

Технологическая картина мировой энергетики до 2050 г.

И.Э. Шкрадюк, Центр охраны дикой природы
В.А. Чупров, Гринпис России



GREENPEACE

Москва, 2010 г.

Технологическая картина мировой энергетики до 2050 г.

И.Э. Шкрадюк, Центр охраны дикой природы
В.А. Чупров, Гринпис России

Содержание

О ДОКУМЕНТЕ	4
1. МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА 2050 г.: ПОЛИТИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ И ТЕНДЕНЦИИ	5
2. МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА 2050 г.: ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ	13
2.1. Здания	13
2.1.1. Отопление, вентиляция и кондиционирование	14
2.1.2. Освещение	19
2.1.3. Бытовые приборы	23
2.2. ТРАНСПОРТ	26
2.3. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	34
2.3.1. Металлургия	36
2.3.2. Химическая промышленность	38
2.3.3. Производство строительных материалов	40
2.3.4. Целлюлозно-бумажная промышленность	41
2.3.5. Механическая энергия в промышленности	42
3. МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА 2050 г.: ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРВИЧНОЙ ЭНЕРГИИ	43
3.1. ТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА	43
3.1.1. Уголь	43
3.1.2. Газ	47
3.1.3. Нефть	48
3.1.4. Ядерная энергетика	48
3.2. ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА	54
3.2.1. Ветроэнергетика	54
3.2.2. Солнечные батареи (фотовольтаика)	56
3.2.3. Термальная солнечная электроэнергетика	59
3.2.4. Солнечные коллекторы для теплоснабжения	61
3.2.5. Биоэнергетика	62
3.2.6. Гидроэнергетика	66
3.2.7. Энергия океана (энергия приливов и волн)	67
3.2.8. Геотермальная энергия	68
3.3. АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ	69
3.4. ПЕРЕДАЧА И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	70
3.5. ПЛОТНОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ	73
4. ВОЗМОЖНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ К 2050 ГОДУ	74
4.1. ПОТРЕБЛЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ЭНЕРГИИ	74
4.2. ПРОИЗВОДСТВО ПЕРВИЧНОЙ ЭНЕРГИИ	75
4.3. ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕХОДА К ЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ ВИЭ	77

О документе

Назначением этого документа является оценка технологической структуры мировой энергетики (производства и потребления энергии) к середине столетия.

В документе сделана попытка дать ответы на следующие вопросы по каждой из рассматриваемых технологий:

1. Техничко-экономические показатели и динамика развития технологий (даны в основном на основе прогнозов Гринпис и МЭА).
2. Масштаб внедрения к 2050 г. с учетом динамики каждой из рассматриваемых технологий.
3. Последствия развития технологии.

(см. разделы 2, 3)

Кроме самих технологий в документе рассматриваются 2 вопроса:

1. Политические цели и тенденции, формирующие скорость развития той или иной технологии, *см. раздел 1 «Мировая энергетика 2050 г.: политические цели и тенденции».*
2. Технологическая картина мировой энергетики (исходя из разных вариантов реализации технологического потенциала возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и энергоэффективности (ЭЭ) - основных элементов перехода к новой экономике, основанной на низкоуглеродной энергетике), *см. раздел 4 «Возможная технологическая картина мировой энергетики к 2050 году».*

Оценки масштаба развития различных технологий сделаны на основе прогнозов МЭА:

- WEO 2005, 2009;
- Перспективы энергетических технологий 2006¹, 2008, 2010²

Кроме того, использованы прогнозы Европейского совета по возобновляемой энергетике, Гринпис и других организаций.

¹ Включает так называемые сценарии АСТ

² Необходимо отметить, что МЭА каждые 2 года выпускает обзоры «Перспективы энергетических технологий», в которых фактически дается форсайт с технологической картиной энергетики мира до 2050 года. Последний такой обзор был выпущен в 2010 г.

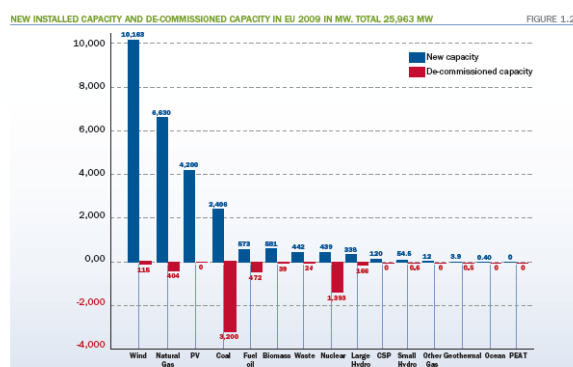
1. Мировая энергетика 2050 г.: политические цели и тенденции

Многие страны мира, включая большинство стран ОЭСР, ставят целью сокращение абсолютного потребления ископаемой энергии, получаемой в основном за счет ископаемого углеродного топлива. Это связано с обеспечением энергетической безопасности (исчерпание дешевых запасов углеводородного сырья и неравномерное распространение этих запасов), а также последствиями сжигания углеродного топлива для климата.

Такая постановка цели формирует тенденцию перехода к новой низкоуглеродной энергетике в глобальном масштабе.

Переход к низкоуглеродной энергетике происходит уже сегодня. Согласно данным ООН, мировые инвестиции в ВИЭ в 2008 г. достигли 140 млрд. долларов, что превысило мировые инвестиции в угольную и газовую электроэнергетику (110 млрд. долл.)

Ниже приведено сравнение ввода новых и вывода из эксплуатации старых мощностей в электроэнергетике ЕС в 2009 году.³ На фоне абсолютного сокращения мощностей угольной и атомной генерации очевидно растет газовая генерация и генерация на основе ВИЭ (доля ВИЭ составляет 62% всех вновь введенных мощностей).⁴



По данным ЮНЕП, в США как и в Европе использование возобновляемых источников энергии, несмотря на экономический кризис, продолжает расти второй год подряд. В 2009 году в США свыше 50% новых энергетических мощностей было создано за счет возобновляемых источников.⁵

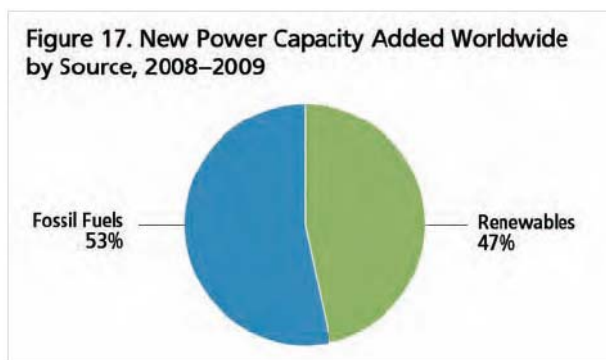
В мире ввод новых мощностей в электроэнергетике выглядит следующим образом:⁶

³ http://ewea.org/fileadmin/emag/statistics/2009generalstats/pdf/general_stats_2009.pdf

⁴ <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/10/886&format=HTML&aged=0&language=EN>

⁵ <http://ckti.ru/smi/827-alternativnaya-yenergetika-operezhaet-po-tempam-rosta-tradicionnyu-yunep.html>

⁶ Renewables 2010. Global Statuse report. Renewable Energy Policy Network, 2010.



В 2009 году инвестиции в новые ВИЭ превысили 150 млрд долл.⁷ Некоторые данные, отражающие динамику ВИЭ, приведены ниже.⁸

SELECTED INDICATORS	2007	2008	2009
Investment in new renewable capacity (annual)	104	130	150 billion USD
Renewables power capacity (including only small hydro) ¹	210	250	305 GW
Renewables power capacity (including all hydro)	1,085	1,150	1,230 GW
Hydropower capacity (existing, all sizes)	920	950	980 GW
Wind power capacity (existing)	94	121	159 GW
Solar PV capacity, grid-connected (existing)	7.6	13.5	21 GW
Solar PV production (annual)	3.7	6.9	10.7 GW
Solar hot water capacity (existing)	125	149	180 GWth
Ethanol production (annual)	53	69	76 billion liters
Biodiesel production (annual)	10	15	17 billion liters
Countries with policy targets	68	75	85
States/provinces/countries with feed-in policies ²	51	64	75
States/provinces/countries with RPS policies	50	55	56
States/provinces/countries with biofuels mandates	53	55	65

По оценкам HSBC, мировой рынок ВИЭ и энергоэффективных технологий (особенно в автомобилестроении) может вырасти к 2020 году с нынешних 0,74 трлн. долл. до 1,5-2,2 триллионов долл. Из них рынок ВИЭ может достичь 0,5 трлн. долл.⁹

1 июня 2010 г. исполнительный директор Международного энергетического агентства Нобуо Танака заявил, что в 2030 году 60% электроэнергии будет вырабатываться за счет возобновляемых источников энергии.¹⁰ Ранее он предсказывал, что доля одной лишь солнечной энергетики в электрогенерации к 2050 году составит 20-25%.

Для определения границы перехода (верхней границы внедрения низкоуглеродных технологий) международные эксперты используют рекомендации МГЭИК ООН. В соответствии с рекомендациями, такой переход должен обеспечить удержание антропогенных парниковых эмиссий на современном уровне к 2020 году и снижение глобальных парниковых выбросов на 50-80% к 2050 году.

Справка: Суммарно современные антропогенные эмиссии составляют 45-47 млрд. т CO₂ экв./год. Энергетический сектор обеспечивает около 30 млрд. т. CO₂ экв./год. Остальные

⁷ Renewables 2010. Global Statuse report. Renewable Energy Policy Network, 2010.

⁸ Там же

⁹ <http://www.reuters.com/article/idUSLDE68511K20100906>

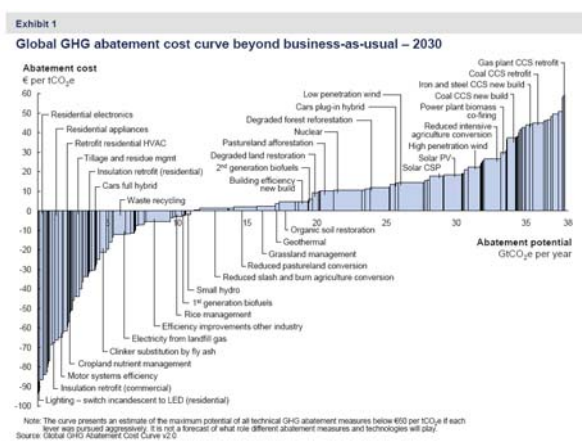
¹⁰ <http://www.newenergyworldnetwork.com/renewable-energy-news/by-technology/solar-by-technology-news/renewable-energy-to-be-60-per-cent-of-energy-mix-by-2030-says-iea.html> По данным очередного обзора МЭА «Перспективы энергетических технологий 2010».

эмиссии дают лесное и сельское хозяйство, фторсодержащие хладагенты, полигонный газ, промышленные технологии, не связанные с получением энергии.

Для энергетики такое снижение означает удержание уровня современных выбросов (около 30 млрд. тонн CO₂ экв. в год) до 2020 года и их снижение, по разным оценкам, до 10-14 млрд. тонн CO₂ экв. в год к 2050 году.¹¹

Важно! «Климатическая» граница (далее «климатический» сценарий)) внедрения низкоуглеродных технологий гарантированно обеспечивает решение проблемы энергетической безопасности для стран-импортеров энергии. Для России климатический сценарий означает необходимость перехода к экономике без экспорта ископаемого топлива к 2050 году.

Переход к низкоуглеродной энергетике по «климатическому» сценарию, по оценкам МЭА, требует коммерциализации экономии CO₂ экв. до уровня 117 долл. за тонну сэкономленного CO₂ экв.¹² По оценкам McKinsey, значительного сокращения всех антропогенных выбросов (не только в энергетике) в объеме 38 млрд. тонн можно добиться при стоимости сокращаемых эмиссий 60 Евро за 1 т. CO₂ экв. (при курсе Евро до кризиса 2008 г.), см. ниже.



Переход к низкоуглеродной энергетике не имеет принципиального барьера в виде нереалистичности или экономической нежизнеспособности новой модели энергетике. Наоборот, внедрение низкоуглеродных технологий даже при «климатическом» сценарии ведет к экономии, которая в целом превышает изначально требуемые инвестиции.¹³ Ниже приведены оценки требуемых инвестиций.

1. По оценкам МЭА, сокращение в 2 раза парниковых выбросов в мировом энергетическом секторе (с 30 Гт в год до 14 Гт в год) потребует дополнительных инвестиционных средств в размере 45 триллионов долларов США за период до 2050 г. или 1,1 триллиона долл. США в год.¹⁴ По оценкам HSBC, мировой рынок ВИЭ и энергоэффективных технологий может вырасти к 2020 году с нынешних 0,74 трлн. долл. до 1,5-2,2 триллионов долл. Из них рынок ВИЭ может составить 0,5 трлн. долл.¹⁵

¹¹ В соответствии с позицией МЭА, это 14 млрд. т CO₂ экв. в год, см. “Перспективы энергетических технологий 2008”, МЭА. В соответствии с позицией Европейского совета по возобновляемой энергетике и Гринпис, это 10 млрд. т CO₂ экв. в год, см. “The global energy [r]evolution 2010”.

¹² Перспективы энергетических технологий 2008. МЭА.

¹³ Там же.

¹⁴ Там же.

