импортно-экспортные операции совершаются в момент пересечения энергетическим продуктом национальной границы, независимо от того, была ли выполнена таможенная очистка грузов или нет. Количество топлива, проходящего страну «транзитом» не учитывается в значениях импорта и экспорта.

Начальные и конечные пункты происхождения и назначения легко определить для топлива, перевозимого в качестве грузов (угля на судах, нефти в цистернах и т.п.), но получить точную информацию об энергетических продуктах, поставляемых по сетям, затруднительно. Газовые или электрические счетчики дают точные значения физических количеств, пересекающих национальную границу, но не дают никакой информации о начальных и конечных пунктах происхождения и назначения. Кроме того, на современных рынках электроэнергии компания-поставщик энергии может быть зарегистрирована не в той стране, из которой поступает электричество. Для энергии, продаваемой по сетям и которой торгуют на открытых рынках, можно провести четкую грань между коммерческим торговым потоком и физическим потоком.

Поэтому для целей национальной и международной статистики не практикуется настаивать на точном отображении начальных и конечных пунктов происхождения и назначения электроэнергии. Вместо этого, отчетность отображает физические потоки. Отсюда следует, что для электроэнергии объемы транзита приходится включать в отчетность.

Отчеты о внешней торговле природным газом, однако, должны отобразить истинные пункты происхождения и назначения газа. В течение последних двух десятилетий международный газовый рынок значительно развился за счет сооружения новых газопроводов и использования транспорта для доставки сжиженного природного газа (СПГ) в места, где нет газопроводов.

**Международное морское и авиационное бункерное топливо.** Поставки нефтепродуктов на суда для использования при международных перевозках (флотский мазут) представляют собой особый случай потоков нефтепродуктов из страны. Продукт используется судном как топливо и не является частью груза. Одна из причин, определяющая необходимость иметь отдельный поток нефтепродуктов для международного бункерного топлива, связана с правилами предоставления национальной отчетности о выбросах парниковых газов международного морского и авиационного транспорта в Рамочную конвенцию ООН об изменении климата. Эти выбросы исключаются из национальной отчетности.

**Запасы топлива** служат для обеспечения функционирования экономики в периоды, когда поставки и потребление изменяются таким образом, что

потребление отличается от поставок. Поставщики содержат склады топлива, чтобы компенсировать колебания в его производстве и (или) импорте и заказах на него. Потребители содержат склады, чтобы компенсировать колебания поставок топлива и его потребления. Запасы на складах поставщиков и производителей энергии всегда включаются в национальную статистику по топливу.

Уровни запасов в начале и конце отчетного периода называются соответственно **значением запасов на начало периода** и **значением запасов на конец периода**. Движение топлива определяется по изменению уровня запасов в хранилище, которое включается в статистический отчет. Изменение запасов, которое приводит к их накоплению (запасы на конец периода > запасы на начало периода) или расходованию (запасы на начало периода > запасы на конец периода), называют соответственно **накоплением** и **расходом запасов**.

**Преобразование** или **трансформация топлива** изменяет исходное топливо с помощью физических и (или) химических методов, превращая его во вторичный энергетический продукт, более удобный, чем первичный, для использования в условиях, для которых он предназначен. Например, производство кокса из угля в коксовальной печи или производство электроэнергии с помощью пара, полученного за счет сжигания топлива.

Хотя оба примера рассматриваются статистиками, работающими в области энергетики, как процессы преобразования энергии, они являются принципиально разными. Производство кокса – это пример процесса настоящего преобразования, который является по сути, процессом сепарации. В этом случае большая часть углерода из угля остается в коксе, а содержащийся в угле водород с частью углерода превращается в коксовый газ и некоторые другие нефтепродукты. Все их можно считать топливом и, в идеальном случае, во время этого процесса не происходит горение.

В отличие от этого, производство электроэнергии из горючего топлива требует его сжигания, а часть образовавшегося при этом тепла (пара) преобразовывается в энергию. Углерод и водород, которые присутствуют в исходном топливе, окисляются и выбрасываются в атмосферу в виде углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и воды.

**Конечное потребление топлива** включает его использование для нагревания и для неэнергетических нужд. Топливо, использованное для производства электричества, а также тепла на продажу, также как и количества произведенной энергии, исключаются из общего объема конечного потребления и учитываются в процессе преобразования.

Конечное потребление энергии включает поставки энергетических продуктов потребителям для процессов, которые не являются процессами их преобразования или трансформации, как определяется структурой баланса. При этом энергетические продукты считаются потребленными, а не преобразованными в другие виды энергии. Короче говоря, они исчезают со счетов.

## Выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании топлива

### Выбросы парниковых газов от разных видов деятельности человека

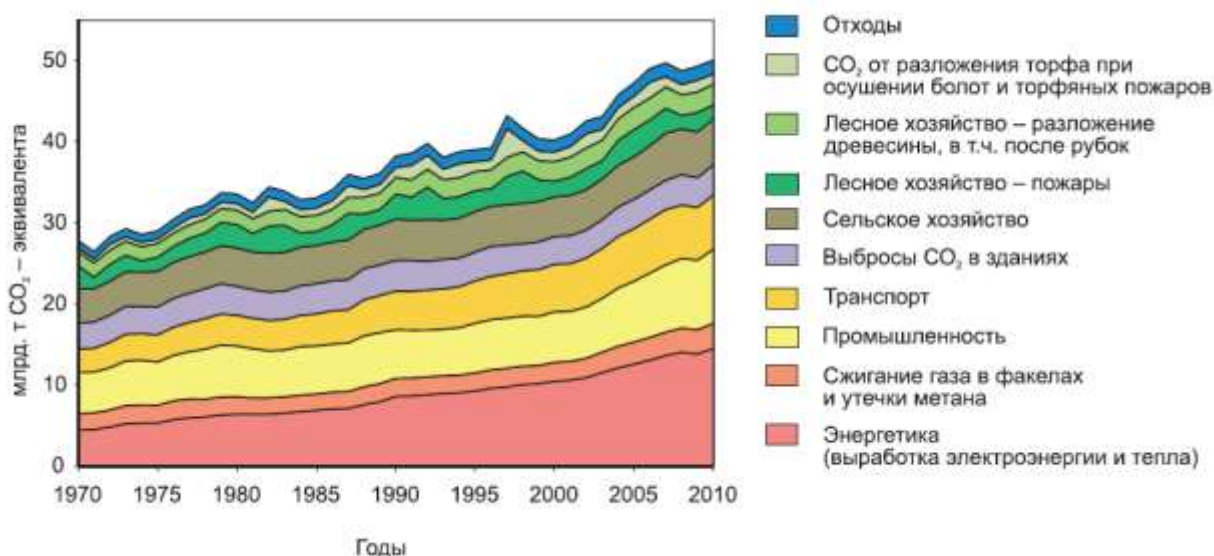
На рис. 6 показано суммарное воздействие всех парниковых газов антропогенного происхождения, пересчитанное в CO<sub>2</sub>-эквивалент и разбитое на главные источники – виды деятельности человечества.

Основным источником выбросов является сжигание топлива: угля, газа, нефтепродуктов и торфа (выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания древесины, сельскохозяйственных отходов и т.п. сюда не относят, так как это количество CO<sub>2</sub> ранее было поглощено из атмосферы в процессе роста растений (тем самым образуется замкнутый круговорот, не ведущий к росту концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере). Больше всего выбросов в энергетике (красное «основание» графика на рис. 6; на 2010 год это 29% всех выбросов). Затем идет промышленность (желтая полоса – 18%) и транспорт (темно-желтая полоса – 13%).

Весьма значим, особенно в нашей стране, вклад различных утечек метана. В основном это утечки при добыче и транспортировке газа, а также из угольных шахт. С помощью более современных газовых и угольных технологий они могут быть ликвидированы. Сжигание попутного нефтяного газа в факелах также может быть сведено к минимуму, составляющему 2-5%, а 95-98% газа может использоваться как топливо или сырье для химической промышленности) и сжигания газа в факелах на нефтепромыслах (оранжевая полоска – 8%).

К этому добавляется сжигание топлива непосредственно в зданиях, как правило, для обогрева и приготовления пищи (сюда также входит обогрев жилищ и приготовление пищи с использованием дров, кизяка и т.п. почти двумя миллиардами беднейшего населения планеты) - сиреневая полоса – 8%.

**Рис. 6. Антропогенные выбросы парниковых газов от различных видов деятельности человека (в пересчете на CO<sub>2</sub>-эквивалент)**

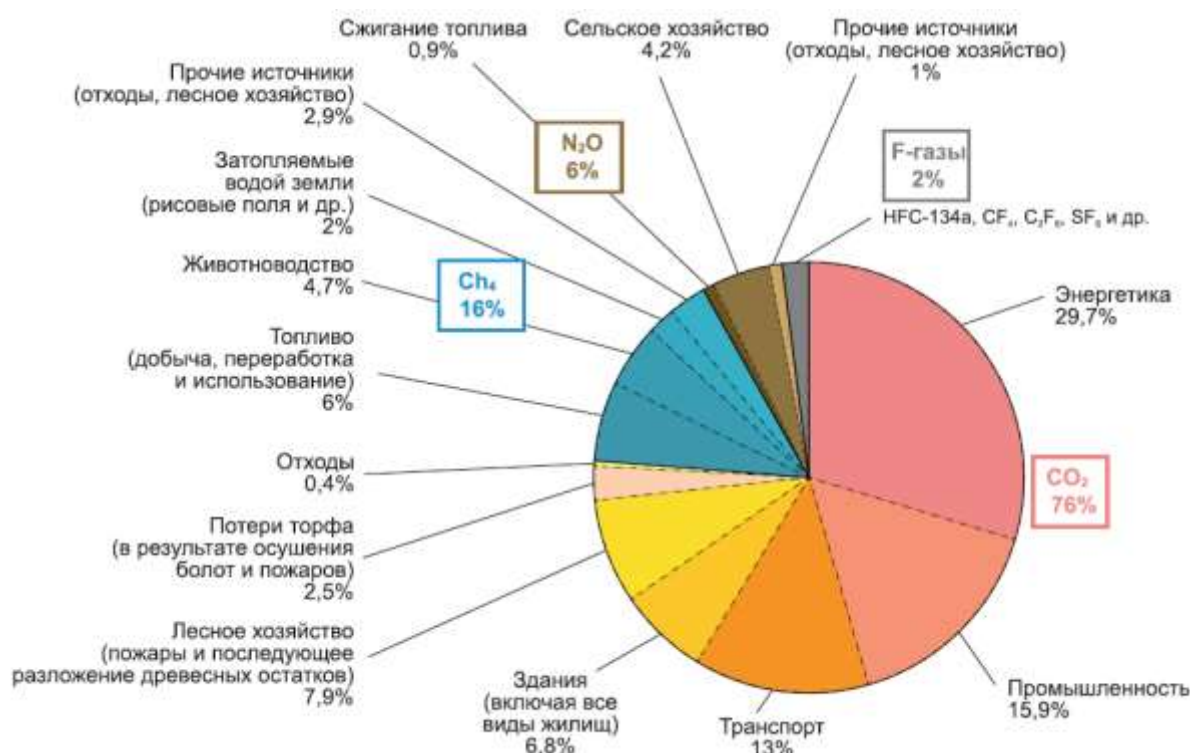


Источник: The Emission Gap Report, UNEP, December 2010, 52 pp.  
<http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport>

На эту энергетическую «основу» выбросов накладываются выбросы в сельском хозяйстве (в том числе и в результате сжигания отходов, травяных палов и т.п. - коричневая полоса – 11%), лесном хозяйстве – результат рубок и лесных пожаров (зеленые полосы, 5% и 3%), а также при осушении торфяных болот (серо-зеленая полоса – 3%). Венчает картину наше обращение с отходами (синяя полоса – 4%).

Показанные на рис. 6 общемировые выбросы можно разделить по отдельным газам: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, фторсодержащие F-газы, причем тоже с подразделением на отдельные виды нашей деятельности (рис. 7). «Львиная» доля принадлежит CO<sub>2</sub> – 76%, на втором месте CH<sub>4</sub> – 16%, затем N<sub>2</sub>O и F- газы – 6% и 2%.

**Рис. 7. Антропогенные выбросы различных парниковых газов в 2010 году (в пересчете на CO<sub>2</sub>-эквивалент)**

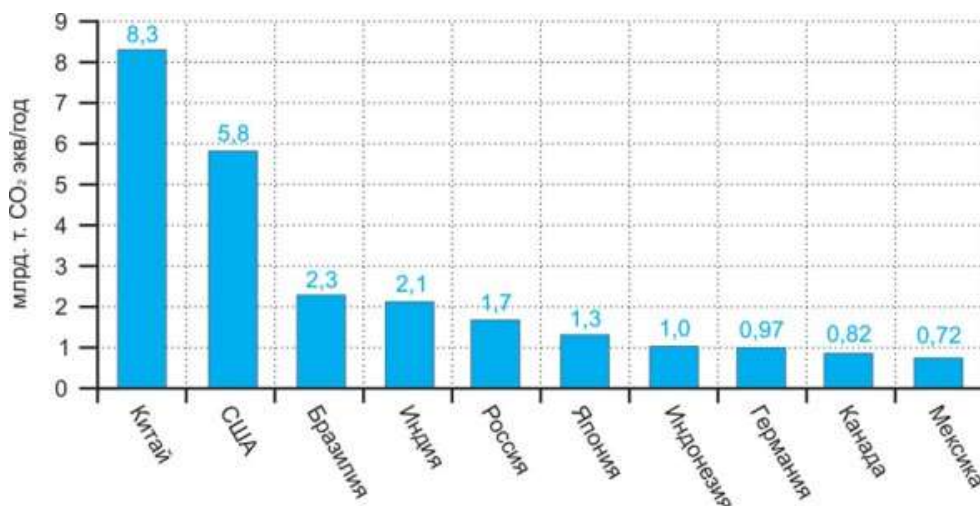


Источник: The Emission Gap Report, UNEP, December 2010, 52 pp.  
<http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport>

**Распределение антропогенных выбросов по странам** очень неравномерно. Далекo впереди Китай, за которым следуют США, рис. 8. Затем с большим отрывом Бразилия (там очень велики выбросы из-за вырубкн лесов), Индия и Россия (где, наоборот, леса поглощают немало CO<sub>2</sub>), за которой следует Япония. В целом 10 крупнейших стран дают примерно половину общемировых выбросов парниковых газов, обусловленных деятельностью человека.

В представленных на рис. 8 суммарных антропогенных выбросах различных стран можно отдельно рассмотреть две крупные части: 1) CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива во всех секторах экономики; и 2) выбросы и поглощение CO<sub>2</sub> от деятельности в лесном хозяйстве.

**Рис. 8. Десять стран с крупнейшими антропогенными выбросами парниковых газов в атмосферу (учитывая и поглощение и эмиссию CO<sub>2</sub> в лесном хозяйстве)**



Источник: база данных WRI <http://cait.wri.org/> (CO<sub>2</sub> в экономике стран – 2007 г., для выбросов других газов, кроме CO<sub>2</sub>, использованы оценки на 2005 г.); по тропическим лесам – оценка на 2000-2005 гг. из Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions Nancy L. Harris,\* Sandra Brown, Stephen C. Hagen, Sassan S. Saatchi, Silvia Petrova, William Salas, Matthew C. Hansen, Peter V. Potapov, Alexander Lotsch. 22 June 2012, *Science* 336, 1573 (2012) DOI: 10.1126/science.1217962 [www.sciencemag.org/cgi/content/full/336/6088/1573/DC1](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/336/6088/1573/DC1); данные по России: Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2010 гг. Москва 2012. [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int).

**Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания топлива** - не только главная составляющая всех антропогенных выбросов парниковых газов, но и их наиболее точно известная часть. Во всех странах сжигание топлива - предмет строгой статистической отчетности. При этом выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании угля, газа, нефтепродуктов и торфа зависят, прежде всего, от количества использованного топлива. Энергетическая эффективность сжигания топлива очень важна для энергетики и транспорта, но на выбросы CO<sub>2</sub> влияет слабо. Главное именно то, сколько топлива было сожжено.

Здесь мы не рассматриваем энергетику стран, это выходило бы далеко за рамки данного издания. Однако в качестве справочной информации для пятого и шестого тематических разделов полезно привести коэффициенты пересчета – данные о том, сколько CO<sub>2</sub> поступает в атмосферу при сжигании тонны того или иного топлива, табл. 13.

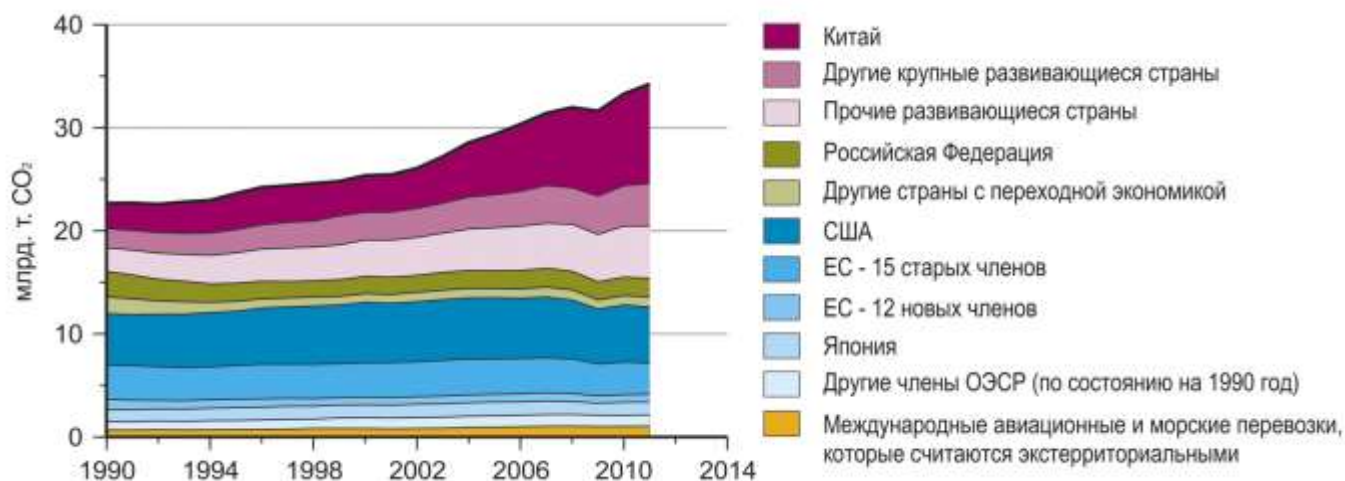
Данные о выбросах CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива в мире в целом и в крупнейших странах приведены на рис. 9. Следуя принятой в мире практике, к выбросам CO<sub>2</sub> от сжигания топлива добавлены выбросы CO<sub>2</sub>, образующиеся в технологических процессах производства цемента. Это очень небольшая добавка, не превышающая нескольких процентов от выбросов CO<sub>2</sub> при сжигании топлива.

**Таблица 13. Коэффициенты расчета выбросов CO<sub>2</sub> при сжигании ископаемого топлива**

Топливо	Выбросы CO <sub>2</sub>
Природный газ	1,85 тCO <sub>2</sub> /(тыс. м <sup>3</sup> )
Каменный уголь	2,7 – 2,8 тCO <sub>2</sub> /т, в зависимости от марки угля
Торф	~1,5 тCO <sub>2</sub> /т, одна тонна торфа дает в ~2 раза меньше энергии, чем тонна угля
Топочный мазут	3,1 тCO <sub>2</sub> /т
Автомобильный бензин	3,0 тCO <sub>2</sub> /т или 2,1 – 2,3 кг CO <sub>2</sub> /литр, в зависимости от температуры топлива
Дизельное топливо	3,15 тCO <sub>2</sub> /т или 2,6 – 2,8 кг CO <sub>2</sub> /литр, в зависимости от температуры топлива и его марки (летнее более плотное, а зимнее менее плотное)
Авиационный керосин	3,1 тCO <sub>2</sub> /т
Древесное топливо и сельскохозяйственные отходы	Выбросы CO <sub>2</sub> считают равными нулю, так как CO <sub>2</sub> поступивший в воздух при горении, ранее был поглощен из атмосферы в процессе роста растений (образуется замкнутый круговорот, не ведущий к росту концентрации CO <sub>2</sub> в атмосфере)

Источник: Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2010 гг. Москва 2012. [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)

**Рис. 9. Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемых видов топлива, а также производства цемента**



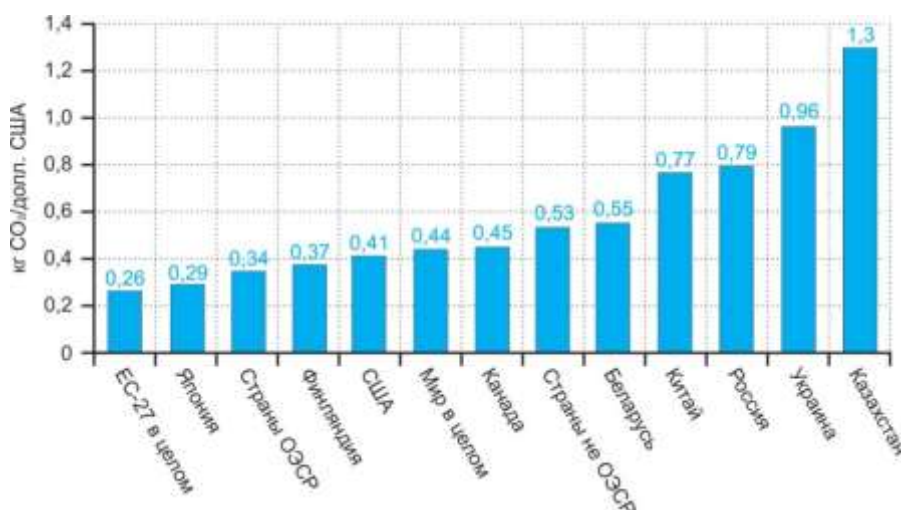
Источник: Trends in global CO<sub>2</sub> emissions, 2012 report, EC Joint Research Center, PBL Netherlands. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/CO2REPORT2012.pdf>

С середины 2000-х годов главный рост выбросов CO<sub>2</sub> идет в крупнейших развивающихся странах, особенно в Китае (темно-бордовая полоса), а также в Индии, Бразилии, ЮАР, Индонезии (бордовая полоса). В развитых странах выбросы либо стабильны, либо немного идут вниз. Там новые энергоэффективные технологии и товары внедряются быстрее, чем идет расширение объемов производства и потребления. Заметим, что свой вклад в снижение выбросов в развитых странах вносит и перемещение многих производств в Китай и другие развивающиеся страны.



Показательным параметром, характеризующим энергетику и экономику стран, принято считать удельную «углеродоемкость» экономики – все выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива, деленные на общий объем произведенной продукции, товаров и услуг, рис. 10. За общий объем принимают валовый внутренний продукт страны (ВВП), выраженный в долларах США с учетом поправки на разную покупательную способность 1 доллара в разных странах<sup>2</sup>.

**Рис. 10. Удельная углеродоемкость экономики различных стран в 2010 г.**



Источник: CO<sub>2</sub> Highlights 2012. CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion (2012 Edition), IEA, Paris.  
[www.iea.org](http://www.iea.org)

По показателю удельной углеродоемкости (фактически по энергоэффективности экономики в целом) развивающиеся страны сильно отстают от развитых. Отстает от них и Россия. Конечно, для ряда стран сказывается и более холодный климат и большая средняя протяженность транспортных потоков. Не случайно Финляндия на 25% отстает от среднего показателя по Европейскому Союзу, а Канаду на 10% опередил ее южный сосед – США. Имеет значение и структура экономики страны, наличие энергоемких отраслей, таких например, как металлургия и производство цемента. Однако отставание России от ведущих стран слишком велико, гораздо больше действия отмеченных выше объективных обстоятельств.

<sup>2</sup> Данная поправка при расчете ВВП носит название «паритет покупательной способности» (ППС). Она показывает насколько в той или иной стране на 1 доллар США можно купить больше (или меньше) товаров и услуг, чем в США. Если за один и тот же принятый в мире набор товаров и услуг («потребительскую корзину») в стране X нужно заплатить в 1,5 раза меньше долларов, чем в США, то ППС страны X равен 1,5, а ее ВВП, выраженный в долларах, должен быть умножен на 1,5.

# Основные характеристики видов топлива и их потоков

## Природный газ

В состав природного газа входят различные газы, но в основном он состоит из **метана** ( $\text{CH}_4$ ).

Как и следует из его названия, природный газ добывают из природных подземных (подводных) месторождений и он не является химическим однородным продуктом. Природный газ, в момент добычи из газового месторождения или попутно с сырой нефтью, состоит из смеси газов и жидкостей (некоторые из них не являются энергетическими продуктами). Только после обработки исходной смеси он становится одним из готовых к продаже газов. На этом этапе природный газ все еще остается смесью газов с преобладанием в его составе метана (обычно более 85%).

Природный газ, который добывают вместе с нефтью, называют **попутным газом**, тогда как газ, извлеченный из месторождений, не связанных с добычей нефти, называют **непопутным газом**. Газ, добываемый из сланцевых месторождений, называют **сланцевым газом**. Газ, добываемый в целом аналогичным образом из угольных пластов, как правило, также называют сланцевым газом, имея в виду не источник газа, а технологию его добычи.

В процессе добычи угля из подземных месторождений может также высвободиться газ, называемый **рудничным газом** или **рудничным метаном**. Этот газ необходимо удалять из шахт по соображениям безопасности, но там, где его собирают и используют в качестве топлива, соответствующее количество следует включить в объемы реализуемой продукции.

Также применяют термины **влажный** и **сухой газ**. Если газ содержит значительное количество бутана и более тяжелых углеводородов (природный газоконденсат - ПГК), его называют влажным газом. Природный газ, добытый вместе с нефтью (он же попутный газ), обычно является влажным газом. **Сухой газ** состоит в основном из метана с очень небольшим содержанием этана, пропана, и т.д. Непопутный газ, то есть извлеченный из месторождений, не связанных с добычей нефти, это обычно сухой газ.

Для облегчения транспортировки на большие расстояния природный газ может быть превращен в жидкость путем понижения его температуры до  $-160^\circ\text{C}$  при нормальном атмосферном давлении. После того, как газ сжижен, он называется **сжиженным природным газом (СПГ)**. Сжижение газа изменяет только физическое состояние природного газа, превращая его из газообразного состояния в жидкое.

**Компримированный природный газ (КПГ):** КПГ является природным газом, предназначенным для использования на специально оборудованных транспортных средствах, где он хранится в баллонах под высоким давлением. КПГ используют в основном из-за чистоты продуктов его сгорания, поскольку он создает меньше выхлопных и парниковых газов, чем автомобильные бензины или дизельное топливо. Наиболее часто его используют на маломощных пассажирских транспортных средствах и легких грузовиках, грузовиках средней грузоподъемности для местных перевозок, на междугородних и школьных автобусах.

**Сжиженные нефтяные газы (СНГ):** СНГ представляют собой легкие парафиновые углеводороды, получаемые из процессов перегонки с предприятий по стабилизации сырой нефти и переработке газа. Они состоят главным образом из пропана ( $C_3H_8$ ), бутана ( $C_4H_{10}$ ) или их смеси, но могут также включать пропилен, бутилен, изобутен и изобутилен. Для транспортировки и хранения СНГ обычно подвергаются сжижению под давлением.

**Природные газоконденсаты:** Природные газоконденсаты представляют собой жидкие или сжиженные углеводороды, извлекаемые из природного газа в сепараторах или на газоперерабатывающих предприятиях. Природные газоконденсаты включают этан, пропан, бутан (нормальный и изобутан), (изо)пентан, пентан и более тяжелые углеводороды (иногда называемые газоконденсатным (газовым) бензином или заводским конденсатом).

Природный газ может быть получен из сырой нефти (попутный газ) или из газового месторождения, не содержащего нефть. Природный газоконденсат может быть извлечен из природного газа вблизи устья скважины или перекачан на расположенный на расстоянии газоперерабатывающий завод. Там, где происходят оба процесса переработки газа и добычи нефти, общим является то, что некоторые конденсируемые фракции природного газоконденсата инжектированы в поток сырой нефти.

**Синтетический газ:** Это газ с высокой теплотворной способностью, производимый путем химического преобразования ископаемого углеводородного топлива. Он химически и физически взаимозаменяем с природным газом и обычно распределяется через сети природного газа. Основным сырьем для производства синтетического газа являются: уголь, нефть и горючие сланцы. Синтетический газ отличается от остальных синтез-газов высоким теплосодержанием (свыше  $8\,000$  ккал/м<sup>3</sup>) и высоким содержанием метана (свыше 85%). Количество топлива должно отражаться по значению высшей теплотворной способности.