¹⁵ <http://www.reuters.com/article/idUSLDE68511K20100906>

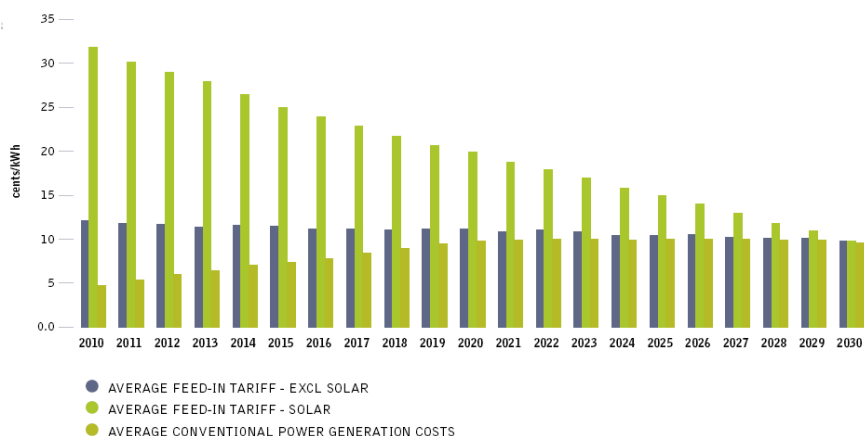
Для сравнения:

- Мировой ВВП составляет порядка 70 трлн. долл. США.
- Расходы на вооружение в мире составляют около 1,5 трлн. долл. ежегодно (2009 г.)
- Расходы на субсидирование ископаемой энергетики составляют, по оценкам МЭА, порядка 0,5 трлн. долл. в год (на 2008 г.) С учетом субсидирования в развитых странах, где оно имеет скрытые формы, эта цифра еще выше.¹⁶

2. Стоимость стабилизации потребления первичной энергии на нынешнем уровне может составить 0,4% мирового ВВП до 2050 г.¹⁷

3. Стоимость сокращения парниковых эмиссий на 30% к 2020 году в Евросоюзе оценивается в 81 млрд. Евро ежегодно до 2020 г. или примерно 0,54% ВВП ЕС. Для сравнения, расходы на ликвидацию последствий мирового кризиса 2008 года в ЕС, по некоторым оценкам, составили 13% ВВП ЕС.¹⁸

4. Стоимость глобальной программы поддержки ВИЭ в электроэнергетике через тарифные надбавки с 2010 по 2030 гг. по одному из сценариев Гринпис, составит 1,62 трлн долл. или 76,3 млрд. долл. в год. Тарифная надбавка необходима для поддержки ВИЭ до 2030 года – срока, когда, по оценкам Гринпис, стоимость всех видов ВИЭ (без учета стоимости парниковых эмиссий) окажется ниже стоимости традиционной энергии (см. график). С учетом стоимости парниковых эмиссий срок, когда стоимость электроэнергии ВИЭ окажется ниже, чем в традиционной энергетике, наступит раньше.



По данным некоторых экспертов США (сетевая организация Waste Awareness & Reduction Network), отказ от субсидий может произойти раньше. Так, в 2010 году оценочная себестоимость фотовольтаики для новых солнечных станций в штате Северная Каролина сравнялась с себестоимостью электроэнергии новых АЭС на уровне 16 центов за кВт-час.¹⁹

¹⁶ Report to Leaders on the G20 Commitment to Rationalize and Phase Out Inefficient Fossil Fuel Subsidies, 2010

¹⁷ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

¹⁸ <http://www.independent.co.uk/news/business/news/barnier-in-call-for-europewide-bank-tax-and-bailout-fund-1983836.html>

¹⁹ http://www.ncwarn.org/wp-content/uploads/2010/07/NCW-SolarReport_final1.pdf

ВАЖНО! Необходимо отметить, что субсидирование традиционной энергетики не имеет граничных сроков, т.е. рассчитано на неопределенно долгую перспективу вследствие постоянного удорожания топливного цикла, а в атомной энергетике еще и вследствие роста требований к ядерной безопасности.

С точки зрения создания новых рабочих мест переход к низкоуглеродной энергетике по «климатическому» сценарию более привлекателен, чем традиционный подход и может обеспечить на 2 млн. рабочих мест больше, чем в сценарии развития традиционной энергетики.²⁰ По данным ООН, в 2006 году свыше 2,5 млн. человек уже были заняты в сфере ВИЭ. Из них около 770 000 человек работали в секторе солнечной энергетики, 300 000 в секторе ветроэнергетики и около 1,2 миллионов человек были вовлечены в производство и использование биомассы. Отчет ООН также отмечает, что чем больше стран использует возобновляемые источники энергии, тем больше возможностей создается для рынка производства и продажи запчастей и обслуживания новых мощностей.

Большая часть новых рабочих мест появилась в странах, где активно проводят исследования и внедряют новую технологию по использованию возобновляемых источников энергии на коммерческий рынок: США, Япония, Германия, Китай и Бразилия. Ожидается, что к 2020 году в секторе альтернативной энергетики в Китае будут работать более 40 миллионов человек.

К концу 2009 года только в Китае в ВИЭ работали 1,5 млн человек. В 2009, первом посткризисном году, в стране было создано 300 000 новых рабочих мест в секторе ВИЭ.²¹

Осознавая эти факторы, правительства заинтересованных стран ведут активную работу по созданию условий для ускорения перехода к низкоуглеродной энергетике. Возможность перехода к низкоуглеродной энергетике в предложенные сроки (сокращение парниковых эмиссий в энергетике в 2 и более раз к 2050 году) зависит от того, как эффективно будут использоваться действующие и новые механизмы стимулирования низкоуглеродных технологий и как быстро будут ликвидироваться преференции для традиционной энергетики (расходы на субсидирование ископаемой энергетики только в развивающихся странах и странах с переходной экономикой составляют по оценкам МЭА 0,56 трлн. долл. в год, на 2008 г.)

Справка. Примеры международных механизмов по созданию условий для ускорения перехода к низкоуглеродной энергетике.

1. В настоящее время в рамках Большой Двадцатки ведутся переговоры по отмене субсидий неэффективного ископаемого топлива. По оценкам ОЭСР, сделанных на основе данных МЭА, отказ от субсидий приведет к снижению глобальных парниковых выбросов на 10% по сравнению со сценарием BAU.²² В США отмена субсидий будет означать рост финансового бремени на ископаемую энергетику на 40 млрд. долл. ежегодно²³. Только в нефтяной отрасли налоговые льготы обеспечивают экономию 4 млрд. долл.²⁴

Китай рассматривает снижение налоговых льгот на землю для производителей ископаемого топлива. В Канаде опубликован проект закона об отмене ускоренной амортизации для инвестиций в добычу нефти из битуминозных нефтяных месторождений

²⁰ The global energy [r]evolution 2010.

²¹ http://www.unep.org/pdf/GreenEconomy_SuccessStories.pdf

²² http://www.oecd.org/document/30/0,3343,en_2649_33713_45411294_1_1_1_1,00.html

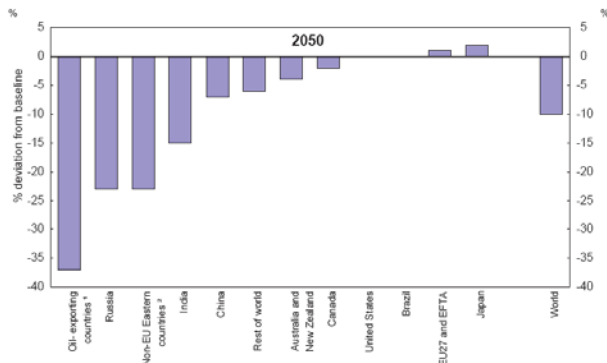
²³ «Obama budget sees deficit soaring in 2010» WASHINGTON, Feb 1, 2010.

²⁴ New York Times, July 4 2010.

(accelerated capital cost allowance for investment in oil sands assets). Германия отменяет финансовую поддержку угольной отрасли до 2018 года. Корея отменит поддержку производителям антрацита. Турция продолжит политику по отмене господдержки угольных шахт.²⁵

Необходимо отметить, что отказ от субсидий продиктован, в том числе, борьбой с дефицитом бюджетов.

Эффект снижения парниковых эмиссий в быстроразвивающихся странах и странах с переходной экономикой в случае исключения субсидий на ископаемое топливо при одновременном ограничении парниковых выбросов в развитых странах приведен на графике ниже²⁶. Снижение парниковых эмиссий означает снижение темпов роста потребления ископаемого топлива.



2. В качестве инструмента вытеснения углеродного ископаемого топлива используются системы торговли парниковыми эмиссиями с одновременным введением лимитов на парниковые выбросы. Например, система торговли парниковыми выбросами в рамках Киотского протокола в 2009 г. имела следующие показатели:

- МЧР 211 млн. т CO₂,
- ПСО 25 млн. т. CO₂,
- торговля парниковыми выбросами 155 млн. т. CO₂.²⁷

По данным ООН, на сентябрь 2010 г. было зарегистрировано сделок только в рамках МЧР на 380 млн т CO₂. В перспективе к 2012 году предполагается зарегистрировать сделок объемом свыше 1,8 млрд. тонн CO₂ для МЧР.²⁸

Для сравнения, современные антропогенные выбросы составляют 45-47 млрд. т. CO₂ экв. Таким образом, только киотские механизмы покрывают 1% глобальных парниковых выбросов.

Руководство Китая сообщает о возможном введении в Китае внутреннего рынка разрешений на выбросы парниковых газов с обязательствами по снижению парниковых эмиссий с 2014 года²⁹ а с 2012 года возможно введение налога на выбросы углекислого газа.³⁰ По сообщениям СМИ, в Китае уже выбраны 5 провинций и 8 городов, где будут

²⁵ Report to Leaders on the G20 Commitment to Rationalize and Phase Out Inefficient Fossil Fuel Subsidies.

²⁶ OECD ENV-Linkages model based on subsidies data from IEA for 37 emerging and developing countries in 2008.

²⁷ John O'Brien, Regional Technical Advisor, UNDP Bratislava «Transition to a Low Carbon and Climate Resilient Economy at the Sub-national Level» Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia June 2-5, 2010

²⁸ <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>

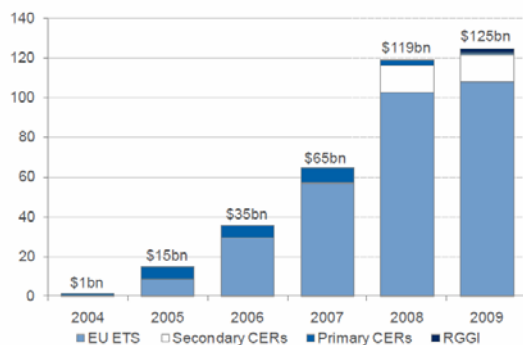
²⁹ China May Start State-Guided Carbon Market by 2014, May 28 2010, Bloomberg.

³⁰ Reports: China to impose carbon tax from 2012 Tom Young, [BusinessGreen](http://www.businessgreen.com), 12 May 2010.

опробованы рыночные механизмы снижения парниковых выбросов. В Японии внутренний рынок торговли углеродом может быть введен до 2013 года, в США, национальный внутренний рынок будет введен до 2013 г.³¹ Южная Корея планирует ввести углеродный рынок не позже текущего, 2010 года. С 1 июля 2010 г. рынок торговли парниковыми эмиссиями введен в Новой Зеландии.

В 2009 году объем торговли на всех углеродных рынках составил 125 млрд. долл. США.³²

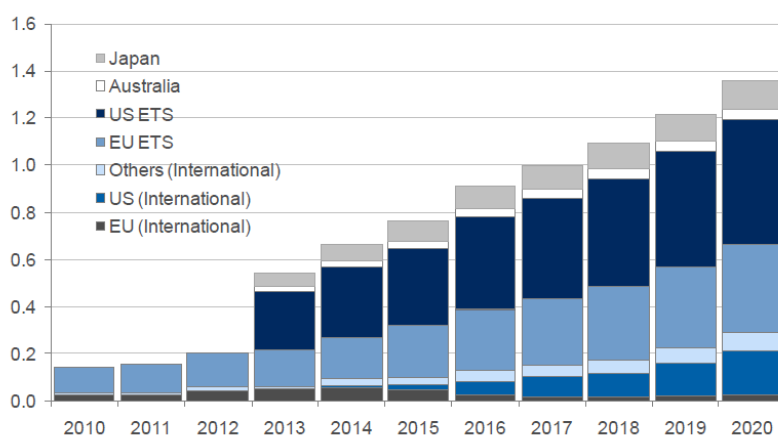
Global carbon market size 2004–09 (\$bn)



Source: Trading figures taken from ECX, Bluenext, EEX, Reuters, CCX, LEBA

По оценкам некоторых экспертов, рынок торговли углеродом может превысить 1,3 трлн. долл. США к 2020 г., см. ниже.

Potential growth in the carbon market 2010–20 (\$ trillion)



Source: Bloomberg New Energy Finance

По информации СМИ, ЕРА планирует введение в США лимитов на парниковые выбросы в рамках «Закона о чистом воздухе» (Clean Air Act). По этому закону эмитенты

^{31 31} John O'Brien, Regional Technical Advisor, UNDP Bratislava «Transition to a Low Carbon and Climate Resilient Economy at the Sub-national Level» Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia June 2-5, 2010

³² John O'Brien, Regional Technical Advisor, UNDP Bratislava «Transition to a Low Carbon and Climate Resilient Economy at the Sub-national Level» Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia June 2-5, 2010

³³ В России при условии направления «углеродных» средств в объеме не более 30% в проекты технической модернизации, их целевом и прозрачном использовании при формировании региональных и отраслевых программ ограничения выбросов парниковых газов и повышения энергетической эффективности с учетом сокращений выбросов до 2020 года совокупный объем инвестиций в российскую экономику от применения рыночных климатических механизмов составит более 10 млрд. евро (из Доклада о совершенствовании системы государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды, 2010 год).

имеют лимиты на выбросы серы, свинца, оксидов азота. Предполагается, что с января 2011 года в список лимитируемых выбросов будет включен и углекислый газ. Под ограничения попадут все эмиттеры, которые получают лимиты на выбросы серы, свинца и т.д. Таким образом ЕРА планирует взять под контроль 70% всех парниковых выбросов.