**Преобразование в единицы энергии (ТДж)** должно производиться с использованием значения высшей теплотворной способности данного энергетического потока. Различные потоки газа могут иметь разную теплотворную способность, а также внутри любого потока компоненты могут иметь различные значения теплотворной способности (например, если они добыты из различных месторождений, качество газа в которых отличается, или получены из различных источников).

Что касается данных об импорте, то, как правило, применяют средневзвешенную высшую теплотворную способность. Другими словами, общая теплотворная способность импорта должна равняться сумме вычисленных значений отдельных источников. Например, страна А импортирует  $3\,000$  Мм<sup>3</sup> природного газа из Голландии и  $5\,000$  Мм<sup>3</sup> из Норвегии с теплотворными способностями  $33,3$  ТДж/м<sup>3</sup> и  $41$  ТДж/м<sup>3</sup> соответственно. Для определения средней теплотворной способности полного объема импорта вычисляется пропорциональное соотношение соответствующих объемов импорта к их теплотворным способностям, как показано в Табл. 14.

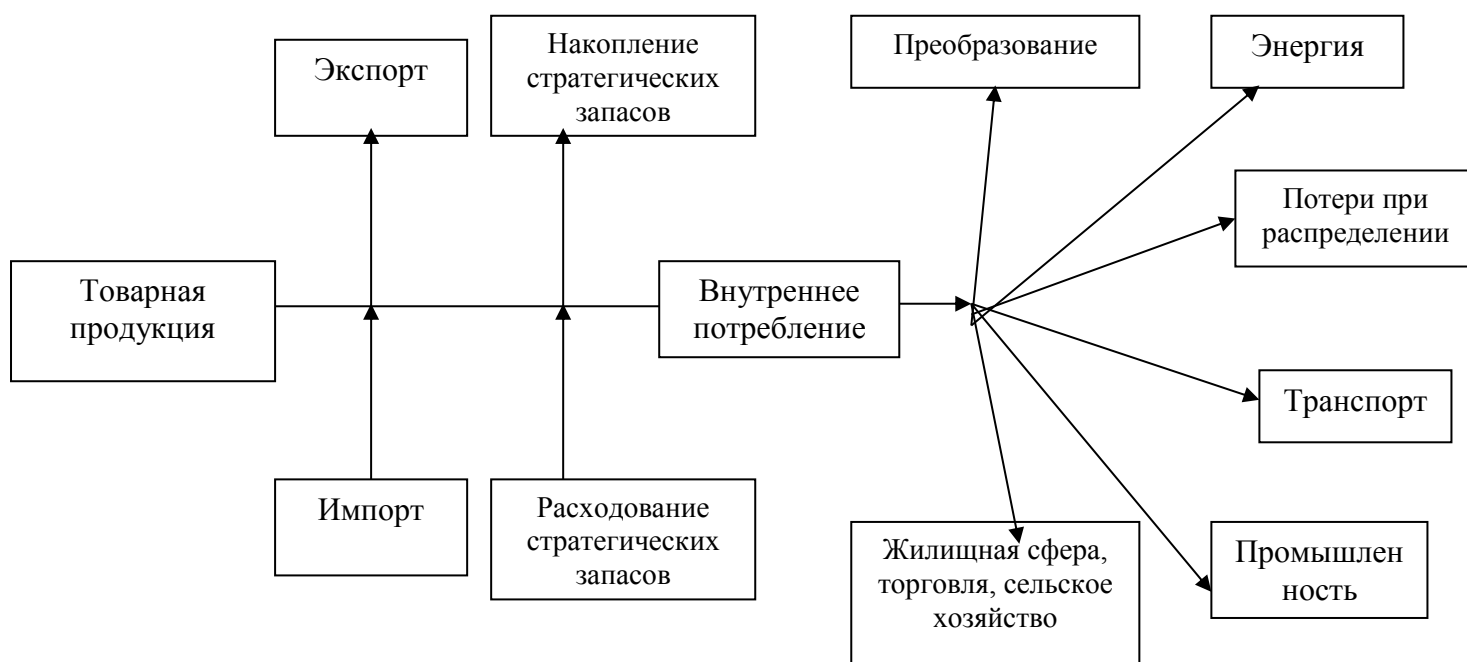
**Таблица 14. Вычисление средней теплотворной способности импорта**

Страна-поставщик	Объем импорта (Мм <sup>3</sup> )	Теплотворная способность (ТДж/Мм <sup>3</sup> )	Импорт, тераджоулей на куб. м. (Мм <sup>3</sup> x ТДж/Мм <sup>3</sup> )	Теплотворная способность (ТДж/Мм <sup>3</sup> )
Голландия	3 000	33,3	3 000 x 33,3 = 99 900	
Норвегия	5 000	41,0	5 000 x 41,0 = 205 000	
Всего	8 000		99 900 + 205 000 = 304 900	304 900 / 8 000 = 38,113

Приведенные выше вычисления показывают, что средний коэффициент пересчета для импорта страны А равен 38,113 ТДж/м<sup>3</sup>, и в вопроснике следует указывать значение теплотворной способности, равное 38 113 КДж/м<sup>3</sup>.

**Схема потоков природного газа** от производства до потребления показана на рис. 11. Эта схема потоков сознательно упрощена с тем, чтобы дать общее представление о цепочке поставок.

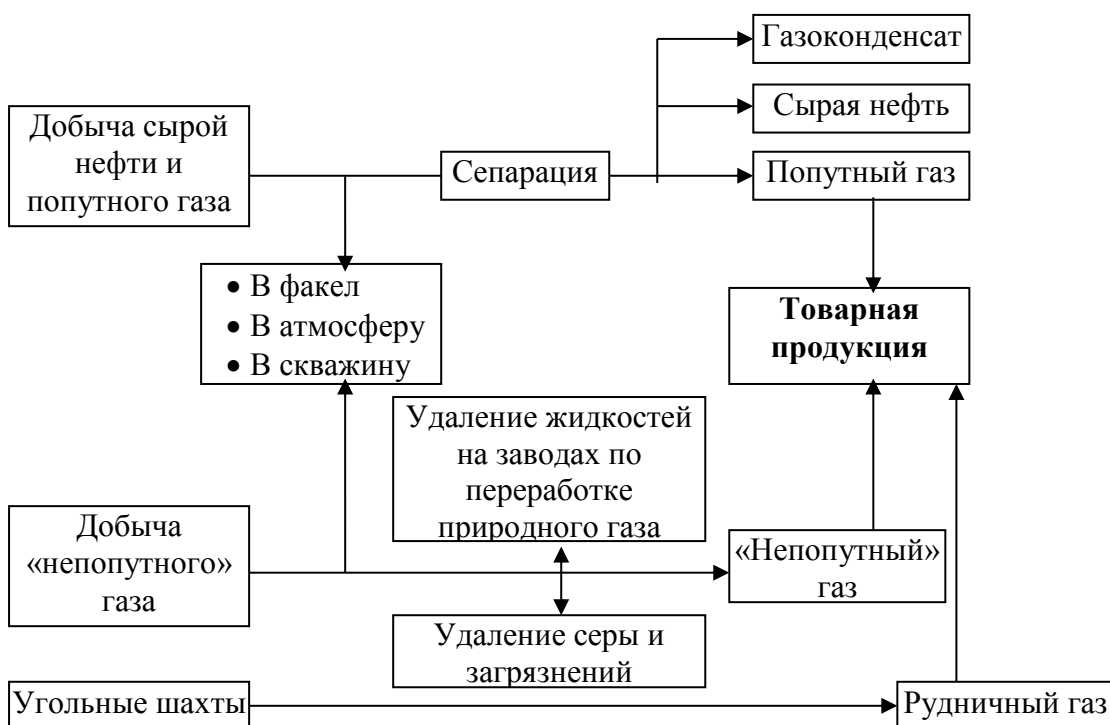
**Рис. 11. Упрощенная схема потоков природного газа**



Из схемы потоков очевидно, что не всегда просто провести статистическую грань между потоками, которые следует включить в те или иные статистические категории.

- **Попутный газ**, добываемый вместе с сырой нефтью, учитывается в статистике по природному газу.
- **Выпущенный, сожженный или повторно закачанный газ** не включают в отчетность. Однако РКИК ООН и другие организации запрашивают данные о количествах выпущенного и сожженного газа для оценки поступления загрязняющих веществ в атмосферу от деятельности, связанной с производством нефти и газа. Поэтому их следует учитывать отдельно.

Рис. 12. Упрощенная схема потоков производства природного газа



Количество газа, использованного в газовой промышленности (часто в нетоварном виде) в различных процессах сепарации и обработки газа следует включать в данные о его производстве.

**Газохранилища и запасы газа на складе** следует отличать от геологических запасов газа. В первых хранится уже добытый газ, предназначенный для использования в стратегических целях, для сглаживания сезонных или пиковых нагрузок. Термин **геологические запасы газа** относится к оцененным количествам еще не добытого газа, наличие которого и возможность его добычи из открытых нефтяных или газовых месторождений утверждается с определенной долей уверенности путем анализа данных геологической разведки.

## Нефть и нефтепродукты

**Нефть** является сложной смесью жидких углеводородов – химических соединений, содержащих водород и углерод. Она возникла естественным путем в подземных осадочных горных породах. Слово *petroleum* – нефть происходит от латинских *petra* – скала и *oleum* – масло, и часто заменяется словом «oil». Определение понятия «нефть» весьма широко и включает как первичные (неочищенные), так и вторичные (очищенные) продукты.

**Сырая нефть:** Сырая нефть является минеральным веществом природного происхождения, представляющим собой смесь углеводородов и примесей, таких как сера. При нормальной температуре и давлении нефть является жидкостью, физические характеристики которой (плотность, вязкость и т.д.) могут варьироваться в широких пределах.

Сырая нефть, а также продукты ее переработки являются наиболее ходовым товаром в мировой торговле. Вследствие этого чрезвычайно важно собирать данные о потоках нефти и нефтепродуктов как можно более полно, точно и своевременно.

Из сырой нефти производят большое количество разнообразных **нефтепродуктов**. Многие из них предназначены для использования в конкретных целях, например, автомобильный бензин или смазочные материалы; остальные – для покрытия общих потребностей в получении тепла, например, газойль или топочный мазут.

**Мазут:** Эта категория включает все виды топочного и флотского (котельного) мазутов, в том числе полученных компаундированием. Кинематическая вязкость превышает 10сСт при 80°C. Температура вспышки всегда выше 50°C, а плотность превышает 0,9 кг/л.

- С низким содержанием серы: тяжелый мазут с содержанием серы менее 1%.
- С высоким содержанием серы: тяжелый мазут с содержанием серы 1% и выше.

**Газойль/дизельное топливо (дистиллятное нефтяное топливо)**– дистиллятный продукт перегонки нефти при температурах от 180°C до 380°C. В зависимости от назначения различают несколько сортов:

**Нафта** является сырьем для нефтехимической промышленности (например, для производства этилена или ароматических соединений). Нафта включает фракции с температурой перегонки в диапазоне от 30°C до 210°C или в части этого диапазона. Нафта, импортируемая для смешивания, указывается как импорт нафты, а затем показывается в графе «*Межпродуктовая передача*» как поступление нафты с отрицательным знаком и поступление с положительным знаком для соответствующего конечного продукта.

**Нефтяной кокс** представляет собой черный твердый побочный продукт, получаемый главным образом при крекинге и карбонизации производных нефтяного сырья, гудрона, смолы и пека в таких процессах, как замедленное коксование и коксование в псевдоожиженном слое. Он состоит в основном из углерода (от 90% до 95%) и имеет низкую зольность. Нефтяной кокс используется как сырье в коксовальных печах для сталелитейной промышленности, для

обогревания, при производстве электродов и химических веществ. Двумя наиболее важными сортами являются неготовый кокс (недопал) и кальцинированный кокс. Эта категория также включает каталитический кокс, отлагающийся на катализаторах при перегонке нефтепродуктов; этот кокс является неизвлекаемым и обычно сжигается в качестве топлива при перегонке нефти.

**Битум:** Битум является твердым, полутвердым или вязким углеводородным веществом, имеющим коллоидную структуру, темно-коричневого или черного цвета, образующимся как остаток при перегонке сырой нефти, а также путем вакуумной перегонки нефтяных остатков, образующихся в процессе перегонки нефти при атмосферном давлении. Битум часто называют асфальтом и используют, в первую очередь, при строительстве дорог и в качестве кровельного материала. Эта категория включает псевдооживленный и жидкий битум.

Количество жидкого топлива можно выразить путем измерения его **массы** или **объема**, для обозначения которых в нефтяной промышленности применяют несколько единиц.

- Наиболее широко применяемой единицей **массы** (веса) для измерения количества нефти является метрическая тонна (или тонна). Например, танкеры в нефтяной промышленности характеризуются по их грузоподъемности, выраженной в тоннах. К разряду супертанкеров относятся суда грузоподъемностью свыше 320 000 т.
- Исходной величиной для измерения количества большинства жидких и газообразных видов топлива является **объем**. Объем жидкости может измеряться в литрах, баррелях или кубических метрах. Наиболее известным примером использования единицы объема в качестве единицы измерения является ее применение в обозначении цены на нефть, выражаемой в долларах США за баррель.

Поскольку количество жидкого топлива может измеряться как в единицах массы, так и объема, важно иметь возможность перевода одних единиц в другие. Для выполнения такого пересчета необходимо знать **удельную массу** или **плотность** жидкости.

Вследствие того, что сырая нефть содержит широкую гамму углеводородов от самых легких до самых тяжелых, характеристики, включая плотность, различных видов нефти могут весьма отличаться. Аналогично, плотности различных нефтепродуктов также существенно различаются.

Значение плотности может применяться для классификации нефтепродуктов, начиная с легких и заканчивая тяжелыми. Например, сжиженный нефтяной газ, имеющий плотность  $520 \text{ кг/м}^3$ , считается легким продуктом, а топочный мазут с плотностью свыше  $900 \text{ кг/м}^3$  – тяжелым продуктом.

*Следует помнить*, что многие страны и организации при публикации энергетического баланса в качестве единицы измерения используют **тонну условного топлива в пересчете на нефть** (тонна нефтяного эквивалента - ТНЭ). **Тонна нефтяного эквивалента** представляет собой условную единицу измерения, основанную на теплотворной способности топлива, и используется для сравнения нефти с другими видами энергоносителей: ее нельзя сопоставлять с тонной, являющейся единицей массы.

В нефтяной промышленности в различных регионах мира используются различные единицы измерений. Например, в Европе общепринятой единицей

измерения является метрическая тонна, тогда как в США выбрана единица объема – баррель. В Японии для измерения поставок и потребления нефти также используются единицы объема, однако стандартной единицей измерения объема является кубический метр.

Поскольку в мире используется большое количество различных единиц измерения объема и массы, то для их сравнительной оценки важно иметь возможность пересчета данных в общепринятые единицы. В нефтяной промышленности для международных расчетов в качестве справочной единицы используется главным образом **баррель (bbl)**. Для некоторых потоков, таких как производство или потребление, общепринятой единицей измерения является **баррель в день (b/d)**.

Как указано выше, для пересчета массы в объем и обратно необходимо знать удельный вес или плотность нефти. Для того, чтобы коэффициенты пересчета нефти были поняты, необходимо, без углубления в технические подробности, пояснить ряд терминов.

**Плотность** определяется как отношение массы вещества к единице его объема, т.е. тонн/баррель. **Удельный вес** представляет собой отношение массы данного вещества в единице объема (или плотности) к массе такого же объема воды. Плотность воды составляет 1 г/см<sup>3</sup>. Автомобильный бензин, например, имеет меньшую плотность, поскольку при равном объеме он намного легче. Поэтому удельный вес автомобильного бензина меньше единицы. Поскольку объем изменяется с изменением температуры, значения удельного веса указываются со ссылкой на конкретную температуру (для нефти это обычно 15°C). Более того, удельный вес часто указывается в процентах, например значение удельного веса 0,89 записывается как 89. Табл. 15.

**Таблица 15. Пересчет объема в массу**

<i>Импорт</i>	<i>Отчетные данные в баррелях в день (объем)</i>	<i>Число дней в месяце</i>	<i>Плотность масса/объем (среднее значение)</i>	<i>Коэффициент пересчета из объема в массу тонна/баррель<sup>3</sup></i>	<i>Пересчитанные данные в метрических тоннах (масса)</i>
Сырая нефть	1020	31	0,13569	1/0,13569=7,37	(1020x31)/7,37=4290
Автомобильный бензин	546	28	0,11806	1/0,11806=8,47	(546x28)/8,47=1805

Термин **плотность в градусах АНИ** (стандарт, принятый Американским нефтяным институтом) повсеместно используется для выражения удельного веса нефтепродуктов.

Плотность в градусах АНИ определяется как:  $(141,5/60^\circ \text{ удельный вес при } 60^\circ\text{F})^4 - 131,5$ .

Имеется оценочная шкала для измерения плотности, выраженной в градусах АНИ, по которой чем легче вещество, тем выше степень его плотности в градусах АНИ. Например, сорта сырой нефти, относимые к легким, обычно имеют степени более 38 градусов АНИ, тогда как сорта нефти с показателями степени менее 22 градусов АНИ, считаются тяжелыми.

<sup>3</sup> Фактически размерность коэффициента **баррелей на тонну** (примеч. пер.).

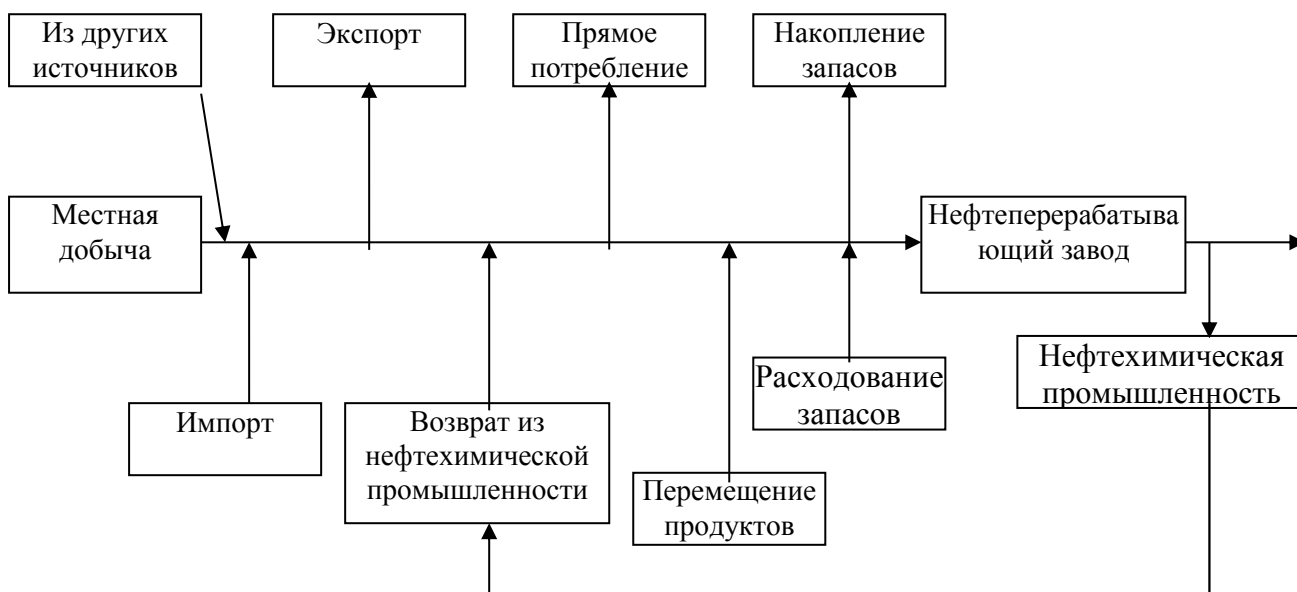
<sup>4</sup>  $\approx 15,5^\circ\text{C}$ . При переводе из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия из исходной цифры вычитают 32 и умножают на 5/9



Удельный вес и плотность в градусах АНИ связаны обратно пропорциональной зависимостью. Направление изменения показателя плотности в градусах АНИ совпадает с направлением изменения содержания энергии в единице объема, т.е. чем выше плотность в градусах АНИ, тем выше запас энергии в тонне продукта, тогда как шкала удельного веса направлена в ту же сторону, что и запас энергии в единице объема.

Схема потоков разнообразного сырья, начиная с добычи и заканчивая поставками на нефтеперерабатывающие предприятия, показана на рис. 13. Эта схема потоков упрощена, чтобы показать общий вид цепочки поставок сырой нефти, природного газоконденсата, нефтезаводского сырья и прочих поставок.

**Рис. 13. Схема поставок сырой нефти, природного газоконденсата, нефтезаводского сырья, присадок и прочих углеводородов**



Потоки, показанные на рис. 13, требуют пояснений. Термин «производство нефти» имеет два значения, в зависимости от того, относится это к первичным или вторичным продуктам. В случае первичных продуктов **Местное производство** сырой нефти и природного газоконденсата означает их добычу (извлечение) из земли. Для вторичных продуктов, **Выход продукции нефтеперерабатывающих заводов**, относится к производству готовой продукции на перерабатывающем заводе.

У скважин, расположенных на суше, удаление газов происходит в устьевой сепараторной установке. У морских скважин для этого используется сепаратор, расположенный на платформе. Метан является основным компонентом природного газа, а остальные газы образуют составляющие элементы **природного газоконденсата** (ПГК). Однако природные газоконденсаты могут также добываться совместно с природным газом.

Для того, чтобы баланс поставок был полным, необходимо включить в данные по производству нефти поставки других продуктов, таких как присадки, оксигенаты и прочие углеводороды. Присадки и оксигенаты представляют собой вещества (обычно не являющиеся углеводородами), которые добавляют в топлива для улучшения их свойств. Например, оксигенаты увеличивают содержание кислорода в автомобильном бензине.

## Уголь и продукты его переработки

Категория твердых видов ископаемого топлива и синтез-газов охватывает различные типы углей и получаемых из них продуктов. По договоренности, большинство организаций, связанных с энергетической статистикой, предпочитает включать данные по твердым видам возобновляемого топлива, таким как дрова и древесный уголь в отчетность по возобновляемым источникам энергии.

**Первичный уголь** является ископаемым топливом. Он состоит из обугленного растительного вещества и внешне выглядит как камень черного или коричневого цвета. Чем выше содержание углерода в угле, тем выше сортность или качество. Типы углей различаются по их физическим и химическим характеристикам. Эти характеристики определяют цену угля и возможность его применения для различных целей. Все первичные угольные продукты, рассмотренные в данной главе, являются твердыми видами топлива. В эту главу включен также торф, являющийся еще одним видом первичного топлива, тесно связанным с углем.

**Производные виды топлива** включают как твердые виды топлива, так и газы, получаемые при переработке и преобразовании углей.

Существуют три основные категории углей: каменный уголь, полубитуминозный уголь (уголь средней степени метаморфизма) и бурый уголь (называемый также лигнитом). Каменным углем считается уголь, имеющий **высшую теплотворную способность** (ВТС) более 23 865 кДж/кг. Он включает две подкатегории: коксующийся уголь (используемый в доменных печах) и другие битуминозные угли и антрацит, используемые для отопления и производства пара (поэтому угли этой подкатегории называются паровичными или энергетическими). Лигнит, или бурый уголь, считается неагломерированным углем, имеющим ВТС менее 17 435 кДж/кг.

Вторичные или производные продукты включают каменноугольные брикеты и брикетированные топлива (брикеты буроугольные и торфобрикеты), газовый и печной кокс, заводской газ и коксовый газ, доменный газ и кислородно-конвертерный газ, табл. 16.

**Каменноугольные брикеты:** Композитное топливо, производимое из мелочи каменного угля путем формования с добавлением вяжущих веществ. Следует иметь в виду, что количество произведенного брикетного топлива может быть несколько большим, чем количество угля, потребленного в процессе преобразования, вследствие добавления вяжущих веществ.

**Коксовый газ:** Образуется как сопутствующий продукт в процессах карбонизации и газификации твердых видов топлива, проводимых на коксовых предприятиях и предприятиях черной металлургии, которые не связаны с заводами по производству заводского газа и газа, используемого для муниципальных нужд. Количество топлива должно приводиться по значению высшей теплотворной способности.

**Газовый кокс:** Побочный продукт переработки каменного угля для получения городского газа на газовых заводах. Газовый кокс используется для получения тепла.

**Лигнит/бурый уголь:** Неагломерированные угли с высшей теплотворной способностью менее 17 435 кДж/кг (4 165 ккал/кг) и содержанием летучих веществ

свыше 31% на сухой безминеральной основе. В этой категории должны учитываться добываемые и сжигаемые непосредственно горючие сланцы и битуминозные пески. Горючие сланцы и битуминозные пески, используемые как сырье для прочих процессов преобразования, также должны учитываться в этой категории. Она включает ту часть горючих сланцев и битуминозных песков, которые расходуются в процессах преобразования.

**Таблица 16. Первичные угли и производные продукты переработки угля**

Первичные угли	Коксующийся уголь	Твердые виды ископаемого топлива
	Прочие битуминозные угли и антрацит	
	Полубитуминозный уголь	
	Лигнит/бурый уголь	
	Торф	
Производные виды топлива	Каменноугольные брикеты	
	Доменный кокс	
	Газовый кокс	
	Брикетированное топливо	
	Заводской газ	
	Коксовый газ	
	Доменный газ	
	Кислородно-конвертерный газ	

**Доменный газ:** Получается как побочный продукт при работе доменной печи; он отбирается на выходе из домны и используется частично на предприятии, а частично - в других процессах сталелитейного производства или на энергоустановках, оборудованных для его сжигания. Количество топлива должно указываться по значению высшей теплотворной способности.

**Доменный кокс:** Этот твердый продукт получают карбонизацией угля, в основном коксующегося угля, при высокой температуре. Он имеет низкое влагосодержание и включает незначительное количество летучих веществ. Доменный кокс используется в основном в черной металлургии в качестве источника энергии и как химический реагент. В эту категорию входят коксовая мелочь и литейный кокс. Сюда же следует включить полукокс – твердый продукт, получаемый карбонизацией угля при низкой температуре. Полукокс используется как бытовое топливо или потребляется коксохимическим предприятием для собственных нужд. Эта рубрика включает также кокс, коксовую мелочь и полукокс, получаемые из лигнита/бурого угля.

**Заводской газ:** Сюда входят все типы газов, включая синтетический газ, вырабатываемые на коммунальных или частных предприятиях, основным видом деятельности которых является производство, транспортировка и распределение газа.

Вследствие того, что существует несколько различных классификаций углей, часто возникает путаница с классификацией первичных углей, в особенности при классификации лигнита/бурого угля и полубитуминозного угля. Если говорить о содержании энергии, то полубитуминозный уголь представляет собой категорию, перекрывающую границу между каменным и бурым углем.

Неагломерированные угли с высоким содержанием летучих веществ, которые по энергетическому содержанию попадают в диапазон 17 435 кДж/кг (4 165 ккал/кг) до 23 865 кДж/кг (5700 ккал/кг), следует отображать как полубитуминозные, даже если эта классификация отличается от национального стандарта. Международные агентства, собирающие статистические данные, далее разделяют полубитуминозные угли на категории «каменный уголь» и «лигнит/бурый уголь». Обычно полубитуминозные угли с энергетическим содержанием выше 18 600 кДж/кг (4 400 ккал/кг) считаются каменными углями, а имеющие более низкое энергосодержание – лигнитом/бурым углем.

В технических отчетах данные по углю могут указываться в **тоннах условного топлива в угольном эквиваленте** (тонна угольного эквивалента – т.у.т.). Тонна угольного эквивалента является единицей не массы, а энергии, которая более широко используется при международных расчетах в угольной промышленности для сравнения различных видов топлива. Тонна угольного эквивалента определяется в 7 миллионов килокалорий. Одна тонна нефтяного эквивалента равна 0,7 тонны угольного эквивалента.

**Синтез-газы** могут измеряться в различных единицах: либо по содержанию энергии (соотносимой с теплотой), либо в единицах объема.

Значение низшей теплотворной способности газов может быть рассчитано по значению высшей теплотворной способности с использованием следующих соотношений, табл. 17.