3. Национальные планы по ужесточению стандартов энергопотребления и развитию низкоуглеродных источников энергии. Например, в США рассматривается законопроект о снижении парниковых эмиссий на 17% по сравнению с 2005 г. При этом с 2007 года (до кризиса 2008 года) в США уже происходит абсолютное снижение парниковых выбросов. По оценкам ЕРА, в 2010 году выбросы США сократятся на 8,5% по сравнению с 2005 годом (до принятия закона о снижении эмиссий).³⁴

Меры по повышению энергоэффективности экономики Китая и развитию низкоуглеродных способов получения энергии позволят сократить рост парниковых выбросов с нынешних 8 Гт до 10 Гт к 2020 году. В сценарии Business as Usual этот рост мог бы составить до 12-14 Гт к 2020 году.³⁵ По оценкам Гринпис, Китай может к 2020 г. стабилизировать рост потребления нефти с нынешних 510 млн. т у.т. на уровне примерно 670 млн. т у.т. В качестве шагов по повышению энергоэффективности Китайское руководство уже приняло решение о запрете кредитования компаний, превышающих сбросы и выбросы загрязняющих веществ, а также энергонезэффективные компании.³⁶ Китайское руководство также, отдало распоряжение 2087 компаниям о закрытии наиболее старых мощностей по производству стали, цемента, угля, алюминия.³⁷

*4. На ситуацию в традиционной энергетике также может повлиять **отказ от оценки роста и благополучия на основе показателей ВВП**. Альтернативные оценки роста в настоящее время активно использует ООН. В случае перехода на новые индексы роста, например, на индекс человеческого развития рост традиционной энергетике перестанет быть автоматическим индикатором роста благополучия, что может серьезно изменить политическую ситуацию вокруг традиционной энергетике.*

Рассматриваемые политические механизмы направлены на цели развития низкоуглеродных технологий. Эти механизмы, так или иначе, будут требовать участия и реакции российского руководства.

³⁴ <http://climateprogress.org/2009/09/15/eia-stunner-co2-drop-climate-bil/>

³⁵ <http://www.climateactiontracker.org>

³⁶ http://www.google.com/hostednews/afp/article/ALeqM5iSiBWKx4u5r8v2uRdK8Mxr_7Krog

³⁷ Там же

2. Мировая энергетика 2050 г.: технологии энергопотребления

Эффективное потребление энергии обеспечивает до 40% вклада в сокращение потребления ископаемого топлива.³⁸ Применение энергоэффективных (ЭЭ) технологий в электроэнергетике дает около четверти эффекта, транспорт дает 20% и промышленность - до 40% эффекта.

По оценкам Гринпис, внедрение ЭЭ технологий на стадии потребления позволит сохранить уровень потребления примерно на современном уровне – незначительный рост с 10,4 млрд. т у.т. до 11,6 млрд. т у.т.³⁹ (без учета ресурсов для неэнергетических целей).

Ниже рассматриваются 3 сектора энергопотребления в соответствии с классификацией МЭА:

- транспорт,
- промышленность,
- другие сектора (здания, с/х).

2.1. Здания

Резюме по разделу

В 2003 г. потребление энергии зданиями и сооружениями в мире составило **3,7 млрд. т у.т.** или 35,3% всей потребляемой энергии. На здания и коммунальное хозяйство приходится половина потребляемой электроэнергии.

По МЭА, доля зданий в общем потенциале ЭЭ составляет около 25% от общего потенциала ЭЭ. Распределение потенциала ЭЭ для зданий см. ниже.

Рисунок 3.11 ▶ Доля зданий, оборудования и бытовых приборов в глобальное снижение выбросов CO₂ в сценарии Мар, 2050 г. (по сравнению с Базовым сценарием)



Ниже рассматриваются 3 сектора потребления, в которых обеспечивается бóльшая часть потенциала ЭЭ для зданий:

- отопление/вентиляция/кондиционирование,
- освещение,
- бытовые приборы.

³⁸ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

³⁹ На основе WEO 2009 и сценария Гринпис

2.1.1. Отопление, вентиляция и кондиционирование

Мировое потребление энергии для отопления (не только зданий) составляет **4,8 млрд. т у.т.**

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик в системах отопления/охлаждения/вентиляции

В данной области не существует универсальных технологий, каждое здание нуждается в тщательной адаптации к природному окружению и климату, к конкретным нуждам жителей. К основным технологиям пассивных зданий относятся:

- теплоизоляционные материалы для стен,
- теплосберегающая архитектура зданий,
- стеклопакеты, стекла с теплоотражающим покрытием,
- рекуперативные системы вентиляции,
- теплоаккумулирующие материалы, особенно использующие эффект фазового перехода и тепло химических реакций,
- теплонасосные системы, в т.ч. особенно использующие накопление тепла/холода в грунте (использование грунта как теплоаккумулятора),
- использование солнечных панелей для отопления и охлаждения помещений,
- локальные системы когенерации тепла и электроэнергии, в т.ч. на фекальных и бытовых отходах,
- системы управления энергопотреблением и климатическим оборудованием.

Ниже приведены характеристики для некоторых технологий.

Технология	Технико-экономические и экологические характеристики
Тепловые насосы	- Снижение потребления энергии на 50% по сравнению с котлами на ископаемом топливе. ⁴⁰ - По оценкам авторов реализованных в Москве проектов многоэтажных домов с использованием ТНУ («Интерсолар»), при получении горячей воды повышение стоимости капитального строительства составляет +5-10%, что незначительно по сравнению с получаемым эффектом во время эксплуатации здания.
Кондиционеры со сплит-системами	До 6 раз более эффективны по сравнению с портативными кондиционерами. ⁴¹
Трубы со специальными покрытиями или изикоррозионностойкого материала	Срок эксплуатации полипропиленовых труб и стальных труб с полиуретановым покрытием повышается до 50 лет.
Окна: - низкоэмиссионные покрытия для отражения инфракрасного излучения - тройные стеклопакеты - электрохроматическое или газохроматическое остекление.	Снижение энергопотребления на отопление на 27-39%, на охлаждение на 6-32%. ⁴²
Теплоизоляция ограждающих конструкций	Снижение энергопотребления до 50%. ⁴³
Рекуператоры тепла	Возврат 70% разницы тепла приточного и выходящего воздуха.
Контроль энергопотребления в здании	Экономия до 30% тепла и электроэнергии.
Солнечные коллекторы	Экономия от 20 до 80% энергии на отопление в зависимости от региона.

⁴⁰ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁴¹ Там же

⁴² Energy technology perspectives 2006, IEA. Перевод WWF

⁴³ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

Справка. Всемирный деловой совет по устойчивому развитию (WBCSD) в марте 2006 г. объявил о формировании объединения ведущих мировых компаний, для того чтобы определить, как необходимо проектировать и строить здания, чтобы они не использовали энергию от внешних энергосетей, являлись бы углеродно-нейтральными, а их строительство и эксплуатация были доступными. Во главе объединения стоят United Technologies Corp., крупнейший в мире поставщик таких товаров для капитального строительства, как грузоподъемники, системы охлаждения/отопления, установки локального производства электроэнергии, и Lafarge Group, мировой лидер в сфере строительных материалов (цемент, бетон, заполнители, гипс, кровельный материал). WBCSD и обе названные компании ведут обсуждения с другими мировыми строительными лидерами, которые могут подключиться к проекту. Более подробную информацию можно найти по адресу в Интернете: www.wbcd.org⁴⁴

Вероятные масштабы использования технологий в энергосистемах (с учетом экологических, технологических и экономических ограничений).

По оценкам МЭА (WEO 2009), потребление энергии для отопления вырастет с нынешних 4,8 млрд. т у.т. на 25% к 2030 г. (5,9 млрд. т у.т.) и на 48% к 2050 г. (**7 млрд. т у.т.**) (здесь и далее учитываются не только здания). Рост потребления ископаемого топлива для нужд отопления вырастет с 3,6 млрд. т у.т. до 4,5 млрд. т у.т. к 2030 г. и до 5,3 млрд. т у.т. к 2050 г. Таким образом, оценка МЭА (WEO 2009) дает рост удельных затрат на отопление на одного жителя планеты.

По оценкам Гринпис, к 2030 году рост потребления тепла вырастет на 12% и стабилизируется на уровне 5,3 млрд. т у.т. к 2050 г. Объем потребления ископаемого топлива упадет с **4,8 млрд. т у.т.** до **1,5 млрд. т у.т.** В технологическом плане, по оценкам Гринпис, роль ТЭЦ снизится за счет децентрализованных способов получения тепла (теплоаккумуляторы, ТНУ, солнечные коллекторы). Удельное потребление в системе отопления жилья, по оценкам Гринпис, к 2050 году снизится на 30% на человека. Снижение не затронет уровня комфорта населения.⁴⁵

Ниже приведены оценки потенциала ЭЭ в системах отопления по группам стран.⁴⁶

Table 12: Savings for space heating in new buildings in comparison to current average dwellings

Region	Technical potential
OECD Europe	72%
OECD North America	59%
OECD Pacific	38%
Transition Economies	56%

Table 13: Savings for space heating in existing buildings in comparison to current average dwellings

Region	Technical scenario
OECD Europe	50%
OECD North America	41%
OECD Pacific	26%
Transition Economies	39%

Реконструкция самых неэффективных высотных жилых зданий в Европе может сократить потребление энергии для таких зданий на 70-80% (Guertler and Smith, 2006).⁴⁷

⁴⁴ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁴⁵ Там же.

⁴⁶ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

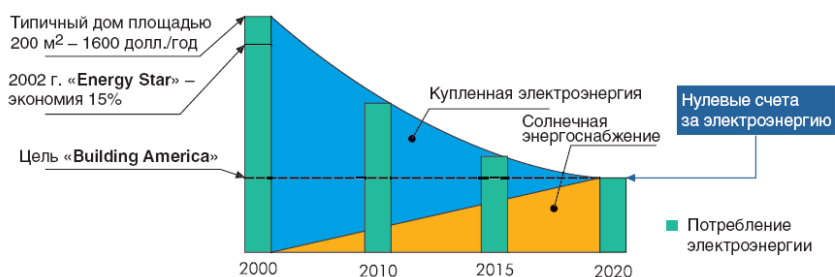
⁴⁷ Там же

Ниже приведены примеры реализации потенциала ЭЭ по странам.

По оценкам Prognos/Öko-Institut, в **Германии** к 2015 году может быть принят стандарт энергопотребления для новых зданий - 20 кВт-час/м² в год. К 2020 году стандарт может быть доведен до 10 кВт-час/м² в год. После 2030 г. возможно принятие стандарта пассивного дома для всех новых домов. В существующих зданиях удельное энергопотребление может быть снижено вдвое к 2030 г. и на 90% к 2050 г. К 2050 году возможно снижение удельного энергопотребления на подготовку горячей воды на 37%. Доля ВИЭ в тепловом хозяйстве и в производстве горячей воды может вырасти на 40% к 2030 году и на 75% к 2050 году.⁴⁸

На рисунке ниже приведены данные прогноза Департамента энергетики **США**, реализующего программу зданий с нулевым энергопотреблением «Building America». В отношении новых зданий коммунального сектора целью является снижение потребления энергии на 50-60% к 2010 г. и 60-70% к 2015 г. Конечной целью является переход к зданиям с нулевым потреблением к 2020 г. Для коммерческих зданий такой переход ожидается к 2025 г.⁴⁹

Рисунок 6.5. Здания с нулевым потреблением энергии



Источник: LaFrance, 2004

В соответствии с данными ЕРА, в США в 2007 году 120 000 домов были построены в соответствии с требованиями Energy Star, что довело количество таких домов до 840,000 (наряду с другими мероприятиями в рамках программы). ЕРА оценивает, что программа Energy Star предотвратила в 2007 году выброс 40 млн. тонн парниковых эмиссий.⁵⁰ Интересно отметить, что начиная с 2007 года (пик эмиссий США) абсолютные значения парниковых эмиссий в США начинают падать за год до кризиса 2008 года. За 4 года с 2007 по 2010 г. включительно падение составит 8,5% по сравнению с 2005⁵¹ годом или 600 млн. тонн CO₂ эквивалента (!). Даже с учетом кризиса и рецессии эти цифры достаточно внушительные.

По оценкам МЭА, энергосбережение в жилых и нежилых зданиях в США к 2030 году даст 161 и 96 млн. т CO₂ в год соответственно.⁵² Для сравнения, в пиковом 2007 году парниковые выбросы составили 6,56 млрд. т CO₂. Таким образом, снижение только в этом секторе обеспечит снижение общих выбросов примерно на 4% (от пикового уровня).

По оценкам МЭА, **китайские программы** энергоэффективности в жилых и нежилых зданиях дадут к 2030 г. 189 и 158 млн. т CO₂ в год.⁵³ Для сравнения, в пиковом 2009 году парниковые выбросы составили 7,5 млрд. т CO₂, таким образом, снижение только в этом секторе обеспечит снижение общих выбросов примерно на 4,7% (от современного уровня).

⁴⁸ Blue print Germany. Strategy for a climate save 2050. WWF Germany.

⁴⁹ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁵⁰ Smart Power Toolkit, Greenpeace

⁵¹ <http://www.eia.doe.gov/oiaf/environment/emissions/carbon/index.html>

⁵² «Низкоуглеродный сценарий развития мировой энергетики», Экономическое обозрение, дек. 2007.

⁵³ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

Российские примеры.

На заседании Госсовета 27 мая 2010 г. Ю.М. Лужков заявил: «Европа в 2020 году не будет принимать к строительству жилые объекты, объекты социальной сферы или административные здания, у которых плюсовое потребление тепла. Нам кажется сегодня, это сумасшедшее требование, на самом деле это требование, которое является обязательным и для нас, ибо у нас в среднем энергетические потери в три раза выше, чем в Европе».⁵⁴

В соответствии с проектом городской целевой программы "Энергосбережение в городе Москве на 2009-2013 гг. и на перспективу до 2020 года" предполагается при реконструкции и капитальном ремонте жилья экономить «85 кВт-ч тепловой энергии с 1 кв. м. в год, из которых 20 кВт-ч тепловой энергии с 1 кв. м. в год за счет использования НВИЭ, ВЭР и теплонасосных систем теплоснабжения, а остальное за счет приведения ограждающих конструкций и инженерных систем в соответствие действующим нормативам, включая обязательную замену элеваторов на ИТП, балансировку стояков отопления, установку терморегуляторов и организацию индивидуального учета».

В соответствии с «Энергетической стратегией Томской области на период до 2020 г., в области идет постоянное снижение теплопотребления, причем как в коммунально-бытовом (на 16,3%), так и промышленном (на 10,3%) секторах (с 2000 г. по 2005 г.). Исходя из этого, «в дальнейшем не следует ожидать значительного роста коммунально-бытовых услуг, обеспечиваемых с помощью тепловой энергии», «оценка экономии тепловой энергии при реализации энергосберегающих мер в жилых зданиях, тепловых сетях и угольных котельных показывает, что годовой потенциал энергосбережения может составить 30-45 % тепла, потребляемого жилыми зданиями с центральным и централизованным теплоснабжением».