**Таблица 17. Соотношение между высшей и низшей теплотворной способностью**

Газ	Отношение ВТС/НТС
Заводской газ	0,9
Коксовый газ	0,9
Доменный газ	1,0
Кислородно-конвертерный газ	1,0

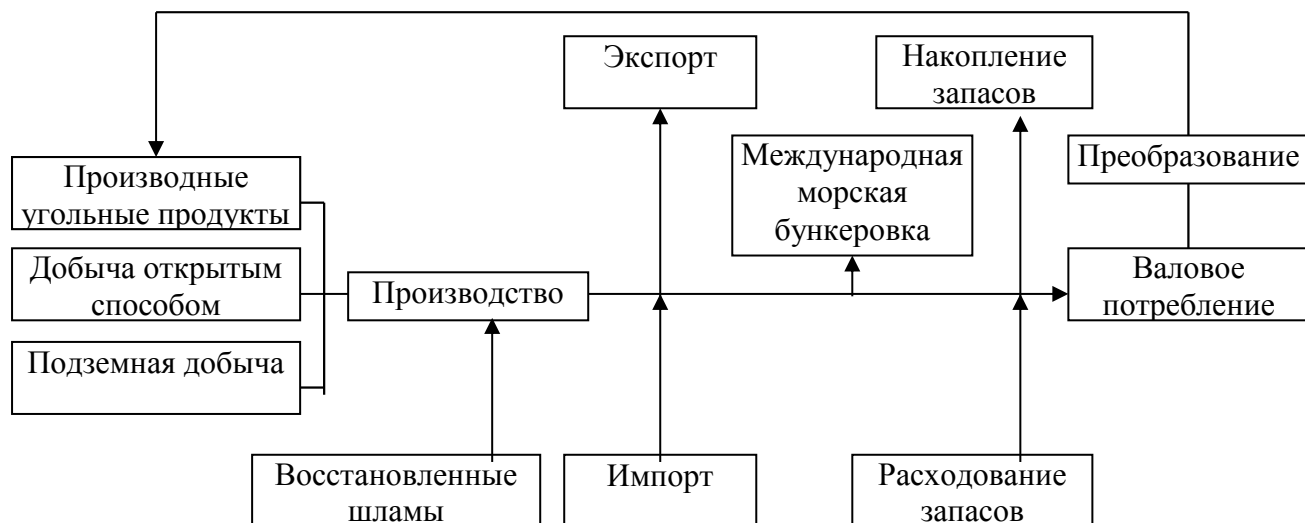
Диаграмма потоков от производства до потребления показана на рис. 14. Эта диаграмма намеренно упрощена, чтобы показать общий вид цепи поставок.

Производство, торговля, запасы, энергетический сектор, преобразование и конечное потребление – это основные элементы, которые необходимо знать, чтобы иметь всестороннее представление о потоках твердых видов ископаемого топлива и синтез-газов в стране, рис. 14.

Наибольшая доля добычи первичных углей приходится либо на **подземные шахты**, либо на **открытые карьерные разработки**. Некоторая их часть может также поступать в виде углей, восстановленных из отвалов добывающих предприятий, шламовых отстойников обогатительных комбинатов и прочих источников, возникших при традиционных технологиях горнодобывающей промышленности в предыдущие годы.

Соответственно, первичное производство углей обычно подразделяется на три подкатегории: шахтные разработки (подземная добыча), карьерные (открытые) разработки и восстановление. Эта последняя подкатегория включает восстановленные шламы, бедные породы и другие низкосортные угольные продукты, которые не могут быть классифицированы в соответствии с типами углей. Эти продукты включают также уголь, восстановленный из терриконов и отвалов, которые не были включены в объемы производства в предыдущие годы.

Рис. 14. Упрощенная схема потоков углей



Производство торфа должно включать только ту часть, которая предназначена для использования в виде топлива. Количества, использованные для других целей, исключены из энергетической статистики.

## Возобновляемые источники энергии и отходы

В технической литературе можно найти множество определений возобновляемых источников энергии, включая следующее: **возобновляемая энергия** представляет собой энергию, получаемую из природных процессов, которые постоянно восстанавливаются. Хотя это определение и ставит некоторые вопросы, связанные, например, с промежутком времени, необходимым для восстановления, но именно оно будет использоваться как основное в данной главе.

Существует несколько форм возобновляемой энергии, извлекаемой прямо или косвенно из солнца или тепла недр земли. Эти формы включают энергию, вырабатываемую из таких источников, как солнце, ветер, биомасса, а также геотермальные, гидроэнергетические и океанские ресурсы, твердая биомасса, биогаз и жидкие виды биотоплива.

**Отходы** представляют собой топливо, состоящее из множества материалов, образующихся из горючих отходов, поступающих от промышленных предприятий, организаций, лечебных учреждений и домашних хозяйств. Эти материалы включают резину, пластики, отходы ископаемой нефти и другие подобные продукты. Отходы могут быть твердыми либо жидкими, возобновляемыми или не возобновляемыми, подверженными либо не подверженными биологическому разложению.

**Твердая биомасса** (в основном древесина, используемая для приготовления пищи в развивающихся странах) до сих пор является наиболее значительным источником возобновляемой энергии, составляющей более 10% объема общемировых поставок первичной энергии (ОППЭ) или  $\frac{3}{4}$  глобального объема поставок возобновляемой энергии.

**Древесным топливом** обычно считают круглый лесоматериал, распиливаемый на чурбаны, которые перед употреблением обычно раскалывают на поленья. Другие виды древесного топлива рассмотрены ниже в отдельности и включают щепу, опилки и гранулированную древесину.

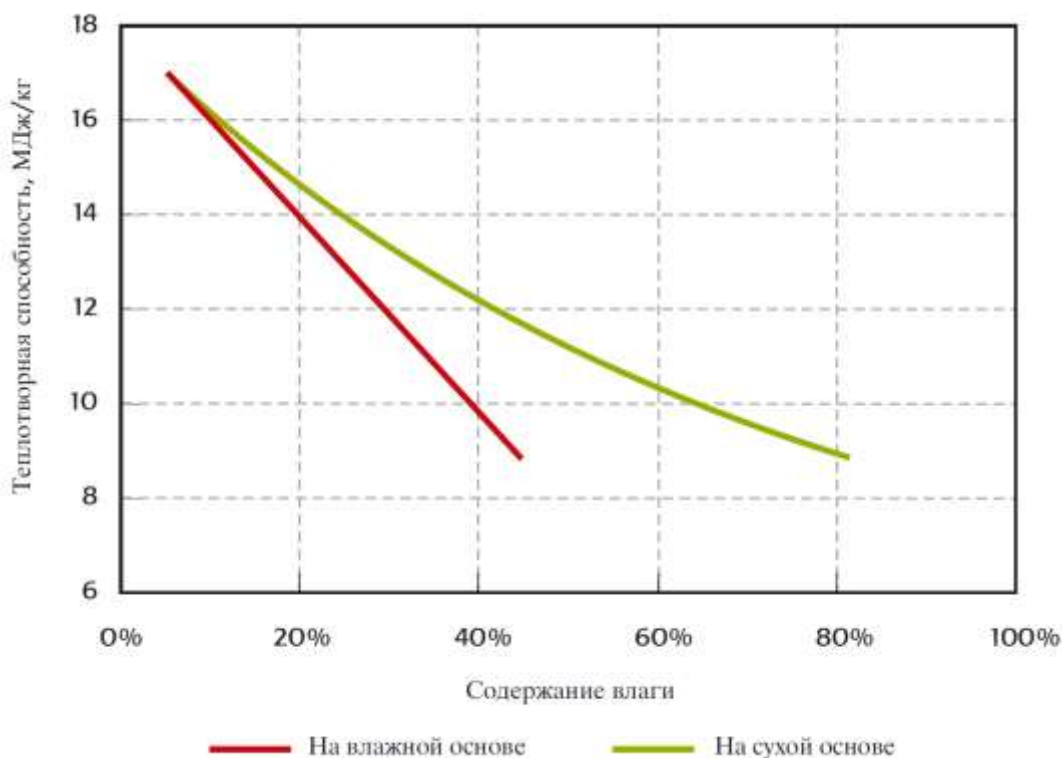
Любая древесина содержит около 50% углерода, 44% кислорода и 6% водорода при измерении в сухом беззольном состоянии. Древесина содержит обычно 1% золы и это значение не зависит от породы дерева. Таким образом, поскольку именно наличие в древесине углерода и водорода определяет присущую ей теплотворную способность, то один килограмм сухой древесины любого вида выделяет при сжигании приблизительно одинаковое количество тепла.

Значение теплосодержания или теплотворной способности древесины выражается тремя наиболее известными способами в расчете на:

- а) килограмм древесины;
- б) плотный кубический метр;
- в) складочный кубический метр (стер).

Показатель а) является основной мерой, в то время как показатели б) и в) связаны с показателем а) через плотность древесины и плотность штабелирования, рис. 15.

Рис. 15. Теплотворная способность древесины



Присутствие влаги в древесине оказывает двойное влияние на теплотворную способность. При увеличении влажности и сохранении постоянной массы, равной 1 кг, уменьшается количество наличных древесных волокон и, следовательно, источника тепла. Кроме того, вода забирает на себя и уносит из огня тепло, уменьшая количество полезного тепла. Таким образом, на теплотворную способность оказывает влияние содержание влаги.

Зеленая свежесрубленная древесина имеет теплотворную способность около 8,2 МДж/кг, тогда как древесина, высушенная на воздухе (с содержанием влаги от 10 до 20%), имеет теплотворную способность около 16 МДж/кг. Абсолютно сухая древесина (древесина печной сушки) обладает теплотворной способностью около 18 МДж/кг.

Существует два способа для выражения содержания влаги, причем оба способа обычно выражают ее в процентах:

- Содержание влаги, сухая основа = значение влажного веса минус значение сухого веса, поделенное на значение сухого веса;
- Содержание влаги, влажная основа = значение влажного веса минус значение сухого веса, поделенное на значение влажного веса.

При содержании влаги выше 15% отличия между двумя основами измерений становятся существенными. Поэтому при выборе теплотворной способности для древесины важно знать не только содержание влаги, но и основу, а которой она выражена.

Когда теплотворная способность вычисляется в расчете на плотный кубометр или на стер, то должна быть указана также плотность древесины и содержание влаги.

**Щепа и гранулированная древесина** все шире начинают использоваться в больших котельных установках, поскольку они обеспечивают более однородные и легко управляемые условия горения. Оборудование для расщепления дерева может также использоваться для подготовки древесины к процессу газификации и распределению газифицированного топлива. Гранулированное топливо производится из опилок с добавлением лигнина как связующего вещества. В процессе производства оно имеет низкое содержание влаги ( $\approx 10\%$ ). Содержание влаги и теплотворная способность щепы и гранулированной древесины обычно указываются поставщиком.

**Отходы древесины** могут образовываться во многих процессах в промышленности и в торговле. Но они редко предлагаются на продажу, а чаще используются на месте. Отчитывающееся предприятие может установить или оценить количество использованных отходов или установить количество выработанной при их сжигании тепловой энергии. Особым случаем древесных отходов является производство и использование черного щелочного раствора.

**Отходы в виде остатков зерновых культур** также являются важным источником топлива и могут использоваться в специально разработанных установках, как, например, бойлеры, в которых сжигается солома.

**Биогаз:** Газ, состоящий в основном из метана и двуокиси углерода, которые образуются в результате гниения биомассы, включая:

- Газ из органических отходов, образующийся в результате гниения мусора;
- Газ, образующийся в результате анаэробного сбраживания осадков сточных вод;
- Прочие биогазы, такие как биогазы, получаемые анаэробным сбраживанием навозной жижи животных, а также отходов скотобоен, пивоварен и других предприятий сельскохозяйственного производства.

**Биотопливо:** Биотопливо включает биоэтанол, биодизельное топливо, биометанол, биодиметилловый эфир, бионефть. Жидкими видами биотоплива являются главным образом биодизельное топливо и биоэтанол (этил-трет-бутиловый эфир), которые используются как топливо для транспортных средств. Они могут быть получены из свежих или использованных растительных масел и могут смешиваться с топливом, полученным из нефти, или заменять его. Природным растительным сырьем являются масло сои, подсолнечника и маслянистые семена репса. При определенных обстоятельствах в качестве сырья для процесса могут также применяться использованные растительные масла.

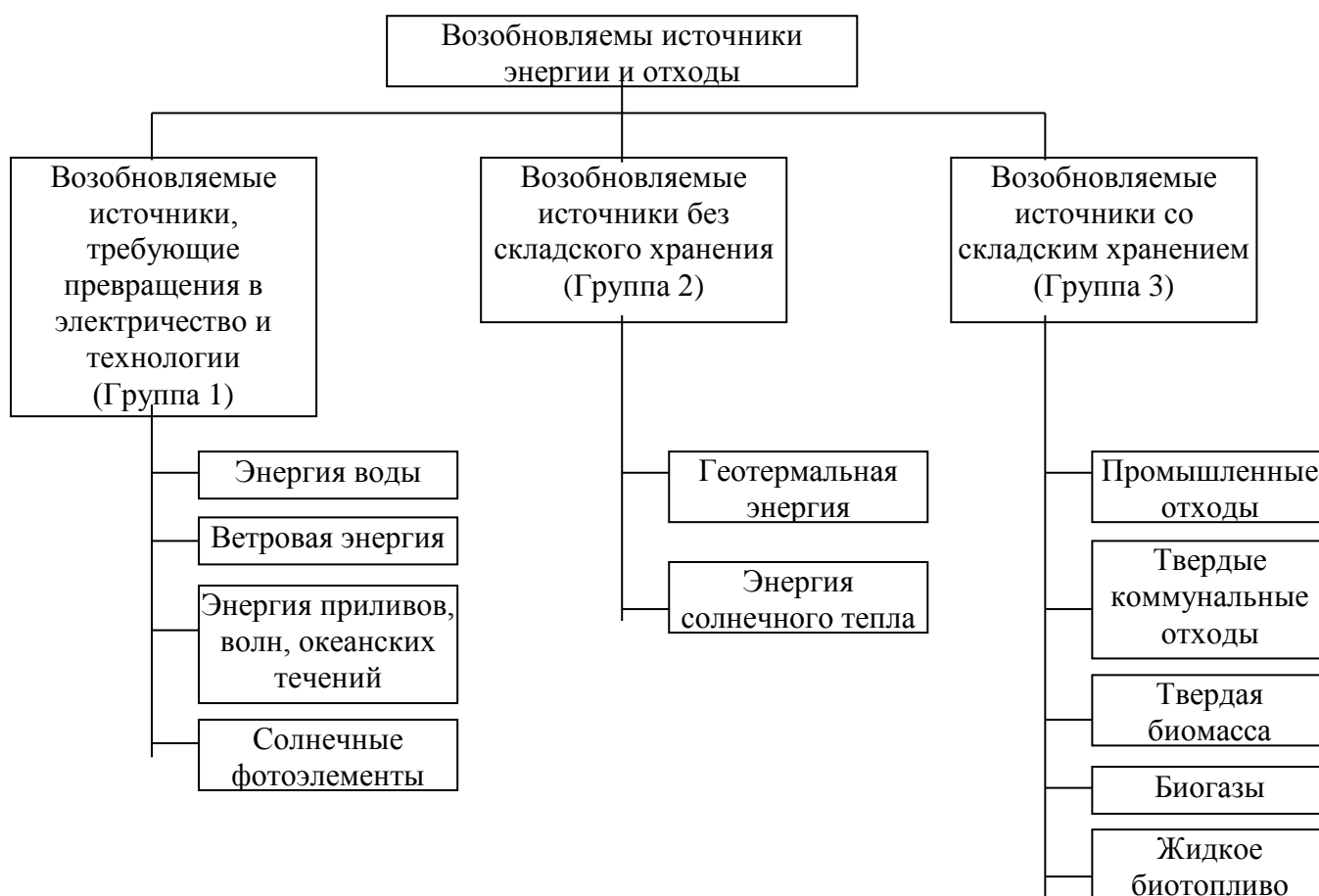
Возобновляемые источники энергии могут быть разделены на три группы, рис. 16.

- Группа I включает продукты, которые требуют преобразования в электричество для того, чтобы их утилизировать (например, энергия воды или солнечных батарей).
- Группа II включает продукты, которые произведены и затем могут поставляться для многоцелевого использования в секторах преобразования и конечного потребления (например: геотермальная энергия и энергия солнечного тепла). По своей природе эти продукты не могут храниться в общепринятом понимании, и, следовательно, по ним не собираются отчетные данные об изменении запасов на складе.



- Группа III включает продукты, которые произведены и используются для различных целей в секторах преобразования и конечного потребления (например: отходы, дрова, биогазы и жидкие виды биотоплива). Поскольку по своей природе эти продукты могут храниться в общепринятом понимании, то по ним могут собираться данные об изменении запасов на складе.

**Рис. 16. Классификация возобновляемых источников энергии и отходов по трем группам**



Особое внимание следует уделить следующим ресурсам: **твердые коммунальные отходы** и **пассивная солнечная энергия**. Они должны трактоваться в вопроснике так, как указано ниже.

**Твердые коммунальные отходы (ТКО).** В определении твердых коммунальных отходов присутствует некоторое противоречие. Оно является результатом того, что отходы собираются из домашних хозяйств, коммерческих организаций, медицинских и других учреждений и содержат компоненты как подверженные, так и неподверженные биологическому разложению.

Определения возобновляемых источников по версии Международного энергетического агентства (МЭА) и Европейского союза исключают биологически не разлагаемые коммунальные твердые отходы. Однако некоторые страны-члены этих организаций считают все ТКО возобновляемыми ресурсами. В других странах-членах проводятся исследования, имеющие цель определить, какие фракции ТКО считать возобновляемыми ресурсами. Наконец ожидается, что

дальнейшая реализация программ утилизации отходов, разделение отходов в пунктах сжигания и другие технологии уменьшат долю биологически не разлагаемых ТКО.

**Данные о древесине и прочих видах твердого топлива**, получаемых из растительного сырья, могут отображаться множеством различных способов в зависимости от вида топлива, способа его использования и страны, где оно используется. Могут применяться весьма расплывчатые единицы измерений, такие как вязанка дров, или более точные, если величина связана с единицами массы или объема, например, корд<sup>(1)</sup>, кубический метр или тонна.

Однако для того, чтобы этими данными можно было пользоваться для сравнения с другими видами топлива, их необходимо выразить в единицах энергии. Эта операция не всегда проста, поскольку ряд факторов, таких как плотность и содержание влаги (например, для древесины) оказывают существенное влияние на используемые коэффициенты пересчета.

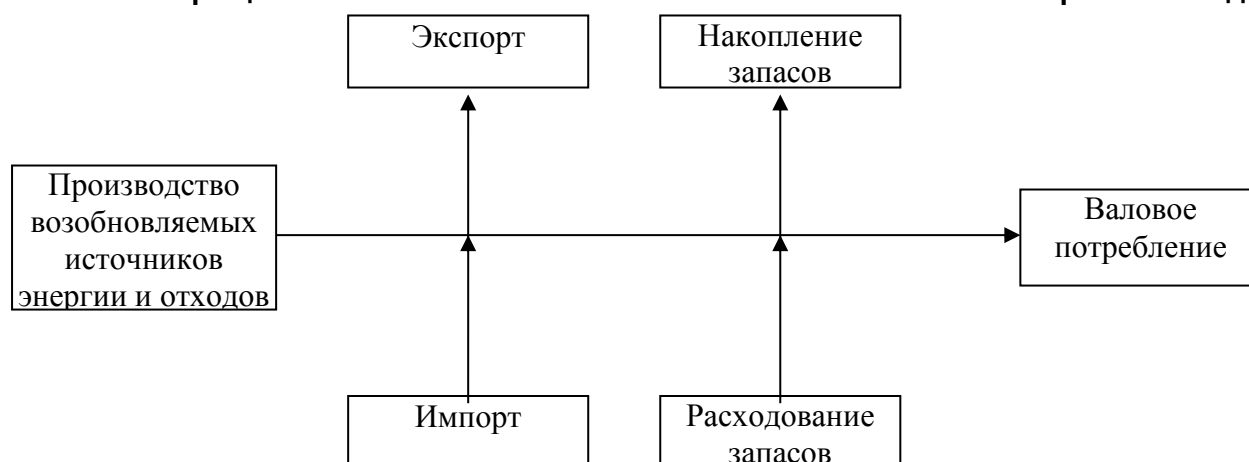
Тот же подход применяется в отношении газообразных видов топлива, которые обычно отражаются в единицах объема, таких как кубические метры или кубические футы. В этом случае для вычисления полной энергоемкости значение объема следует умножить на показатель удельной энергии (содержание энергии в единице объема).

Возможно также, что объем жидкого биотоплива будет приведен в литрах, килограммах или баррелях. В этом случае для вычисления общей массы продукта объем биотоплива следует умножить на показатель плотности (содержание массы в единице объема).

Полная энергоемкость топлива, указанная в тераджоулях, должна быть подсчитана с использованием значения **низшей теплотворной способности** соответствующего вида топлива.

Упрощенная схема потоков для трех групп возобновляемых источников энергии и отходов, начиная с производства и до потребления, показана на рис. 17.

**Рис. 17. Упрощенная схема потоков возобновляемых источников энергии и отходов**

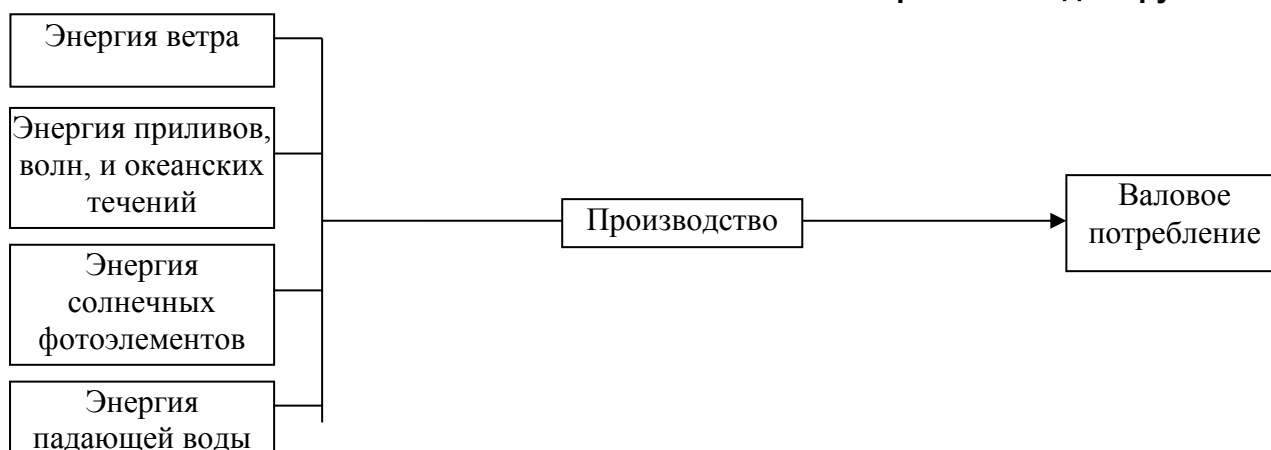


<sup>(1)</sup> корд (мера дров = 128 куб. футов), 1 фут = 0,3048 м.

Вследствие различной природы возобновляемых источников энергии и отходов, потоки продуктов, начиная с производства и до потребления, несколько отличаются друг от друга. Например, энергия ветра или солнечных элементов используется исключительно для производства электроэнергии, геотермальная и солнечная тепловая энергия не могут храниться на складе, тогда как твердые жидкие и газообразные вещества могут храниться на складе.

Как подчеркнуто в определении возобновляемых источников энергии и отходов, для использования некоторые энергетические продукты (энергия падающей воды, энергия солнечных элементов) необходимо преобразовать в электрическую энергию. Как следствие, производство энергии из этих продуктов, отнесенных выше к Группе I, ограничено в настоящее время исключительно производством электроэнергии, рис. 18.

**Рис. 18. Схема потоков возобновляемых источников энергии и отходов группы I**



Вследствие многообразия продуктов, производство энергии из возобновляемых источников и отходов весьма разнообразно. Продукты, отнесенные к вышеупомянутым Группам II и III, производятся из возобновляемых источников энергии и отходов по различным технологиям и могут использоваться для выработки электрической и тепловой энергии или потребляться непосредственно для иных энергетических целей, рис. 19.

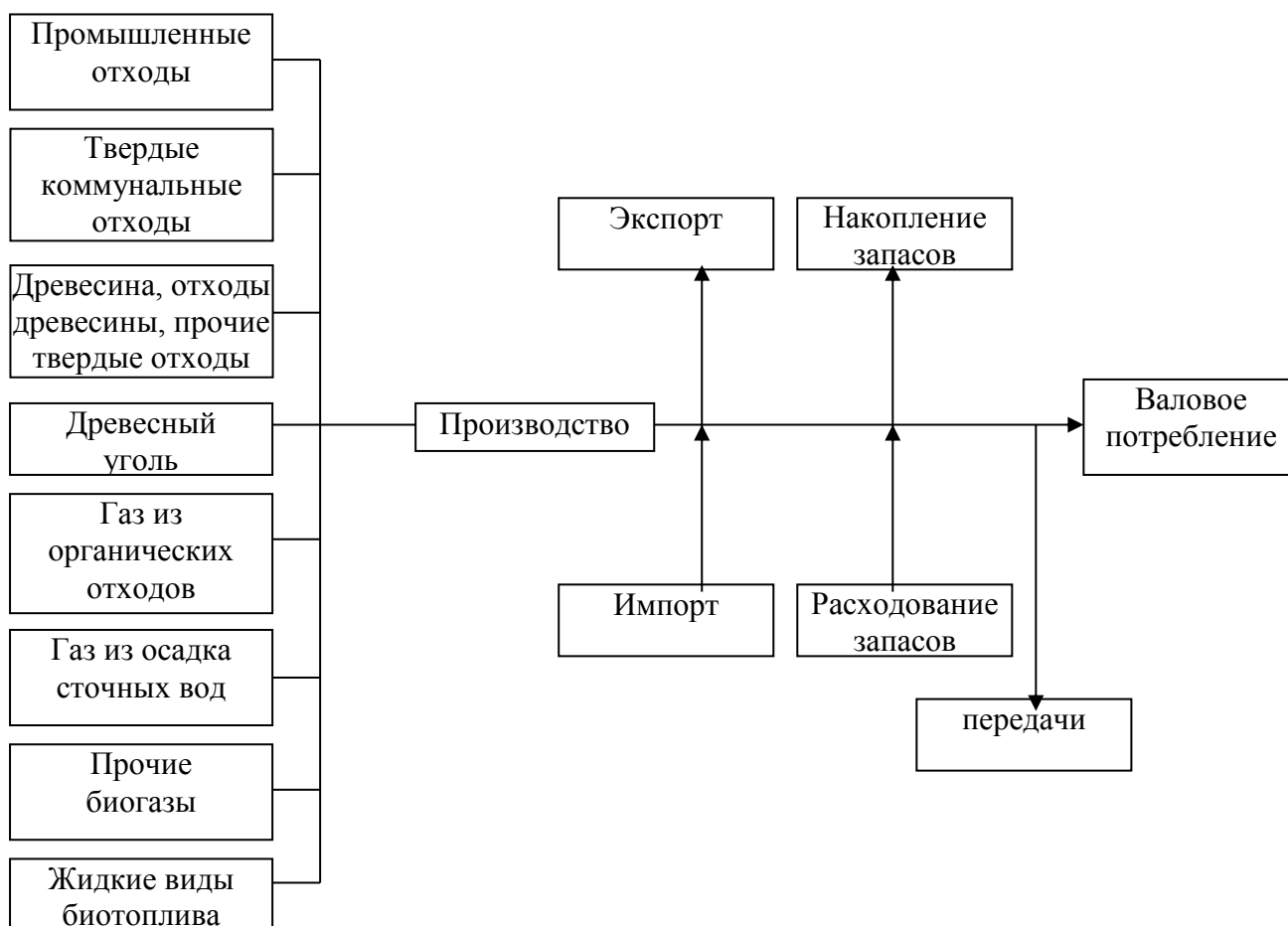
**Рис. 19. Схема потоков возобновляемых источников энергии и отходов группы II**



Производство продуктов Группы II основано на использовании тепловой энергии, идущей из недр земли, или солнечного излучения. В производстве, основанном на использовании геотермальной энергии, применяется технология извлечения энергии из пара или горячей воды. При производстве, использующем солнечную тепловую энергию, применяются солнечные коллекторы для нагрева

теплоносителя, а затем это тепло расходуется на другие энергетические цели, рис. 20.

**Рис. 20. Схема потоков возобновляемых источников энергии и отходов группы III**



Производство продуктов группы III включает в себя извлечение биологически разлагаемых и не разлагаемых материалов из потока промышленных или коммунальных отходов, производство материалов, состоящих из первичной биомассы или преобразование первичных биологически разлагаемых материалов (таких как древесная масса, осадок сточных вод, мусор) во вторичные энергетические продукты. Например, дрова можно сжечь в паровой энергетической установке для производства электрической и тепловой энергии, преобразовать в древесный уголь или использовать для приготовления пищи в каменной печи.