Последствия развития технологии и что следует предпринять руководству России для развития рассматриваемой технологии.

Переход на энергопассивные здания резко изменит градостроительную ситуацию. Резко уменьшатся экономически эффективные масштабы систем централизованного теплоснабжения. Снижение затрат на отопление повлечет необходимость полной модернизации теплового хозяйства городов.

Снижение затрат на отопление имеет важный социальный эффект. Уменьшатся коммунальные платежи. Появление энергоэффективных зданий приведет к существенным переменам на рынке недвижимости.

В России фактически предстоит создать промышленность энергоэффективных технологий. Это позволит развить новые сектора рынка по производству рекуператоров, утеплителей, «пассивных» домов под ключ, ТНУ, солнечных коллекторов.

Основным препятствием снижению энергопотребления в зданиях являются устаревшие СНиПы, большие затраты на сертификацию новых материалов и оборудования для строительства, консерватизм проектировщиков и органов экспертизы. Устарелость нормативной базы привела к тому, что Беларусь просто перешла на строительные нормы Евросоюза.

В качестве набора шагов российского руководства можно предложить следующие:

- внедрение стандартов для зданий, например, СНиП 23-02 для всех новых зданий с достижением энергоэффективности класса «В» (как, например, решено в дополнительных требованиях ГК «Олимпстрой»);

⁵⁴ <http://www.kremlin.ru/transcripts/7872/work>

- активно использовать энергосервисный подход к отоплению;
- решение типичной проблемы незаинтересованности застройщика в более дорогом, но энергоэффективном здании (из-за отсутствия влияния эксплуатационных организаций на застройщика);
- изменение программ образования в области строительства и промышленности строительных материалов.

Технологии, требующие поддержки:

- регулирование подачи тепла для решения проблемы «перетопа» зданий (системы автоматического регулирования подачи тепла, в том числе со снижением подачи тепла в нерабочее время в офисных помещениях);
- горизонтальная разводка отопления;
- тепловые насосы и теплоаккумуляторы;
- «умные» дома (включающие автоматическое управление тепло- и электропотреблением);
- и пр.

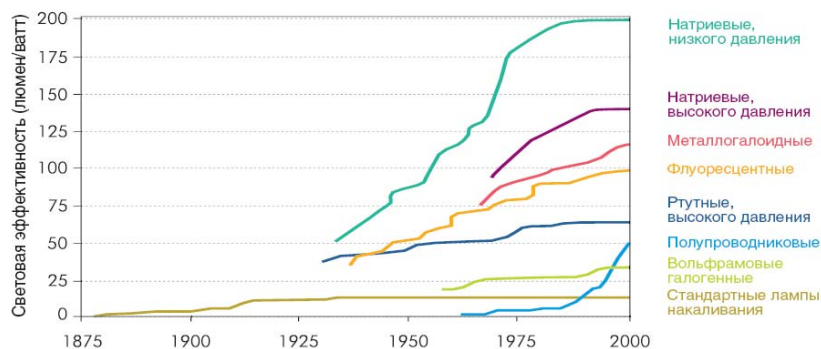
2.1.2 Освещение

Электропотребление во всех системах освещения составляет примерно **3,6 млрд. кВт-часов** (на 2007 г.) или **19%** мирового потребления электричества.⁵⁵ В зданиях системы освещения потребляют около **1,7 млрд. кВт-часов**.⁵⁶ Доля электроэнергии, используемой в быту и освещении, характеризует уровень развития пятого технологического уклада.⁵⁷

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик

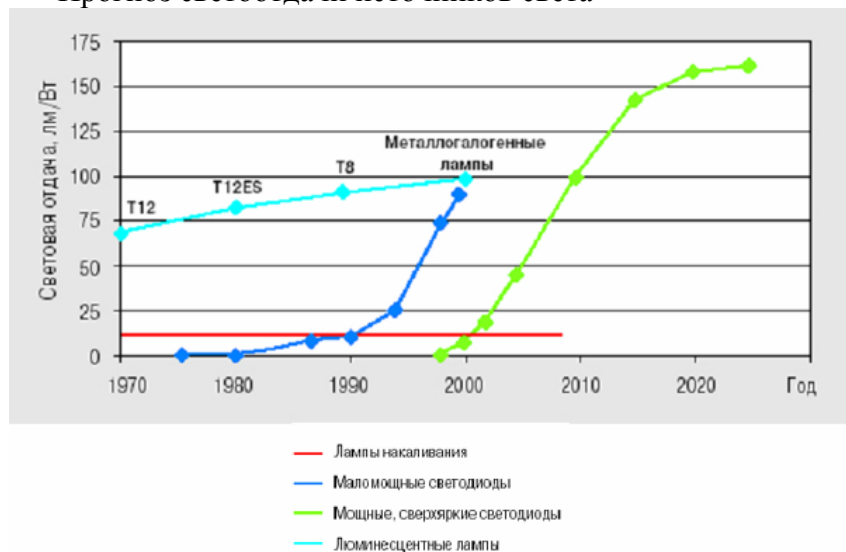
За последние 15 лет произошла революция в области технологий освещения.

Рисунок 6.12. Эволюция световой эффективности основных источников света общего назначения



Источник: IEA 2006; воспроизведено с разрешения www.lampstech.co.uk

Прогноз светоотдачи источников света⁵⁸



Световая эффективность (люмен-эквивалент) - это световая отдача белого света (6500K) при 100% внешнем квантовом выходе = 340 лм/Вт.

Основные состоявшиеся инновации:

- люминесцентные лампы с диаметром колбы 16 мм и меньше с электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА) со светоотдачей более 100 лм/Вт;
- светодиоды белого цвета, резкое снижение цены и повышение светоотдачи светодиодов,

⁵⁵ Сообщение Филипс. 2007.

⁵⁶ Smart Power. Greenpeace

⁵⁷ Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. – М.: ВлаДар, 1993, 310 с.

⁵⁸ Ю. Б. Айзенберг. Современные проблемы энергоэффективного освещения. - "Энергосбережение", 2009, №1.

- распространение систем управления освещением (в зависимости от времени суток, освещенности, наличия людей в помещении).

При переходе с ламп накаливания на люминесцентное освещение возможно снижение электропотребления на 73%⁵⁹. Светодиоды позволяют снизить потребление еще вдвое. Светодиодные лампы уже оказались в ценовой категории люминесцентных ламп по некоторым видам типовых светильников.

Снижение установленной мощности на киловатт освещения стоит 150-200 долл. США. Для сравнения, стоимость создания киловатта генерирующих мощностей 1-3 тыс. долл. США⁶⁰.

К 2015 году себестоимость люминесцентной лампы составит – от 50 до 80 рублей за штуку, светодиодной лампы – 150 рублей⁶¹, что в сочетании с долговечностью сделает светодиоды конкурентоспособными на рынке источников освещения.

Перспективными технологиями также являются:

- светодиоды на органических материалах, с расширенным спектром излучения, более близким к солнечному;
- достижение светодиодами светоотдачи 250 лм/Вт к 2050 году;
- лампы на парах серы с СВЧ накачкой для мощного рассеянного света (спектр излучения паров серы исследован только в 1994 г.⁶²) со светоотдачей до 130 лм/Вт., здесь возможно открытие новых материалов для газоразрядных ламп;
- электролюминесцентные панели;
- электрохромные стекла, позволяющие изменять светопропускание.

На снижение затрат на освещение существенно влияет архитектура зданий, в том числе использование плафонов в крышах и светопроводов для помещений, не имеющих окон.

Для принятия новых источников света населением важны цены (для малообеспеченных) и дизайн (для богатых и среднего класса).

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах (с учетом экологических, технологических и экономических ограничений).

Технический потенциал энергосбережения в освещении к 2050 году по группам стран приведен ниже и составляет 35-80% по разным группам стран. В среднем по миру потенциал составляет 60%.⁶³

⁵⁹ Сообщение компании Филипс 12 мая 2009 г. на семинаре по экологизации офисных помещений

⁶⁰ <http://solex-un.ru/energo/reviews/priority-razvitiya-svetotekhniki>

⁶¹ <http://solex-un.ru/energo/reviews/priority-razvitiya-svetotekhniki>

⁶² http://ru.wikipedia.org/wiki/Серная_лампа

⁶³ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

Table 15: Average luminous efficacy of residential lamps

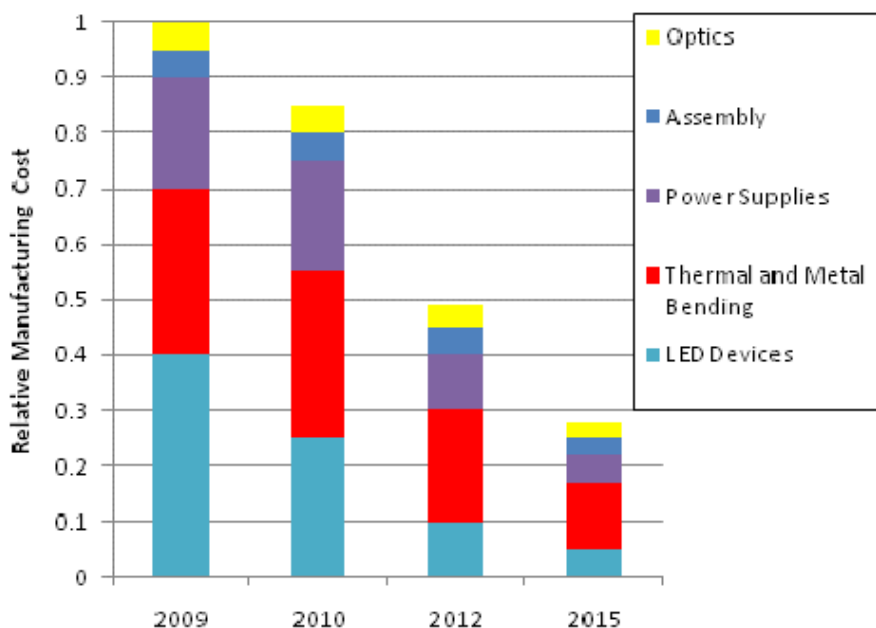
Region	Luminous efficacy (lm/W)	Technical potential 2050	% energy-efficiency improvement per year
OECD Europe	40	60%	2.3%
OECD Pacific (based on Japan)	65	35%	1.1%
OECD North America	30	70%	3.0%
Transition Economies (TE)	20	80%	3.9%
China	50	50%	1.7%
Developing regions	No information, we assume 20, same as for TE	80%	3.9%
Global	40	60%	2.4%

По оценке МЭА, к 2030 году экономически доступный потенциал ЭЭ составит **38%** от всего электропотребления в освещении.⁶⁴ В него не входят светодиоды.

По оценкам Гринпис, снижение электропотребления в системах освещения может составить **70%**.

Перспективы развития рынка светодиодов (СД). Мировой рынок мощных СД будет расти на 15% в год. Темпы роста световой отдачи светодиодов: в 2003 году световая отдача светодиодов превышала в 2 раза световую отдачу ламп накаливания, т.е. 20 - 25 лм/Вт. Несколько лет спустя средняя световая отдача светодиодов лучших фирм составляет 70-80 лм/Вт. На 2009 - 2010 годы фирма Cree Lighting обещала достичь величины 150 лм/Вт. В 2005 г. в США на бытовое освещение работало 6% светодиодов, в 2010 году бытовое освещение займет уже 13% от общего количества выпускаемых светодиодов. Рынок мощных СД для освещения достигнет 1 млрд Долл. к 2012 г. В 2020 г. – от 2 млрд. Долл. (худший вариант) до 6.5 млрд. Долл. (лучший вариант).⁶⁵

Прогноз структуры себестоимости светодиодов⁶⁶.



Роланд Хайц (Roland Haitz) на основе данных с 1969 по 2001 г сформулировал правило: каждые 10 лет отношение цены светодиода к светоотдаче снижается в 10 раз, а светосила возрастает в 20 раз.⁶⁷

⁶⁴ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁶⁵ <http://solex-un.ru/energo/reviews/priority-razvitiya-svetotekhniki>

⁶⁶ <http://www.solidstatelightingdesign.com/> - Конференция на Тайване, январь 2010 г.

⁶⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Haitz's_Law

Примеры по странам

В США на освещение расходуется около 22% электроэнергии. В 2001 г. лампы накаливания потребляли 90% электроэнергии, но давали лишь 68% от всего вырабатываемого света. Флуоресцентные лампы потребляли 10% электроэнергии, давали 31% всего вырабатываемого света.⁶⁸ По другим данным, в США среднее количество ламп в доме – 43 шт., а в Японии – 17 шт., а средняя световая отдача составляет соответственно 18 и 49 лм/Вт.⁶⁹

В России на освещение расходуется около 13% электроэнергии. Экономия электропотребления в системах освещения без существенных инвестиций может составить 60 млрд. кВт-часов (примерно 6% от всей производимой электроэнергии). По другим оценкам, более 50 млрд. кВт-часов или 45-50% электроэнергии, потребляемой в освещении.⁷⁰ Высокий потенциал снижения электропотребления в системе освещения в России связан в первую очередь с низкой долей энергоэффективных ламп – 26%. Для сравнения в Японии – около 80%.

Последствия развития технологии и что следует предпринять руководству России для развития рассматриваемой технологии

Модернизация светотехники – это самый быстрый путь повышения энергоэффективности, который может быть принят у нас в стране. По прогнозу, сделанному еще в 2001 году (ООО «ВНИСИ») на совершенно реальных цифрах световой отдачи, объемов выпуска можно получить от 34 млрд кВт-ч экономии электроэнергии в 2010 г. до 72 млрд кВт-ч в 2020 г.⁷¹

Доля отечественных производителей на российском рынке энергоэффективного освещения менее 10%. Полноценного производства компактных люминесцентных ламп на сегодняшний момент в России не существует. Единственным производителем гетероструктур для светодиодов является петербургское предприятие «Светлана», имеющая 2 эпитаксиальных установки (в мире насчитывается 1200 таких установок).

По оценкам некоторых экспертов, общий объем ожидаемого производства в России к 2015 году составит ориентировочно: КЛЛ – 142 млн. штук в год; светодиодных ламп – 142 млн. штук в год; прочие – 53 млн. штук в год (натриевые, металлогалогенные и натриевые лампы высокого давления).⁷²

В число социально-экономических эффектов от реализации проекта внедрения энергосберегающих ламп и производства их в России входят: сокращение потребления электроэнергии минимум на 4%, или на 65 млрд. руб. в год при существующих тарифах. сокращение потребности в строительстве новых электростанций и инвестиций в них – 7,7 ГВт и 350 млрд. рублей соответственно; сокращение использования энергоресурсов – 12,9 млн. тонн у.т.⁷³

Переход к новой системе освещения в России потребует:

- внедрение новых всероссийских стандартов освещения, например, такие как в дополнительных рекомендациях ГК «Олимпстрой» к зданиям и сооружениям: отказ от ламп накаливания и люминесцентных ламп частотой мерцания 50 Герц, автоматическое управление освещением;

⁶⁸ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁶⁹ <http://solex-un.ru/energo/reviews/priority-razvitiya-svetotekhniki>

⁷⁰ Там же

⁷¹ Там же

⁷² Там же

⁷³ Там же

- расширение производства осветительных приборов с ЭПРА, светодиодных ламп.
- внедрение энергоаудита;
- широкая демонстрация образцов дизайна новых помещений.

Общая сумма инвестиции требуемых для реализации проектов по предварительным оценкам составит 12,7 млрд. рублей, из них внебюджетные средства составят 6,8 млрд. рублей и средства ГК «РоснаноТех» 4,3 млрд. рублей.

Даже при относительно плавной замене ламп в 2014 году может возникнуть пиковый спрос на новые источники света. Необходима институциональная поддержка государства в силу того, что российский рынок основных материалов, комплектующих и оборудования для выпуска эффективных источников света нестабилен и его надо специально готовить к запуску промышленного производства и регулирования использования новых источников света. Например, в России пока лишь один производитель с двумя установками по эпитаксии для последующего производства светодиодов (в Китае 300 компаний делают светодиодные источники света, 100 компаний делают светодиоды, 3 компании имеют эпитаксиальное оборудование, а в 1-й компании – 8 эпитаксиальных установок). Для сравнения, в 14 странах мира действуют государственные программы энергосбережения в системах освещения (в Японии с 1998 г., в соответствующая программа США принята как закон Конгрессом США в 2005 г., Европейская программа начата в 2000 г. и принята Европейской Комиссией; светодиодная тематика включена в пятилетние планы Китая с 2004 г., в Корею государственная программа была принята в 2003 г.). В России такой программы нет.⁷⁴

Ограничения. Экологические ограничения для ртутных ламп – необходимость создания систем сбора у населения и организаций ртутных ламп и правильной утилизации этих ламп. Стоимость переработки лампы 12-15 рублей, не включая затраты на доставку, информационную кампанию и создание инфраструктуры сбора и утилизации. Затраты на утилизацию отработавших КЛЛ оцениваются в 11,3 млрд. рублей.

Большим недостатком ртутных ламп являются нелинейные искажения тока в сети и низкий коэффициент мощности.

2.1.3. Бытовые приборы

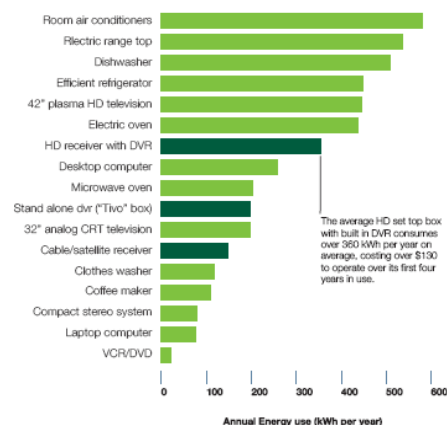
По оценкам Гринпис, потребление электроэнергии бытовыми приборами в зданиях (сервис и коммунальное электропотребление) составлял на 2005 год **5,7 трлн. кВт-часов** (без учета освещения) или около 35% всей потребляемой электроэнергии в мире (около **17 трлн кВт-часов**).

Современное распределение электропотребления бытовыми приборами домохозяйствами на примере стран ОЭСР (Европы) показано на диаграмме.

⁷⁴ <http://solex-un.ru/energo/reviews/priority-razvitiya-svetotekhniki>

figure 9: annual energy use of common household appliances

(HOROWITZ, 2007)



Распределение электропотребления (коммунальное хоз-во + услуги), в кВт-ч на человека в год по регионам мира (с учетом освещения) приведено ниже.

	Electricity (KWh per year)
OECD North America	3444
OECD Europe	1584
OECD Pacific	2074
Middle East	1058
Transition Economies	687
Global per-capita average	550
Rest of developing Asia	192
India	82
China	176
Africa	138
Latin America	443

По оценкам Гринпис, возможно обеспечить комфортный уровень за счет наиболее энергоэффективной бытовой техники и освещения при электропотреблении на уровне **550 кВт-час в год на человека**.⁷⁵

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик

Технология	Технико-экономические и экологические характеристики
Режим Stand-By	Среднее потребление режима Stand-By в мире составляет 75 кВт-часов на домохозяйство в год. Наилучшие технологии (1-3 W) позволяют снизить потребление до 14 кВт-часов в год.
Компьютеры	Среднее потребление компьютерами составляет 75 кВт-часов в год, при наилучших технологиях 20 кВт-часов в год на компьютер. Экраны имеют мощность в среднем 75 Ватт при наилучших технологиях 18 Ватт (15-дюймовые экраны). ⁷⁶
Холодильники	Среднее потребление холодильными установками составляет 300 кВт-часов в год, при наилучших технологиях 120 кВт-часов в год на установку. ⁷⁷

⁷⁵ Smart Power Greenpeace

⁷⁶ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

⁷⁷ Smart Power Greenpeace.

Вероятные масштабы использования ЭЭ технологий в энергосистемах (с учетом экологических, технологических и экономических ограничений).

Потребление электроэнергии в зданиях составляло на 2005 год **5,7 млрд. кВт-часов** (без учета освещения) или около 35% всей потребляемой электроэнергии. По оценкам Гринпис, наилучшие технологии позволяют снизить электропотребление на **3,7 млрд. кВт-часов** или на **65%** (без учета освещения). По оценкам МЭА, снижение может составить **38%**. По оценкам Prognos/Öko-Institut, в Германии снижение электропотребления бытовой техникой может составить в 2050 г. **40%**. В течение 5 лет может состояться переход к наилучшим технологиям в электротехнике.⁷⁸

Распределение технического потенциала ЭЭ для различных бытовых приборов по миру приведено ниже.⁷⁹

	Потребление бытовыми приборами, млрд. кВт-часов						
	Standby	Air-con	Set-top	other appliances	computers	cold appliances	other electricity
ОЭСР Европа	68	181	22	519	77	180	187
ОЭСР Сев. Америка	120	328	40	937	141	322	331
ОЭСР АТР	33	95	11	270	41	91	91
Китай	19	36	7	106	14	43	51
Лат. Америка	16	40	5	116	17	41	44
Африка	10	18	3	56	7	23	28
Бл. Восток	16	32	5	96	13	38	44
СПЭ	19	44	6	129	18	47	52
Индия	7	12	3	37	4	16	21
Ост. Азия	15	36	5	105	15	38	41
Мир	323	822	106	2371	347	839	889
	Потенциал экономии млрд. кВт-часов						
	Standby	Air-con	Set-top	other appliances	computers	cold appliances	other electricity
ОЭСР Европа	56	154	9	311	57	108	123
ОЭСР Сев. Америка	99	279	17	562	103	193	223
ОЭСР АТР	27	81	5	162	30	55	56
Китай	15	30	3	64	10	26	31
Лат. Америка	13	34	2	70	12	25	30
Африка	8	16	1	33	5	14	19
Бл. Восток	13	28	2	58	9	23	30
СПЭ	15	38	3	77	13	28	36
Индия	6	10	1	22	3	10	14
Ост. Азия	12	31	2	63	11	23	28
Мир	265	699	47	1422	254	503	591

Примеры по группам стран

Реализация всего потенциала электросбережения для бытовой техники позволяет только за счет стран ОЭСР (в основном США) снизить электропотребление на **1,5 трлн. кВт-ч.**

В случае перехода ЕС на холодильные установки класса А++ (в 2003 году средний класс потребления был – «Б» или 300 кВт-часов в год), сокращение электропотребления составит **60 млрд. кВт-ч.**⁸⁰

⁷⁸ Blue print Germany. Strategy for a climate save 2050. WWF Germany.

⁷⁹ Smart Power Toolkit, Greenpeace

⁸⁰ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

Последствия развития технологии и что следует предпринять руководству России для развития рассматриваемой технологии

Для компаний - производителей бытовой техники реализация потенциала ЭЭ означает переход на более строгие стандарты.

Необходимые действия руководства России для развития указанных технологий:

- введение стандартов и маркировки класса энергопотребления для бытовой техники;
 - введение социальных норм электропотребления в коммунальном хозяйстве (что уже практикуется в нескольких регионах России);
 - пропаганда гибких систем учета электроэнергии (многотарифные электросчетчики).
- (Перечень открытый).

2.2. Транспорт

Потребление первичной энергии на транспорте составляет **2,8 млрд. т у.т.** (2007 г.) или порядка 30% от общего потребления первичной энергии. **95%** энергопотребления транспортом обеспечивается за счет нефтепродуктов.

Почти половина топлива потребляется легковыми автомобилями. Распределение топливопотребления в транспортном секторе в 2005 г. (без международного бункерного топлива) приведено ниже.⁸¹

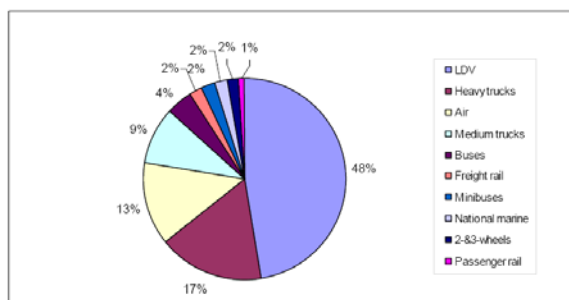


Figure 29: World final energy use per mode 2005

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик.

Ниже дан прогноз удельного расхода топлива для легкового транспорта по разным сценариям МЭА.⁸²



⁸¹ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

⁸² Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

Перспективные технологии для автомобильного транспорта:

- полный гибридный привод;
- электрический городской транспорт (пассажирский и грузовой);
- электрический городской транспорт, с суперконденсаторами, подзаряжаемыми на остановках;
- электрический и гибридный тяжелый технологический транспорт (карьерные самосвалы⁸³ и т.п.);
- создание двигателей внутреннего сгорания с высоким КПД и низкой маневренностью для подзарядки аккумуляторов;
- создание ДВС с новыми схемами преобразования поступательного движения поршня во вращательное;
- получение этанола из лигноцеллюлозы, синтез жидкого топлива из биомассы;
- использование турбоэлектрических приводов (с микротурбинами);
- легкие пассажирские транспортные средства с комбинированными источникам энергии (подзаряжаемые гибриды, с солнечными батареями, с использованием мускульной силы пассажиров и т.п.);
- топливные элементы, технологии компактного хранения водорода (криогенные, металлгидридные и пр.)

Перспективные технологии для других видов транспорта:

- перевод всего железнодорожного транспорта на электротягу и дизель-электрические локомотивы с аккумулярованием и рекуперацией энергии;
- создание парогазовых силовых установок для ж/д и морского транспорта;
- рост доли скоростных железных дорог, конкурирующих с автомобилем и самолетом;
- развитие монорельсового транспорта;
- коммерческая эксплуатация самолетов на жидком водороде;
- создание коммерческих экранопланов и нового сегмента транспорта – со скоростями 400-500 км/ч и расходом топлива на пассажиро-километр 2-3 раза ниже, чем у самолетов;
- развитие дирижаблей и воздушных судов с комбинированной подъемной силой.

Роль различных технологий в реализации потенциала ЭЭ на транспорте по МЭА приведен ниже.

Рисунок 2.34 ► Роль различных факторов в улучшении энергетической эффективности легкового автотранспорта в сценарии Mar



⁸³ <http://inno.ru/project/33512/>

Сводные данные о техническом потенциале в различных транспортных секторах приведены ниже.⁸⁴

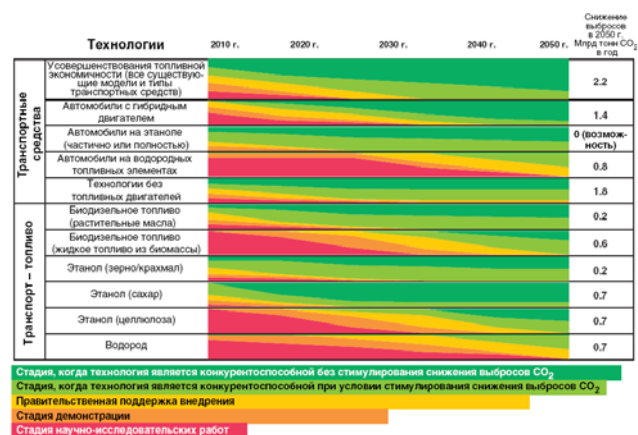
Table 23: Technical potential for world passenger transport

MJ/p-km	Reference scenario		Technical potential			Efficiency improvement 2010-2050 %/y
	2005	2050	2020	2030	2050	
LDV (L/100 v-km)	10.4	8.5	7.5	5.4	2.8	3.2%
LDV (MJ/p-km)	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	3.2%
Air	2.6	1.9	2.0	1.5	0.9	2.6%
Buses	0.5	0.6	0.4	0.4	0.3	1.3%
Mini-buses	0.5	0.6	0.4	0.3	0.2	2.3%
2-wheels	0.5	0.6	0.4	0.4	0.3	1.3%
3-wheels	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.8%
Pass rail	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	1.0%
MJ/t-km						
Medium trucks	5.4	3.9	3.9	2.8	1.5	3.2%
Heavy trucks	1.7	1.3	1.3	0.9	0.5	3.0%
Freight rail	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	1.7%
National marine	0.7	0.5	0.6	0.5	0.4	1.4%
Total (index, 2005 = 100)	100		75	57	32	2.8%

Здесь необходимо отметить, что по некоторым оценкам для авиатранспорта снижение удельного энергопотребления может достичь 65%.⁸⁵

О стадиях разработки и применения различных технологий на транспорте, по МЭА, ниже.