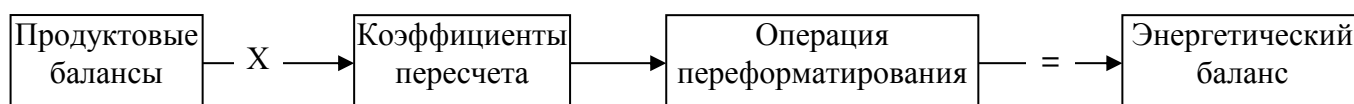
# Топливо-энергетический баланс

## Потоки топлива – основа энергетического баланса

Потоки топлива в натуральных единицах - от поставки до потребления энергетических продуктов принято сводить в единый энергетический баланс в определенном формате. Энергетический баланс является базовым элементом для расчета показателей потребления энергии (например, потребление на душу населения или на единицу валового внутреннего продукта) и эффективности ее использования. По поставкам основных продуктов, таким, как природный газ или электроэнергия точность данных (расхождение статистической информации) должно быть на уровне, не превышающем 1%. С другой стороны, для менее значимых продуктов, например, для коксового газа, ошибка в 10% может считаться допустимой.

Пересчет продуктовых балансов в энергетический баланс схематически показано на рис. 21.

**Рис. 21. Разработка энергетического баланса**



Первым шагом является пересчет в продуктовых балансах значений, выраженных в натуральных единицах, в единицы энергии путем умножения на соответствующий коэффициент пересчета для каждого значения, выраженного в натуральных единицах. Ведущие международные энергетические организации, такие как Международное энергетическое агентство (МЭА) и Евростат (Европейское энергетическое агентство), используют для своих балансов в качестве единицы энергии тонну нефтяного эквивалента. Во многих странах в национальном энергетическом балансе в качестве единицы измерения используется тераджоуль или т.у.т.

Операция переформатирования состоит в расположении пересчитанных продуктовых балансов один рядом с другим, переносе определенных строк и применении правила изменения знаков в секторе преобразования. Имеются различные пути, согласно которым организация может представить свои энергетические балансы в зависимости от правил и предпочтений.

**Отличия между энергетическими балансами Европейского статистического агентства и Международного энергетического агентства.** Основное отличие состоит в отображении производства первичных и вторичных видов топлива. Формат Евростата отражает в строке «производство» продуктовых балансов только первичное (или местное) производство, а производство вторичных энергоносителей внесено в раздел баланса «Выпуск сектора преобразования». При таком подходе нет необходимости в переформатировании балансов. Другими словами, энергетический баланс Евростата идентичен по внешнему виду продуктовому балансу, но выражен в единицах энергии.

С другой стороны, баланс МЭА содержит данные о производстве как первичных, так и вторичных энергоносителей, отображенных в строке

«производство» продуктовых балансов. Преимуществом такого подхода является идентичное представление всех продуктов, при этом пользователю нет необходимости знать, что информация о производстве размещена в двух местах. Недостатком такого подхода является необходимость переформатирования продуктовых балансов для подготовки энергетического баланса.

**Установление энергетического значения производства первичной энергии.** Ключевой момент, когда производство первичной энергии подвергается измерению для целей статистического учета и как этот процесс определяет форму первичной энергии для отражения в энергетических счетах. Например, в качестве формы первичной энергии используется валовое производство электроэнергии гидроэлектростанцией, а не кинетическая энергия падающей воды. И хотя ничего не говорится о том, как рассчитывается количество энергии, относимой к первичной энергии, то в данном случае представляется естественным принять количество выработанной электроэнергии в качестве критерия измерения.

**Метод частичного замещения.** На начальном этапе становления методики составления энергетического баланса для оценки производства первичной энергии использовался метод частичного замещения. При этом методе для производства электроэнергии устанавливалось значение энергетической ценности, равное гипотетическому количеству топлива, которое требуется для выработки такого же количества электроэнергии на тепловых электростанциях с использованием горючего топлива.

Преимуществом этого метода являлось сокращение разброса величины общего объема национальных поставок энергии в зависимости от изменений объема производства первичной электроэнергии в тех странах, где ее существенная часть производилась путем сжигания топлива. Например, в засушливые годы производство электроэнергии на гидроэлектростанциях падает, что должно компенсироваться путем производства соответствующего количества электроэнергии на тепловых электростанциях, использующих произведенное или импортированное для этих целей топливо. Однако, для компенсации падения производства электроэнергии на гидроэлектростанциях необходимо потратить значительно большее количество энергии в виде топлива вследствие низкой эффективности работы тепловых электростанций (обычно значение КПД равно 36%). Этот дисбаланс был преодолен путем замещения данных по производству энергии гидроэлектростанциями энергетическим значением, которое приблизительно втрое больше ( $1/0,36$ ) запаса физической энергии.

Этот подход был отклонен, поскольку не имел большого значения для стран, в которых производство гидроэлектроэнергии являлось основным источником поставки, а также вследствие того, что фактические значения замещаемых величин было сложно определить, т.к. они зависели от предельной эффективности производства электроэнергии. Метод частичного замещения оказывал также негативное влияние на энергетический баланс, поскольку возникали потери при преобразовании, не имеющие физической основы.

**Запас физической энергии.** В настоящее время одобрен подход, который называется «Метод запаса физической энергии», согласно которому для определения объема производства используется нормальное значение физической энергии в первичной форме. Для первичной электроэнергии это является значением валовой выработки электроэнергии для данного источника.

Необходимо проявлять осторожность при определении процентного вклада различных источников в общенациональный объем производства электроэнергии.

Поскольку в балансах производства первичной электроэнергии отсутствует процесс преобразования, соответствующие процентные вклады тепловой и первичной электрической невозможно рассчитать на основании метода «поставки топлива». Вместо этого различные вклады должны рассчитываться исходя из различных объемов электроэнергии, выработанных электростанциями, сгруппированными по источникам энергии (уголь, атомная энергия, гидроэнергия и т.д.). В случае выработки электроэнергии из первичного тепла (атомная и геотермальная энергия), тепло является формой первичной энергии. Поскольку измерение потока тепла, воздействующего на турбину, может оказаться затруднительным, часто используют оценку количества поставленного тепла.

### **Применение метода запаса «физической энергии».**

**Производство тепла ядерными реакторами.** Оценка теплосодержания пара, выходящего из реактора, используется только в том случае, если фактические значения неизвестны. Страны – члены Евросоюза ежемесячно направляют в Евростат данные о выработке пара атомными станциями. В этом случае оценка не требуется. Страны, не входящие в ЕС, но являющиеся членами МЭА и Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК), обычно не имеют подобной информации, для этих стран МЭА производит вычисления объема производства первичного тепла атомными станциями, исходя из валового производства электроэнергии и используя тепловой КПД, равный 33%.

**Производство геотермального тепла.** Первичное тепло из геотермальных источников используется на геотермальных электростанциях и там, где значение поставленного станции количества тепла не измеряется. Здесь также используется аналогичный обратный расчет поставленного тепла. В этом случае, однако, используется значение теплового КПД, равное 10%. Это значение весьма приблизительное и отражает общее количество пара более низкого качества, получаемого из геотермальных источников. Следует подчеркнуть, что если данные по производству пара от геотермальных источников имеются, они должны быть использованы при определении производства геотермального тепла.

Принцип использования пара из ядерных реакторов как формы первичной энергии для целей энергетической статистики имеет важное влияние на любые показатели. В соответствии с данным правилом, первичное тепло ядерных реакторов считается местным ресурсом. Однако большинство стран, использующих атомную энергию, импортирует ядерное топливо, и если принять этот факт во внимание, он приведет к увеличению зависимости от поставок энергоносителей из других стран.

**Производство и использование электроэнергии на гидроаккумулирующих электростанциях.** Электроэнергия на гидроэлектростанциях может производиться с помощью потока воды, забираемой из специальных резервуаров, наполняемых насосными станциями из реки или озера, расположенных на более низком уровне. В гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС) электроэнергия (получаемая из национальной энергосети) используется в периоды низкого потребления (обычно ночью) для закачивания воды в резервуары, чтобы использовать ее в периоды пиковой нагрузки, когда стоимость электроэнергии выше. Электроэнергии производится

меньше, чем используется для закачивания воды в расположенный на более высоком уровне резервуар. Однако процедура является экономически выгодной, если средства, сэкономленные за счет отказа от использования менее эффективных тепловых электростанций, превосходят стоимость производства такого же количества электроэнергии на ГАЭС.

В случае если электроэнергия, необходимая для закачивания воды, вырабатывается с использованием топлива, отраженного в балансе как местное производство или импорт, то любое включение электроэнергии, произведенной ГАЭС, в количество электроэнергии, выработанное с использованием естественного течения реки, приведет к двойному счету величины энергии, произведенной ГАЭС, в «Валовом потреблении внутри страны» (Евростат) или в «Общей поставке первичной энергии» (МЭА). Следовательно, в энергетическом балансе производство электроэнергии на ГАЭС должно исключаться из объема электроэнергии, производимого на гидроэлектростанциях.

При работе насосов энергия теряется, таким образом, разница между количеством электроэнергии, использованной для закачивания, и количеством электроэнергии, произведенной на ГАЭС, включается в «Потребление в энергетической отрасли» (Евростат) в колонке «Электрическая энергия».

**Производство тепла с помощью тепловых насосов.** Энергия, содержащаяся в выходящем из теплового насоса потоке тепла, является суммой тепловой энергии, отобранной от более холодного источника, и электроэнергии, необходимой для работы насоса. Величина отобранной тепловой энергии может быть оценена путем вычитания величины использованной электроэнергии из величины полной выходящей энергии. Отобранная тепловая энергия считается «новой» теплотой и включается в местное производство тепла. Электроэнергия, использованная для привода насоса, указывается как поставка в процесс преобразования под заголовком «Тепловые насосы». Соответствующее (преобразованное) выходящее количество теплоты (равное поставленной электроэнергии) включается в полное количество выходящей теплоты из тепловых насосов. Таким способом определяется использованная насосами энергия, а их полная выходящая энергия включается в поставки тепла.

Следует отметить, что заголовок сектора преобразования «Тепловые насосы» отсутствует в публикуемых балансах, поскольку их доля слишком мала, чтобы показывать отдельной строкой, однако потребленная электроэнергия и произведенное тепло учитываются в балансе МЭА в графе «Прочие преобразования».

## **Энергобаланс России**

**Концепция единого энергетического баланса.** Основой методического подхода к прогнозированию динамики эмиссии ПГ является использование модели единого топливно-энергетического баланса (ЕТЭБ). Это позволяет формировать прогноз балансов потребления топлива, электроэнергии и тепловой энергии на фоне и в среде прогноза полной энергетической картины страны.

В ЕТЭБ в явном виде отражены параметры эффективности использования энергии при производстве наиболее энергоемких продуктов и услуг и преобразовании энергоносителей, что позволяет в явном виде учитывать



эффекты изменения технологической политики на формирование ЕТЭБ и потребности в сжигании топлива.

Интеграция балансов производства и потребления отдельных энергоносителей позволяет:

- отразить всю полноту взаимосвязей разных систем энергоснабжения и энергопотребления, учесть меру их взаимной дополняемости и заменяемости и тем самым повысить надежность прогнозирования параметров энергопотребления в отраслях и секторах экономики с учетом наличия конкуренции различных секторах экономики за энергетические ресурсы;
- в одной таблице отразить все важнейшие энергетические связи и пропорции: роль отдельных энергоресурсов в энергетическом балансе, роль отдельных секторов в потреблении отдельных энергоресурсов;

За основу взят формат ЕТЭБ Международного энергетического агентства (МЭА)<sup>5</sup>, адаптированный к российской энергетической статистике (табл. 18).

МГЭИК считает, что оценка выбросов парниковых газов на основе энергетических балансов обеспечивает проверку на систематические ошибки<sup>6</sup>. База данных по отчетным годам и выдача прогнозных результатов организована в форме таких балансов за каждый год и в форме динамических таблиц ЕТЭБ, а также (после пересчета из условного топлива) в форме прогнозных балансов отдельных энергоресурсов и энергоносителей.

ЕТЭБ состоит из трех блоков: ресурсы, преобразование ресурсов и конечное потребление. Первый блок – ресурсы – включает производство первичных энергоресурсов, экспорт, импорт (ввоз-вывоз) и изменение в запасах. Второй блок описывает преобразование одних энергоресурсов в другие. Именно в нем определяются топливный баланс электро- и теплоэнергетики с учетом влияния параметров технического прогресса на повышение эффективности производства тепла и электроэнергии, параметры ценовой конкуренции видов топлива, масштабы суммарного потребления и производства электро- и тепловой энергии. Третий блок описывает конечное потребление энергоносителей в различных секторах и отраслях экономики.

Потребности в электрической, тепловой энергии и в топливе все время оцениваются с учетом общего изменения параметров развития экономики и эволюции энергетического баланса, что позволяет получить системную картину и качественный прогноз. Структура баланса меняется на основе изменений пропорций развития секторов и отраслей экономики, технического прогресса, изменения цен и под воздействием других факторов, которые необходимо учитывать при анализе энергетических пропорций.

В табл. 18 показаны индексы цифровых данных с указанием знаков плюс или минус соответственно (производство или потребление). Используемое в таблице обозначение НВИЭ означает новые возобновляемые источники энергии, в которые принято включать все ВИЭ, кроме крупных ГЭС (имеется определение того, что считать крупной ГЭС).

---

<sup>5</sup> OECD/IEA. Energy balances for non-OECD countries. 2003-2004. 2006 Edition. P.II.166.

<sup>6</sup> «Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. Том 2. «Энергетика», раздел 2.4.2.