Рисунок 3.10 ► Достижение ценовой конкурентоспособности транспортными технологиями



В настоящее время уже разработаны турбокомпрессорные дизельные двигатели с топливной системой высокого давления, которые позволяют экономить до 20% топлива по сравнению с обычными бензиновыми двигателями. Автомобили с полностью гибридным двигателем в настоящее время при езде в городском режиме на 25–30% эффективнее, чем автомобили с обычным бензиновым двигателем. Автомобили с «мягкими» или «облегченными» гибридными двигателями менее эффективны, но они также дают увеличение экономичности на 5–20%.⁸⁶ О перспективах технологии гибридного транспорта ниже.⁸⁷

⁸⁴ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

⁸⁵ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

⁸⁶ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁸⁷ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

Таблица 5.6. ► Бензиновые гибриды: состояние и перспективы

	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Технологическая стадия	Широкое внедрение систем стартер/генератор переменного тока, мягкие гибридные двигатели для некоторых моделей, полные гибриды, в основном, на больших легковых автомобилях	Большое распространение мягких гибридов, даже на малых легковых автомобилях, широкая распространяемость полных гибридов на больших легковых автомобилях. Большие доли гибридов в микроавтобусах и средних грузовиках. Усовершенствование двигателя внутреннего сгорания в легких гибридах, частично – в мягких и полных гибридах.	Большая доля на рынке транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания, оборудованных гибридными системами. Значительно улучшенные двигатели внутреннего сгорания в легких гибридах, частично – в мягких и полных гибридах.
Полные гибриды, среднетоннажные легковые автомобили на бензине	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Цена (тыс. долл.)	18,3 – 20,2	17,7 – 19,6	17,3 – 19,1
Экономия топлива (литров бензинового эквивалента/100 км)	4,1 – 7,4	3,9 – 7	3,7 – 6,6
Выбросы CO ₂ в выхлопных газах (г/км)	99 – 178	94 – 169	89 – 160
Выбросы CO ₂ «от скважины до колеса» (г/км)	115 – 206	109 – 95	103 – 184
Мягкие гибриды, среднетоннажные легковые автомобили на бензине	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Цена (тыс. долл.)	17 – 18,8	16,8 – 18,6	16,6 – 18,3
Экономия топлива (литров бензинового эквивалента/100 км)	4,5 – 8	4,1 – 7,4	3,9 – 7
Выбросы CO ₂ в выхлопных газах (г/км)	108 – 194	99 – 178	94 – 168
Выбросы CO ₂ «от скважины до колеса» (г/км)	125 – 224	115 – 205	108 – 194
Легкие гибриды, легковые автомобили на бензине	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Цена (тыс. долл.)	16,1 – 17,8	16,2 – 17,9	16,2 – 17,9
Экономия топлива (литров бензинового эквивалента/100 км)	4,9 – 8,8	4,6 – 8,3	4,3 – 7,7
Выбросы CO ₂ в выхлопных газах (г/км)	119 – 214	111 – 199	103 – 185
Выбросы CO ₂ «от скважины до колеса» (г/км)	138 – 247	128 – 230	119 – 214

См. примечание к таблице 5.2

Таблица 5.7. ► Дизельные гибриды: состояние и перспективы

	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Технологическая стадия	Внедрение систем стартер/генератор переменного тока, моторизация гибридов на крупных легковых автомобилях, начавшее распространение гибридов в автобусах, микроавтобусах и грузовиках.	Распространение мягких гибридов на малом транспорте, широкое распространение полных гибридов на крупных легковых автомобилях. Большие доли гибридов в автобусах, микроавтобусах и грузовиках. Улучшение дизельных двигателей в легких гибридах, частично – в мягких и полных гибридах.	Дальнейшее снижение цен и, как следствие, рост количества гибридных систем на транспорте. Улучшенные параметры двигателя внутреннего сгорания в легких гибридах, частично – в мягких и полных гибридах.
Полные гибриды, легковые автомобили среднего размера на бензине	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Цена (тыс. долл.)	19,1 – 21,1	18,4 – 20,4	17,9 – 19,7
Экономия топлива (литров бензинового эквивалента/100 км)	3,2 – 5,7	3,1 – 5,5	3 – 5,4
Выбросы CO ₂ в выхлопных газах (г/км)	83 – 148	80 – 143	77 – 138
Выбросы CO ₂ «от скважины до колеса» (г/км)	95 – 171	90 – 165	89 – 159
Мягкие гибриды, легковые автомобили среднего размера на бензине	2003-2015	2015-2030	2030-2050
Цена (тыс. долл.)	16,8 – 18,6	16,7 – 18,4	16,5 – 18,2
Экономия топлива (литров бензинового эквивалента/100 км)	3,4 – 6	3,2 – 5,8	3,1 – 5,5
Выбросы CO ₂ в выхлопных газах (г/км)	87 – 155	83 – 149	80 – 143
Выбросы CO ₂ «от скважины до колеса» (г/км)	100 – 179	96 – 172	92 – 165
Легкие гибриды, легковые автомобили на бензине	2003-2015 гг.	2015-2030 гг.	2030-2050 гг.
Цена (тыс. долл.)	17,6 – 19,5	17,4 – 19,2	17,1 – 18,9
Экономия топлива (литров бензинового эквивалента/100 км)	3,7 – 6,7	3,6 – 6,5	3,5 – 6,3
Выбросы CO ₂ в выхлопных газах (г/км)	96 – 173	94 – 168	91 – 163
Выбросы CO ₂ «от скважины до колеса» (г/км)	111 – 199	108 – 193	105 – 188

См. примечание к таблице 5.2

Помимо технологических решений важны системные изменения в транспортной инфраструктуре. Прежде всего это приближение места работы к месту жизни, планировка городской транспортной сети и рост общественного транспорта (автомобильного, железнодорожного, монорельсового и пр.) Для снижения общего потребления топлива легковыми автомобилями важно изменение отношения к автомобилю, который в настоящее время является во многом символом социального статуса.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах (с учетом экологических, технологических и экономических ограничений).

По оценкам МЭА (WEO 2009), потребление на транспорте вырастет на 50% к 2030 г. и на 92% к 2050 г. При этом доля нефтепродуктов в энергопотреблении на транспорте останется такой же, как сейчас – порядка 90%, то есть вырастет с 2,6 млрд. т у. т. в 2007 г. до 3,7 млрд. т у.т. в 2030 г. и 4,8 млрд. т у.т. к 2050 году.

В сценарии MAP МЭА порядка четверти нефтепродуктов может быть представлено нефтепродуктами из газа или угля, получаемых путем синтетических реакций Фишера–Тропша.⁸⁸ По этому же сценарию улучшение эффективности дизельных двигателей позволяет к 2050 г. сэконо-

⁸⁸ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

мать на транспорте **50 млн. т.н.э.** Экономия топлива за счет улучшения аэродинамики, применения снижающих вес технологий, энергоэффективных шин и более эффективных бортовых устройств в сценарии MAP к 2050 г. позволяет сэкономить **до 240 млн. т.н.э.** по сравнению с базовым сценарием. Ожидается, что степень проникновения на рынок по крайней мере некоторых из этих технических решений (эффективных шин и улучшенных систем кондиционирования воздуха) окажется довольно высокой – порядка 80%. Полностью гибридные двигатели (если одновременно с ними будут внедрены трансмиссионные технологии и другие новшества, позволяющие разгрузить двигатель) к 2050 г. будут потреблять вдвое меньше топлива по сравнению с сегодняшними бензиновыми двигателями. Правда, ввиду сравнительной дороговизны некоторых гибридных видов двигателей, степень их распространенности будет варьироваться. Полностью гибридная трансмиссия будет ставиться на крупные и дорогие автомобили. Но еще раньше на более компактных моделях автомобилей начнут устанавливать облегченные гибридные двигатели, у которых гибридный принцип работы будет применяться только к стартеру и генератору переменного тока. **В сценарии MAP в 2050 г. из всего действующего парка легковых автомобилей 20% будут оснащены полногибридными, еще 20% – среднегибридными и 45% – облегченными гибридными системами трансмиссии.** Также в этом сценарии гибридными двигателями будет оснащено чуть более трети (35%) среднетоннажных грузовиков и порядка 75% автобусов. **Повышение эффективности в результате внедрения гибридных систем (рекуперативное торможение, уменьшение объема двигателя, повышение времени работы двигателя внутреннего сгорания в оптимальном режиме) позволит сэкономить 265 млн. т.н.э.**⁸⁹

Реализация технического потенциала на транспорте к 2050 году по МЭА (WEO 2007) для легковых автомобилей приведена ниже.⁹⁰

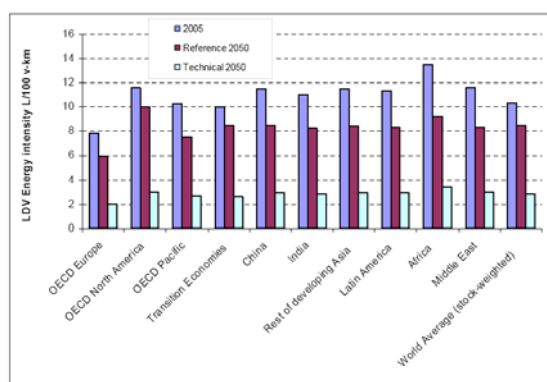


Figure 32: Reference scenario and 2050 technical potential energy intensities for different regions for LDV transport

Как видно из графика, МЭА предполагает реализацию только незначительной части технологического потенциала. В числе важнейших причин низкие темпы модернизации автомобильной промышленности и обновления автопарка.

По оценкам Гринпис, за счет технологических и системных решений глобальное потребление энергии на транспорте может стабилизироваться на нынешнем уровне. Объем потребляемой нефти на транспорте снизится с 2,6 млрд. т у.т. до 2,3 млрд. т у.т. к 2030 г. и до 1,5 млрд. т у.т. к 2050 г. Роль и доля электромобилей значимо вырастет после 2020 года. К 2020 г. доля электромобилей в автопарке может составить 4%. **К 2050 г. свыше 50% автопарка может быть представлена электромобилями.**

Примеры по странам

⁸⁹ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

⁹⁰ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

По данным ЕРА, внедрение разрабатываемых в настоящее время более жестких стандартов для автопрома (см. ниже) позволит за счет новых более экономичных машин, проданных в 2012-2016 гг. предотвратить потребление нефти в объеме 1,8 млрд. баррелей (около 250 млн. тонн нефти или 350 млн. т у.т.) за жизненный цикл автомобилей.⁹¹ Для сравнения, потребление нефтепродуктов в транспортном секторе США в 2005 году составляло 912 млн. т у.т., всего США потребляли в 2005 году 1,36 млрд. т у.т. нефти. В целом к 2030 году снижение парниковых выбросов составит 21% только для парка легковых автомобилей по сравнению с ситуацией, если бы стандартов не было. При этом легковые автомобили потребляют 40% всей нефти в США.⁹²

Table 1 - Projected Fleet-Wide Emissions Compliance Levels under the Footprint-Based CO₂ Standards (g/mi) and Corresponding Fuel Economy (mpg)

	2012	2013	2014	2015	2016
Passenger Cars (g/mi)	263	256	247	236	225
Light Trucks (g/mi)	346	337	326	312	298
Combined Cars & Trucks (g/mi)	295	286	276	263	250
Passenger Cars (mpg)	33.8	34.7	36.0	37.7	39.5
Light Trucks (mpg)	25.7	26.4	27.3	28.5	29.8
Combined Cars & Trucks (mpg)	30.1	31.1	32.2	33.8	35.5

По оценкам МЭА, Американская программа модернизации автопарка CAFE даст снижение парниковых эмиссий к 2030 году на 252 млн. т CO₂ в год.⁹³ Это примерно корреспондируется с оценками ЕРА.

В США более 250 миллионов автомобилей. Продажи автомобилей составляют в среднем 12 млн. штук в год (около 5% парка). 60% автомобилей старше 7 лет, 38% старше 10 лет.⁹⁴ Поэтому даже немедленный переход автозаводов на производство гибридов и электромобилей позволит полностью заменить парк автомобилей США лишь более чем за 20 лет.

Объем продаж автомобилей в Китае за 1-е полугодие 2010 г составил 9,02 млн единиц, что на 47,67 проц превышает показатель за аналогичный период прошлого года. Что касается производства, то за первое полугодие в КНР было собрано 8,92 млн машин.⁹⁵ При этом продажи электрокаров в Китае составляют лишь 5% от всех продаж легковых автомобилей.⁹⁶

По оценкам WWF Германии, в Германии выбросы CO₂ в транспортном секторе могут снизиться с нынешних 180 млн. тонн до 30 млн. тонн за счет повышения эффективности ДВС и перехода на гибриды и электромобили. **Общее снижение топливопотребления на всем транспорте может составить 41% к 2050 году.** Безгибридные ДВС могут исчезнуть в Германии после 2045 года. **К 2050 году электромобили с полным электроприводом могут составлять 18% всего автопарка Германии.** К 2050 году энергопотребление новых машин снизится на 64%. В грузовом секторе Германии может вырасти доля ж/д транспорта с удвоением протяженности ж/д дорог до 2030 г. Грузовые автомобили повысят эффективность на 25%. На воздушном транспорте удельное топливопотребление может снизиться на 40%, что приведет к абсолютному снижению топливопотребления на авиатранспорте на 10% к 2050 г.

⁹¹ <http://www.epa.gov/oms/climate/regulations/420f10014.htm#footnotes>

⁹² Там же

⁹³ «Низкоуглеродный сценарий развития мировой энергетики», Экономическое обозрение, дек. 2007.

⁹⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Passenger_vehicles_in_the_United_States

⁹⁵ <http://www.iguru.ru/Shares/Show.aspx?id=%7B89FE9438-EAAE-4AEE-B455-B895F55B4A78%7D>

⁹⁶ <http://www.rb.ru/topstory/economics/2010/08/19/150132.html>

Снижение топливопотребления на транспорте станет возможным возможно, в том числе, за счет:

- повышения стоимости жидкого топлива до 2,5 евро за литр к 2030 г.
- ограничения выбросов 70 грамм CO₂ на один км пробега для легкового транспорта к 2030 г.
- ограничение скорости 120 км/час.⁹⁷

Китай стремится стать законодателем мировой моды на электромобили. Правительство Китая создало Ассоциацию производителей электромобилей, в которую вошли 16 крупнейших госкомпаний и исследовательских институтов. В их числе – China Faw, Dongfeng Motor, China Changan Automobile Group, производители аккумуляторных батарей и энергетическая компания State Grid. Китай решил объединить усилия всех госкомпаний для достижения одной цели – к 2012 году стать одним из ведущих производителей электрокаров в мире. Только в 2010 году на строительство технической платформы по развитию электромобилей будет выделено 1,3 млрд юаней. До 2012 года китайское правительство намерено инвестировать в производство электромобилей 100 млрд юаней, или почти \$15 млрд.

Для развития электромобилей в Китае есть ряд положительных предпосылок. Например, китайцы крайне редко совершают междугородние поездки на автомобилях. Ежедневные поездки на работу довольно короткие, и чаще всего из-за пробок – на невысоких скоростях.⁹⁸

Китай намерен решать эти проблемы с помощью тех же инструментов, которые помогли ему в рекордные сроки пройти индустриализацию и организовать Олимпийские игры в Пекине: огромное количество энергии, денег и людей.⁹⁹

Последствия развития технологии и что следует предпринять руководству России для развития рассматриваемой технологии

Возможное последствие внедрения ЭЭ технологий в транспортном секторе и развития электромобильного транспорта – снижение спроса на нефть в транспортном секторе (примерно на 0,3 млрд. т у.т. или на 10% к 2030 г. по оценкам Гринпис).

Использование биотоплива резко снизит энергетическую зависимость государств-импортеров нефти, см. также раздел 3.1.3.

Социальные последствия. В 20 веке автомобиль являлся важным символом социального статуса. Это стимулировало создание автомобилей избыточной мощности и энергопотребления. Уже в начале 21 века появились микролитражки престижных марок (Мерседес, Ауди и т.п.). Общее снижение роли статусного потребления в Западной Европе и осознание необходимости предотвращения изменения климата может изменить направление «автомобильной моды». Например, в первом десятилетии 21 века в Евросоюзе не только растет доля велосипедного транспорта, но появилась профессия велорикши.¹⁰⁰

Экологические проблемы электромобилей. Спрос на литиевые батареи может возрасти в четыре раза в течение ближайших десяти лет. Аккумуляторы требуют постоянного обслуживания и периодической замены. Срок службы аккумуляторов сейчас оценивается на уровне пяти-семи лет, после чего они требуют замены. Пока не проработаны технологии и схемы утилизации батарей, которые, теоретически, можно использовать для питания менее энергоемких устройств, чем автомобиль.

⁹⁷ Blue print Germany. Strategy for a climate save 2050. WWF Germany.

⁹⁸ <http://www.rb.ru/topstory/economics/2010/08/19/150132.html>

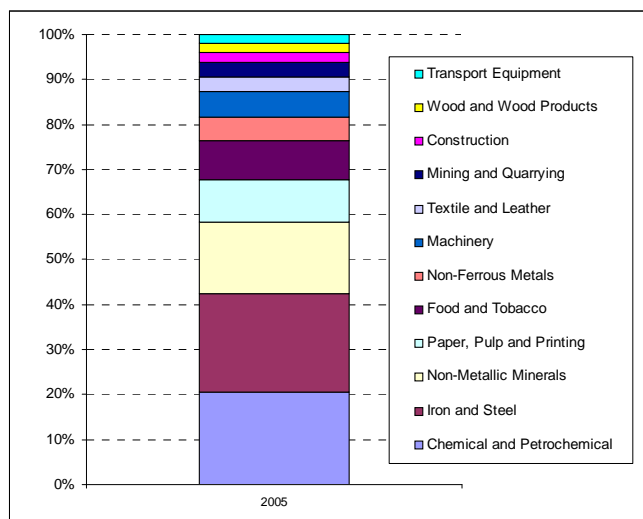
⁹⁹ <http://www.rb.ru/topstory/economics/2010/08/19/150132.html>

¹⁰⁰ <http://www.torange.biz/category/transport/Bicycles/244.html>, <http://velotransunion.ru/node/758>

Экологические проблемы биотоплива. Требуются ограничения в производстве биодизеля из ряда культур.

2.3. Промышленность

Потребление первичной энергии в мировой промышленности составляло **3,4 млрд. т у.т.** (2007 г.) или треть от всего потребления первичной энергии. Распределение энергопотребления в промышленности приведено ниже.¹⁰¹



В данный момент отсутствует подробная статистика в отношении распределения промышленного потребления конечной энергии, однако приблизительные оценки показывают, что 15% потребляется при производстве сырья, 20% – в энергетических процессах при температурах выше 400°C, 15% – в системах электроприводов, 15% – для выработки пара с температурами от 100 до 400°C, 15% – для выработки низкотемпературного тепла и 20% – в остальных приложениях, таких, как освещение и транспорт.

Доля энергии, используемой для производства основных материалов, была довольно стабильной на протяжении 30 лет, однако доли отдельных подсекторов значительно изменились. Например, доля энергии на производство чугуна и стали с 1971 г. уменьшилась с 24% до 18%, в то время как доля энергии на производство аммония, этилена, пропилена и ароматических углеводородов увеличилась с 6% до 15%.

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик.

Ниже дана одна из оценок потенциала энергосбережения по ключевым секторам промышленности, где Revolution Scenario – сценарий Гринпис, Reference Scenario – сценарий МЭА WEO 2005.¹⁰²

¹⁰¹ Ecofys, 2008

¹⁰² Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

Table 20: Summary table regarding assumptions technical potentials in 2050

Sector	Unit (specific final energy)	Specific energy consumption (GJ/tonne)	Current best practice	Thermodynamic minimum	Technical potential in [r]evolution scenario			Reference scenario
		2005	2005		2020	2030	2050	2050
Iron and steel	Primary steel BF/BOF route (GJ/tonne crude steel)	10	6.4	1.3				
Iron and steel	Primary steel OHF route (GJ/tonne)	23						
Iron and steel	Secondary steel EAF route (GJ/tonne crude steel)	2.2	1.6	1.3				
Iron and steel	Hot/cold rolling (GJ/tonne crude steel)	2.9	2.2	0.05				
Iron and steel	Share secondary steel	35%	35%		41%	48%	60%	
Iron and steel	GJ/tonne crude steel	12.5	5.5	1.3	10.3	8.0	3.5	8.0
Iron and steel	Index (GJ/tonne crude steel)	100	44	10	82	64	28	64
Non-metallic minerals	GJ/tonne clinker	4.2	3.1	1.8	3.9	3.5	2.8	
Non-metallic minerals	Clinker to cement ratio	80%	25%	<25%	75%	70%	60%	
Non-metallic minerals	Electricity use grinding/blending (kWh/tonne cement)	110	105	<100				
Non-metallic minerals	GJ/tonne cement	3.7	1.2	<0.5	3.2	2.7	1.7	2.4
Non-metallic minerals	Index (GJ/tonne)	100	31	<14	86	73	45	64
Aluminium	Primary aluminium (MWh/tonne aluminium)	15.3	12.5	6.4	13.85	12.4	9.5	
Aluminium	Secondary aluminium (GJ/tonne aluminium)	0.8	0.8	<0.8	0.7	0.7	0.7	
Aluminium	Share secondary aluminium	33%	33%	100%	40%	47%	60%	
Aluminium	GJ/tonne aluminium	10.5	8.6	<0.6	8.9	7.4	4.2	6.7
Aluminium	Index (GJ/tonne aluminium)	100	82	<6	85	70	40	64
Ammonia production	GJ/tonne ammonia	15	8					
Ammonia production	Ammonia (index)	100	53					
Chlorine production	MWh/tonne chlorine	3.6	2.6					
Chlorine production	Chlorine (index)	100	72					
Ethylene production	Ethylene production by naphtha (GJ/tonne)	25-40	18					
Ethylene production	Ethylene production (index)	100	60					
Chemical and petrochemical	Index best practice implementation (GJ/tonne)	100	62		89	77	55	
Chemical and petrochemical	Index improved material efficiency and recycling (GJ/tonne)	100			95	90	80	
Chemical and petrochemical	Index (GJ/tonne)	100			86	72	45	64
Other industries	Index (GJ/tonne)	100			84	68	35	64
Total industry	Index (GJ/tonne)	100			84	69	38	64

Вероятные масштабы использования ЭЭ технологий в энергосистемах (с учетом экологических, технологических и экономических ограничений).

По оценкам МЭА (WEO 2009), энергопотребление в промышленности вырастет до 4,9 млрд. т у.т. к 2030 году и до 6 млрд. т у.т. к 2050 году. По более оптимистичному сценарию МЭА (ACT MAP 2006), потребление вырастет до 5,56 млрд. т у.т., при этом сильно упадет доля угля (в основном за счет газа). По оценкам МЭА, углеродоемкие отрасли промышленности будут оборудованы технологиями CCS.

По оценкам Гринпис, при внедрении ЭЭ технологий потребление стабилизируется на уровне 4 млрд. т у.т. к 2030 г. и снизится до **3,9 млрд. т у.т.** к 2050 году.

Примеры по странам

По оценкам WWF Германии, сокращение энергопотребления в промышленности Германии может составить **53%** к 2050 году. В основном это может быть достигнуто за счет снижения удельного теплопотребления, например в металлургии. При росте производства на 20% к 2050 году потребление тепловой энергии может быть снижено на 50%.¹⁰³

Технологии и масштабы их применения по ключевым промышленным отраслям приведены ниже.

¹⁰³ Blue print Germany. Strategy for a climate save 2050. WWF Germany.

2.3.1. Металлургия

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик

Сравнение существующей и наилучших технологий в **черной металлургии** приведено ниже.

Table 18: Best practice final energy consumption for iron and steel production [Kim and Worrell (2002), IISI (1998) and IEA (2006) for current best practice and Fruehan et. al (2000) for theoretical and practical minimum]

Product	Specific final energy consumption (GJ/tonne steel)			
	Current global average	Current best practice	Theoretical minimum (practical minimum)	Estimated best practice in 2030
Primary steel production in basic oxygen furnace (BOF) including energy consumption in blast furnace for pig iron production ⁸	10	6.4	1.3 (1.6)	4.3
Steel production in electric arc furnace (EAF) with scrap input	2.2	1.6	1.3 (1.6)	1.6
Direct reduction processes	N/A	5	N/A	3.3
Smelting reduction processes	N/A	6.1	N/A	4.1
Hot rolling	2.2	1.7	0.03 (0.9)	1.1
Cold rolling	1.2	0.8	0.02 (0.02)	0.1

Доменное производство стали требует 13-14 ГДж/т, а с коксованием и подготовкой руды до 17 ГДж/т. Переплавка металлолома в электродуговой печи требует 1,6 ГДж/т.

Использование металлолома. Наиболее экономичным является производство вторичного металла (из металлолома), поэтому одним из главных направлений снижения энергопотребления в черной металлургии должно стать увеличение в производстве доли металлолома. Накопленное в мире количество стали примерно равно десятилетнему объему производства. Для точного прогноза количества доступного лома необходим более тщательный баланс металла.

Технологии восстановления оксидов металла и обработки металла. Металлургическое производство очень капиталоемко, поэтому технологические изменения происходят медленно. Сейчас важнейшие технологии, позволяющие снизить затраты энергии в черной металлургии, это:

- замещение кокса в домнах угольной пылью, и частично отходами пластика;
- замещение мартенов (оставшихся преимущественно в России и на Украине) кислородными конверторами и электропечами;
- прямое литье проката (без промежуточного нагрева слэбов). В СССР впервые в мире была построена машина непрерывного литья заготовок, завод по производству окатышей, освоены высокопрочные марки стали, однако распространялись эти новшества медленнее, чем в странах ОЭСР;
- замещение дуговых электропечей переменного тока индукционными;
- прямое одноступенчатое восстановление железа из руды.
- для черной металлургии революционным станет переход с углеродных на водородные процессы восстановления металла из оксидов. При температуре ниже 830 °С более сильным восстановителем является СО, выше — водород. Это потребует производство водорода. Наиболее перспективным источником водорода является «солнечная» химия (см. раздел 3.2).

Сравнение существующей и наилучших технологий в **алюминиевой промышленности** приведено ниже.

	Мировая практика, 2008 (среднее значение)	Теоретический минимум	Наилучшая существующая практика
Первичный алюминий	15,3 МВт-час/т	6,4 МВт-час/т	12-13 МВт-час/т

Для алюминия революционной технологией, позволяющей на 30% снизить потребление электроэнергии и еще значительно выбросы CO₂ станет замена угольных анодов инертными. Сейчас при получении металла стандартным способом на выпуск 1 т алюминия уходит до 0,5 т анодной массы, использование которой приводит к выбросу в атмосферу углекислого газа¹⁰⁴.

Энергоемкость плавки вторичного алюминия (0,7 ГДж/т) в 20 раз меньше, чем энергоемкость производства первичного алюминия (без затрат на добычу руды и подготовку глинозема). Поэтому самым эффективным способом энергосбережения является сбор и повторная переработка металлолома.

Вероятные масштабы использования новых технологий в энергосистемах (с учетом экологических, технологических и экономических ограничений).

Черная металлургия. Прогноз снижения удельной энергоемкости получения стали из руды по оценкам МЭА приведен ниже и составляет по миру около 8 ГДж на тонну металла (темный столбик – прогноз МЭА WEO 2009).