Таблица 18. Матрица единого топливно-энергетического баланса

	Уголь	Сырая нефть	Нефте-продукты	Природный газ	Прочее топливо	Гидро- и НВЭИ	АЭС	Эл. энергия	Тепло	Всего
<b>Производство</b>	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17			E110
Ввоз	E21	E22	E23	E24				E28		E210
Вывоз	-E31	-E32	-E33	-E34				-E38		E310
Изменение запасов	E41	E42	E43	E44						E410
<b>Потребление первичной энергии</b>	<b>E51</b>	<b>E52</b>	<b>E53</b>	<b>E54</b>	E55	E56	E57	<b>E58</b>		<b>E510</b>
Стат. расхождение	E61	E62	E63	E64	E65			E68	E69	E610
Производство электроэнергии	-E71	-E72	-E73	-E74	-E75	-E76	-E77	E78		E710
Производство тепла	-E81	-E82	-E83	-E84	-E85	-E86	-E87	-E88	E89	E810
Преобразование топлива	-E91	-E92	E93	-E94	-E95	-E96	-E97	-E98	-E99	E910
Собственные нужды	-E101	-E102	-E103	-E104				-E108	-E109	E1010
Потери в сетях	-E111	-E112	-E113	-E114	-E115			-E118	-E119	E1110
<b>Конечное потребление энергии</b>	<b>-E121</b>	<b>-E122</b>	<b>-E123</b>	<b>-E124</b>	-E125			<b>E128</b>	<b>E129</b>	<b>E1210</b>
Сельское хозяйство, рыболовство и рыбководство	E131	E132	E133	E134	E135			E138	E139	E1310
Промышленность	E141	E142	E143	E144	E145			E148	E149	E1410
Строительство	E151	E152	E153	E154	E155			E158	E159	E1510
Транспорт	E161	E162	E163	E164	E165			E168	E169	E1610
Коммунальный сектор	E171	E172	E173	E174	E175			E178	E179	E1710
Сфера услуг	E181	E182	E183	E184	E185			E188	E189	E1810
Население	E191	E192	E193	E194	E195			E198	E199	E1910
Использование на неэнергетические цели	E201	E202	E203	E204	E205					E2010
Улавливание и хранение CO <sub>2</sub>	E211	E212	E213	E214	E215					E2110

Источник: Методика прогнозирования потребления электроэнергии по регионам России до 2015 г. с перспективой до 2020 г. Разработана ЦЭНЭФ для АПБЭ. 2007.

Такая схема систематизации энергетической информации позволяет учитывать в прогнозах эволюцию продуктовой и технологической основы производства, а это позволяет проводить как анализ ретроспективной динамики удельных технологических коэффициентов по каждому сектору, так и анализ технологических перспектив в отдельных отраслях. Избранный подход позволяет развивать модель спроса на энергоносители с использованием гипотез об интенсивности технологической и продуктовой перестройки и выявить решающие технологии, повышение энергетической эффективности в которых способно ослаблять проблему энергодефицита.

Особенности взятой за основу модели ЕТЭБ определяются особенностями российской энергетической статистики и задачами, для решения которых строится модель. В российской статистике по ограниченному перечню видов деятельности можно найти данные о потреблении 21 вида топлива, формирующие следующие группы:

- Уголь (каменный уголь; бурый уголь; сланцы; угольный концентрат; брикеты угольные; коксик и коксовая мелочь; газ горючий искусственный доменный; газ горючий искусственный коксовый; доменный кокс металлургический);
- Сырая нефть, включая газовый конденсат;
- Нефтепродукты (газ нефтеперерабатывающих предприятий сухой; газ сжиженный; бензины; керосины; дизельное топливо; мазут топочный; топливо печное бытовое; прочие нефтепродукты);
- Газ горючий природный (естественный);
- Прочие твердые топлива (торф топливный; дрова для отопления; брикеты и полубрикеты торфяные; прочее твердое топливо).

Определение этих видов топлива в целом соответствует Методике МГЭИК (см. т. 2 раздел 1.4.1.1.)<sup>7</sup>. Использование специфической для каждого вида деятельности комбинации топлив и соответствующих коэффициентов эмиссии позволяет более точно определить средневзвешенные коэффициенты для каждого вида топлива в каждом секторе его потребления.

В модели ЕТЭБ рассматриваются семь первичных энергоресурсов (уголь, сырая нефть, природный газ, прочие виды твердого топлива, гидроэнергия и НВЭИ, атомная энергия) и шесть видов вторичных энергоносителей (уголь, нефтепродукты, природный газ, прочие виды твердого топлива, электроэнергия и тепловая энергия). Используются статистические данные по производству и использованию топлива, собранные из форм отчетности Государственной службы статистики, табл. 19.

---

<sup>7</sup> Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006.

**Таблица 19. Основные формы статистической отчетности, необходимые для формирования отчетного ЕТЭБ<sup>8</sup>**

<b>Название статистической формы</b>	<b>Содержащаяся информация</b>
Формы электробаланса (сведения о производстве и распределении электрической энергии)	Основной источник для определения потребления топлива на производство электроэнергии и тепла и для определения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций и при формировании ЕТЭБ
«6-ТП» (производство электрической и тепловой энергии и использование топлива в электроэнергетике)	Используются для формирования топливного баланса электростанций и районных котельных, определения отпуска электрической и тепловой энергии
«ПЭ» (сведения о работе электростанций (электронных установок), стоящих на балансе промышленных организаций)	Данные о работе электростанций промышленных организаций
«11-ТЭР» (использование топлива, теплоэнергии и электроэнергии)	Используется для определения потребления топлива при формировании топливного баланса производства электроэнергии и тепла; станций и районных котельных; для формирования баланса потребления энергии в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, коммунально-бытовой сфере и у населения
«4-топливо» (сведения об остатках, поступлении и расходе топлива, сборе и использовании отработанных нефтепродуктов)	Используется для определения суммарных масштабов потребления разных видов топлива, изменения в его запасах, отпуска топлива населению
«1-ТЭК (нефть)» (сведения об эксплуатации нефтяных скважин)	Данные о добыче нефти и движении нефти (собственные нужды, переработка, изменение запасов и др.)
«1-натура» (сведения о производстве и отгрузке промышленной продукции)	Производство, собственное потребление и изменение запасов топлива
«22-ЖКХ» (сведения о работе предприятий ЖКХ в условиях реформы)	Содержит информацию о потреблении сетевого и сжиженного газа населением и общественными зданиями
«1-газ»	Данные о потреблении сетевого и сжиженного газа населением, мелкими потребителями и бюджетными организациями
«1-топливо» (сведения об объеме потребления топливно-энергетических ресурсов организациями, финансируемыми за счет средств федерального бюджета)	Данные об объемах потребления топливно-энергетических ресурсов организациями, финансируемыми за счет средств федерального бюджета
«1-авто-бензин» (сведения о производстве нефтепродуктов)	Данные об объемах переработки нефти и производства нефтепродуктов

<sup>8</sup> Содержание всех этих форм можно найти на интернет-сайте Федеральной службы государственной статистики <http://www.gks.ru/form/Page20.html>.

Для «прочих видов топлива» только часть их сжигания учитывается в кадастре эмиссии. Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания биомассы оцениваются и учитываются в секторе «сельское хозяйство и лесопользование/землепользование».

Выбросы от сжигания биотоплива учитываются только как информационные элементы и не включаются в секторальные или национальные итоги. Отражение их в ЕТЭБ важно по причине возможности замещения органического топлива. По «прочим видам твердого топлива» только часть, которая сжигается в целях получения энергии включается в качестве информационного элемента в сектор «Энергетика».

### **Пример единого энергетического баланса России (за 2005 г.)**

Отчетная и прогнозная информация, используемая в модели ENERGYBAL-GEM-2050 сформирована на основе концепции единого топливно-энергетического баланса. Пример оценки ЕТЭБ России за 2005 г. показан в табл. 20. Предлагаемая система прогнозирования способна выдавать взаимосвязанные прогнозы до 2050 г. по каждой ячейке этой таблицы. Таким образом, для России в модели выделено 38 секторов потребления энергии, включая производство 23 видов промышленной продукции.

На первом этапе работы были сформированы отчетные ЕТЭБ за 2000-2007 гг. на основе базовых форм статистической отчетности, перечисленных в таблице. Все ячейки ЕТЭБ имеют прямые ссылки на исходные формы статистической отчетности. С помощью такого подхода может быть установлен источник и способ расчета для каждой цифры, представленной в ЕТЭБ.

Таблица 20. Пример единого энергетического баланса России (за 2005 г.)

	Уголь	Сырая нефть	Нефте-продукты	Природ-ный газ	Гидро и НВЭИ	Атомная энергия	Прочие тв. топл.	Электро-энергия	Тепло	Всего
<b>Производство</b>	177912	672350	0	733236	21527	56300	7908	0	0	1669233
Ввоз (из-за пределов региона)	16038	3432	286	8877	0	0	0	1247		29880
Вывоз (за пределы региона)	-55916	-361790	-138853	-239685	0	0	0	-2770		-799014
Изменение запасов	1493	1368	-1142	3	0	0	-1232	0	0	490
<b>Потребление первичной энергии</b>	<b>139527</b>	<b>315360</b>	<b>-139709</b>	<b>520276</b>	<b>21527</b>	<b>56300</b>	<b>9140</b>	<b>-1523</b>	<b>0</b>	<b>920898</b>
Навязка баланса	-7206	-1762	-108166	-17845	0	0	-2464	0	-2908	-140351
<b>Электростанции: всего</b>	<b>-75303</b>	<b>-7</b>	<b>-9790</b>	<b>-194868</b>	<b>-21527</b>	<b>-56300</b>	<b>-2835</b>	<b>117229</b>	<b>89708</b>	<b>-153692</b>
<b>Электроэнергия</b>	<b>-52217</b>	<b>0</b>	<b>-5295</b>	<b>-129015</b>	<b>-21527</b>	<b>-55017</b>	<b>-1237</b>	<b>117229</b>	<b>0</b>	<b>-147078</b>
<b>Тепловая энергия</b>	<b>-44902</b>	<b>-1091</b>	<b>-17377</b>	<b>-187832</b>	<b>0</b>	<b>-1284</b>	<b>-4906</b>	<b>-2728</b>	<b>231145</b>	<b>-28975</b>
<b>Электростанции: тепло</b>	<b>-23087</b>	<b>-7</b>	<b>-4495</b>	<b>-65852</b>	<b>0</b>	<b>-1284</b>	<b>-1598</b>	<b>0</b>	<b>89708</b>	<b>-6614</b>
<b>Котельные: всего</b>	<b>-21816</b>	<b>-1084</b>	<b>-12882</b>	<b>-121980</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-3308</b>	<b>-1778</b>	<b>127586</b>	<b>-35263</b>
Промышленные котельные	-15545	-1040	-9388	-67384	0	0	-2760	-2268	80486	-16799
Прочие котельные	-4993	-44	-1967	-17131	0	0	-231	-610	19747	-5230
Котельные до 20 Гкал/час	-1277	0	-1527	-37466	0	0	-317	0	27353	-13233
<b>Тепло-утилизационные установки и котельные на электроэнергии</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-950</b>	<b>13851</b>	<b>12902</b>
<b>Преобразование топлива</b>	<b>-459</b>	<b>-305067</b>	<b>297440</b>	<b>-1674</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-328</b>	<b>-2158</b>	<b>-6981</b>	<b>-19227</b>
Переработка нефти	-148	-305067	297440	-1054	0	0	-328	-1893	-4919	-15969
Переработка газа	0	-2	0	-619	0	0	0	-99	-1956	-2677
Переработка угля	-311	0	0	0	0	0	0	-91	-106	-507
<b>Собственные нужды</b>	<b>0</b>	<b>-37</b>	<b>-14011</b>	<b>-7052</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-7996</b>	<b>-3658</b>	<b>-32754</b>
<b>Потери при распределении</b>	<b>0</b>	<b>-10296</b>	<b>0</b>	<b>-4900</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-13852</b>	<b>-33888</b>	<b>-62936</b>
<b>Конечное потребление</b>	<b>49155</b>	<b>633</b>	<b>71483</b>	<b>189803</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2670</b>	<b>88972</b>	<b>189525</b>	<b>560664</b>

<b>Промышленность</b>	<b>44402</b>	<b>310</b>	<b>7731</b>	<b>52257</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1096</b>	<b>45856</b>	<b>79925</b>	<b>231577</b>
Добыча нефти	0	110	263	3789	0	0	0	5962	1204	11330
Добыча газа	0	0	0	0	0	0	0	200	295	495
Добыча угля	68	0	14	0	0	0	0	722	691	1494
Руда железная товарная	0	0	21	0	0	0	0	1037	61	1120
Агломерат железорудный	2861	0	25	171	0	0	33	347	71	3509
Чугун	22019	0	0	5537	0	0	0	92	314	27963
Сталь мартен. и кисл.-конвект.	13	0	548	1803	0	0	54	208	143	2768
Электросталь	2	0	2	322	0	0	0	1036	82	1444
Прокат черных металлов	1870	0	65	4009	0	0	0	929	568	7440
Электроферросплавы	582	0	0	8	0	0	96	806	15	1507
Аммиак синтетический	0	0	0	428	0	0	0	258	357	1044
Удобрения	0	0	41	458	0	0	0	545	2028	3073
Каучук синтетический	0	0	283	458	0	0	0	388	2994	4122
Целлюлоза	0	0	77	0	0	0	1	449	3092	3620
Бумага	0	0	0	6	0	0	0	547	1140	1693
Картон	2	0	0	4	0	0	0	237	848	1091
Цемент и клинкер	674	0	81	6612	0	0	0	837	33	8237
Прочие	14429	130	6598	28311	0	0	881	31255	66250	147854
<b>Строительство</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>741</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1172</b>	<b>1221</b>	<b>3134</b>
<b>Транспорт</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>53698</b>	<b>47138</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9903</b>	<b>6468</b>	<b>117222</b>
Железнодорожный	9	0	3778	0	0	0	0	5552	1760	11100
Трубопроводный	0	5	233	46986	0	0	0	3198	1061	51716
Прочий транспорт	0	0	49687	152	0	0	0	1153	1381	52373
<b>Сельское хозяйство</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3628</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2080</b>	<b>3765</b>	<b>9473</b>
<b>Коммунально-бытовые нужды</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2572</b>	<b>116</b>	<b>2688</b>
<b>Сфера услуг</b>	<b>700</b>	<b>31</b>	<b>237</b>	<b>13257</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>174</b>	<b>13992</b>	<b>37172</b>	<b>65563</b>
<b>Население</b>	<b>3113</b>	<b>0</b>	<b>1319</b>	<b>50920</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1399</b>	<b>13398</b>	<b>60859</b>	<b>131008</b>
<b>Неэнергетические нужды</b>	<b>930</b>	<b>287</b>	<b>4128</b>	<b>26230</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>240</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>31816</b>

Источник: Методика прогнозирования потребления электроэнергии по регионам России до 2015 г. с перспективой до 2020 г. Разработана ЦЭНЭФ для АПБЭ. 2007.