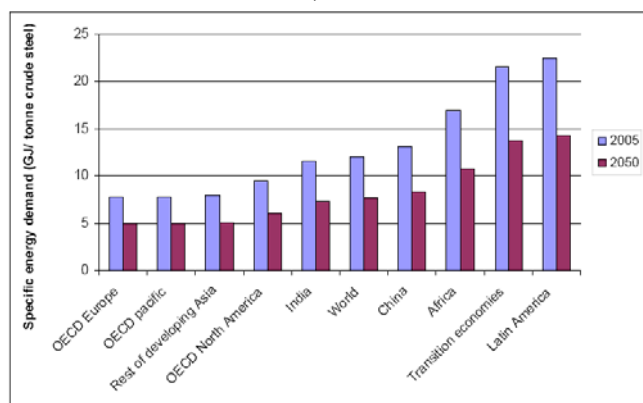


Figure 28: Specific final energy consumption (GJ/tonne steel) for iron and steel production in the reference scenario

По оценкам ECOFYS, удельное энергопотребление в черной металлургии может снизиться до 2,4 ГДж/т за счет следующей композиции технологий:

- 60% металла производится из металлолома;
- 20% металла производится конверторным способом;
- 20% за счет прямого восстановления.¹⁰⁵

Пока же доля лома в черной металлургии за 40 лет снизилась с 37 до 35%. Это вызвано резким ростом потребления стали в Китае. В то же время в ЕС объем производства большинства металлов уже примерно равен объему поступления лома. Можно ожидать, что до 2030 г. после насыщения потребления в Китае наступит рост потребления стали в беднейших странах Африки и Азии. К 2050 г. рост потребления стали замедлится, и доля металлолома в выплавке стали вырастет до 70-80%.

¹⁰⁴ <http://www.metalinfo.ru/ru/news/39260>

¹⁰⁵ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

Алюминиевая промышленность. Доля вторичного алюминия в общей выплавке сейчас составляет примерно 33%. Доля металлолома может достичь к 2050 году 60%. По некоторым оценкам, так как производство алюминия растет быстрее всего из всех крупнотоннажных металлов, замедление роста потребления алюминия и соответственно замещение первичного производства вторичным будет происходить медленно.

Тем не менее, в сочетании с более эффективным энергопотреблением рост доли металлолома до 60% может обеспечить удельное энергопотребление в размере 4,2 МВт-час/тонна.¹⁰⁶

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

До 2030 г. основным трендом в металлургии станет переход на уже разработанные технологии со снижением потребления угля. Это приведет к закрытию коксовых заводов и части шахт. В производстве стали в России также планируется переход от доменных и мартеновских технологий к современным. В соответствии с проектом Госпрограммы энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года, в России предполагается снизить долю мартеновской стали с 27% до 5,8% к 2020 году.

В 2030-2050 гг. использование ВИЭ для энергоснабжения металлургии, а также водорода для восстановления металлов позволит полностью отказаться от использования твердого угля в металлургии. Это приведет к снижению оптимальных размеров заводов и децентрализации металлургической промышленности. Снижению производства стали и, следовательно, потребления энергии будет также способствовать переход на высокопрочные марки стали, например, азотированной.

Изменения в технологии аккумуляторов окажут сильнейшее воздействие для металлургии цветных металлов.

РУСАЛ ведет работы по получению инертных анодов.

2.3.2. Химическая промышленность

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик.

Более половины всей энергии (16 ЭДж/год), используемой в этом секторе, приходится на производство сырья (так называемое неэнергетическое использование). Большая часть углерода из нефти или газа оказывается в конечных продуктах, таких как пластик, растворители, аммиак и метанол. Три четверти углеводородного сырья составляет нефть, четверть – газ. Доля угля невелика.

Природный газ используется для производства аммиака, метанола и других продуктов. Этан, пропан и бутан являются компонентами газа, которые используются для производства олефинов.

На процессы сепарации уходит до 40% всей энергии, используемой химической промышленностью, и более 50% эксплуатационных затрат. Мембранные технологии сейчас бурно развиваются и до 2030 г можно ожидать, что они станут основными в процессах разделения газов и многих жидкостей. Уже сейчас мембраны позволяют разделять фракции природного и попутного газов, разделять воздух на азот, кислород и CO₂.

В химии революционным может оказаться переход к нетермическим способам активации химических реакций – электронно-лучевым, лазерным, электротермическим, фототермическим, механохимическим. Так, электронно-лучевая активация позволяет проводить расщепление тяжелых фракций нефти с получением газов и ароматических соединений.

¹⁰⁶ Там же

Прогресс исследований в области фототермической активации реакций позволит использовать солнечную энергию как основной источник энергии в химии.

Создание новых видов катализаторов приведет к резкому снижению энергии активации реакций, температур процессов, степени конверсии. Это позволит резко снизить использование первичной энергии, повысить маневренность производства и снизить единичные масштабы установок.

Уже разработана технология синтеза аммиака в солнечной установке. Создан термический и в процессе развития механохимический процесс синтеза окислов азота. В перспективе можно полностью отказаться от природного газа как сырья для производства аммиака и азотной кислоты.

Перспективным является процесс паровой конверсии угля в синтез-газ с дальнейшим получением метанола и широкого спектра органических соединений. Большие перспективы перед химическим использованием биогаза.

Существенно снизить энергозатраты в нефтехимии можно за счет использования попутных нефтяных газов, содержащих большое количество этана, пропана и других алканов. Большое разнообразие состава попутных газов требует создания локальных газоперерабатывающих заводов и транспортировки сжиженных газов.

Очень энергоемким является процесс электролиза поваренной соли с получением едкого натра, водорода и хлора. Натрий как восстановитель во многих случаях может быть заменен водородом, а щелочь как катализатор – электрохимической активацией воды.

Применение хлора, скорее всего, сократится по экологическим причинам. ПВХ труден в утилизации и выделяет диоксины при сжигании, ухудшает свойства других пластиков при рециклинге. Хлор как окислитель может быть заменен перекисью водорода. При обеззараживании воды соединения хлора замещаются озоном, перекисью водорода, ультрафиолетовой и плазменной обработкой. Применение хлорсодержащих пестицидов будет ограничено. Поэтому следует ожидать резкого сокращения производства едкого натра и хлора.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

Уровень энергосбережения в результате использования мембран существенно различается в зависимости от устройства и эффективности сепарации мембраны, он находится в пределах от 20% до 60%. В нефтехимии переход на мембранные технологии позволяет снизить потребление энергии на разделение на 80%. Применение мембранных технологий в производстве полиэтилена снижает удельное энергопотребление на 35%.

В производстве хлора переход на мембранные технологии получения хлора с технологиями с использованием ртути позволяет снизить удельное энергопотребление до 2600 кВт-ч/т. Среднее энергопотребление в мире составляет 4000-4500 кВт-ч/т.

По оценкам ECOFYS, снижение удельного энергопотребления в химической отрасли может составить 45% к 2050 году. С учетом использования вторичного сырья этот показатель может вырасти до 55%.

Будет расти доля рециклируемых пластиков, что снизит удельные затраты в их производстве.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Новые методы активации химических реакций и новые катализаторы позволят проводить многие реакции при менее экстремальных условиях. Использование ВИЭ, в первую очередь солнечной энергии, сделает менее критичным общее энергопотребление, но потребует снижения единичных масштабов установок и отказа от непрерывных производств.

Это резко изменит облик химической промышленности. Существующие основные фонды быстро морально устареют. На смену гигантским заводам могут прийти мини-заводы на солнечной и ветровой энергии. Концентрация производства сохранится вблизи крупных ГЭС и ПЭС.

Отказ от природного газа как сырья для производства азотных удобрений и снижение масштабов производства приблизит производителей к потребителям. При этом с ростом популярности органического земледелия мировое потребление азотных удобрений может существенно снизиться.

Для России это означает необходимость закрытия или перепрофилирования крупных (часто градообразующих) заводов и необходимость поиска новых ниш в мировом разделении труда.

2.3.3. Производство строительных материалов

Наиболее энергоемким производством является производство цемента. Цемент является самым крупнотоннажным продуктом промышленности (более 3 млрд. тонн). Производство цемента обеспечивает 5% глобальных парниковых выбросов.¹⁰⁷ Высокое потребление цемента (0,5 т на человека в год) в значительной степени связано с неэффективным его использованием и недостаточным применением других конструкционных материалов.

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик.

	Средняя энергоемкость в мире (2005 г.)	Наилучшая практика
Цемент	3,7 ГДж/т (80% клинкера)	1,7 ГДж/т (70% клинкера)
Клинкер	4,2% ГДж/т	2,8% ГДж/т

Страна	Доля в мировом производстве, проценты, 2006 г.	Технологии производства клинкера, в процентах от национального производства			
		«сухой» способ, ~3 ГДж/т	«полусухой» способ, >3 ГДж/т	«мокрый» способ, >6 ГДж/т	старые шахтные печи, ~5 ГДж/т
Китай	47,1	50	0	3	47
Индия	6,1	50	9	25	16
США	3,9	82	0	18	0
Япония	2,7	100	0	0	0
Ю. Корея	2,2	93	0	7	0
Россия	2,1	12	3	78	7
Испания	2,1	92	4,5	3,5	0
Мексика	1,6	67	9	23	1

Более тонкий помол цемента и песка позволяет получить цемент более высоких марок. Армирование бетона волокном (шинный корд, отходы пластиков, волокна целлюлозы, минеральные волокна), применение углеродных наночастиц для изменения микроструктуры цемента,¹⁰⁸ использование активированной (гидроксилированной) воды вместе с использованием программ расчета строительных конструкций позволяют снизить удельный расход цемента.

Использование в качестве сырья металлургических шлаков и золы-унос угольных ТЭС, трепела позволяет получить цемент без реакций с выделением CO₂.

Кроме того, есть заменяющие бетон неуглеродные конструкционные материалы, не выделяющие CO: серобетон, литой базальт.

¹⁰⁷ Экологический отчет ОАО «Щуровский цемент» за 2008-2009 гг. М.2010.

¹⁰⁸ <http://inno.ru/project/24104/>

Для малоэтажного строительства вместо кирпича и бетона успешно применяется пневмоформование глино-песчаных смесей с энергопотреблением 4 кВт-ч/куб.м.¹⁰⁹

Радикальной инновацией является электронно-лучевая технология производства цемента, созданная в России. При высоком расходе электроэнергии 3 ГДж/т она позволяет производить цемент периодически и использовать временный избыток электроэнергии. Перспективы этой технологии определяются перспективами ВИЭ.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

По оценкам ECOFYS, снижение удельной энергоемкости производства цемента может составить 45% к 2050 г.

Необходимые действия в России для развития указанных технологий

- Переход российской цементной промышленности на сухой способ «производства» цемента и использование альтернативных видов топлива.

- Замена помольного оборудования и переход на выпуск только высокомарочного цемента. Использование вместо низкомарочного цемента сухих строительных смесей.

- Повышение культуры проектирования, снижение потребления стройматериалов.

- Использование серы (отхода химических и металлургических производств) для производства серобетона (только в Северном Прикаспии при очистке природного газа получается 6-9 млн. т элементарной серы).

- В ряде районов Сибири и Дальнего Востока экономически и экологически целесообразно использовать мини и микро производства по переплавке металлолома и производству стройматериалов на местной гидроэнергии, включая сезонные бесплотинные ГЭС, и ветроэнергии.

- Очень энергоемким является производство стекла и литого камня, связанное с плавлением материалов. В то же время использование «неуглеродной» энергии и рекуперации тепла может привести к большому распространению этих материалов.

2.3.4. Целлюлозно-бумажная промышленность

Производство бумаги из целлюлозы теоретически может осуществляться при близком к нулевому потреблению энергии, и существует значительный потенциал повышения эффективности этой технологии.

Увеличение доли макулатуры позволяет снизить удельные показатели энергопотребления: производство бумаги из макулатуры потребует электроэнергии (0,7 ГДж/т), но удельный расход втрое меньше, чем электроэнергии (без тепловой) для получения первичной бумаги.

¹⁰⁹ <http://www.ruskachely.ru/news/>

2.3.5. Механическая энергия в промышленности

Основным источником механической энергии является электропривод. На электроприводные системы приходится до 60% всей электроэнергии, потребляемой промышленностью, и более 30% потребления электроэнергии в целом. Во многих случаях решением проблемы снижения электропотребления является частотно-регулируемый электропривод. Его применение наиболее выгодно при переменной нагрузке на электродвигатель и позволяет снизить затраты электроэнергии в среднем на 30%.

Для всей промышленности важное значение имеет переход на управляемые приводы постоянного и переменного тока, более эффективные электродвигатели (потребление 5% электроэнергии в мире), насосы, компрессоры. Снижение удельного электропотребления за счет рассматриваемых технологий может составить 40%. Кроме того, для промышленности значительный эффект может быть достигнут за счет оптимизации производства и интеграции «холодных» и «горячих» процессов.¹¹⁰

Только в Европе меры по повышению КПД электроприводов помогут сократить потребление энергии на 29%. Общие капиталовложения в подобную программу составили бы 500 млн. долл., при этом ежегодная экономия достигла бы 10 млрд. долл. (Keulenaer и др., 2004).

Характеристики электроприводных систем можно улучшить путем оптимизации их с точки зрения требований конечного использования. Наибольшие резервы повышения эффективности у насосов и вентиляторов.

Технологическая революция началась в металлообработке. Применение ультразвука (резонансное резание)¹¹¹ и применение волоконных лазеров¹¹² в операциях резки, сверления, точения, фрезерования позволяют снизить расход электроэнергии вчетверо при одновременном улучшении качества обрабатываемых поверхностей.

Следствием применения новых технологий станет снижение затрат электроэнергии и существенные технологические сдвиги в машиностроении и металлообработке.

¹¹⁰ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹¹¹ www.ntg-autoresonans.com

¹¹² http://www.ntoire-polus.ru/apps_materials.html

3. Мировая энергетика 2050: технологии производства первичной энергии

3.1. Традиционная энергетика

3.1.1. Уголь

(Рассматриваются только технологии в электроэнергетике).

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик конденсационных ТЭС на каменном угле^{113 114}

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
КПД эл.	45	46	48	50	52	53
Капитальные затраты, долл. США/кВт	1320	1230	1190	1160	1130	1100
Стоимость электроэнергии с учетом стоимости парниковых выбросов, цент/кВт-час	6,6	9,0	10,8	12,5	14,2	15,7
Удельные парниковые выбросы CO ₂ /кВт-ч	744	728	697	670	644	632

Средний КПД угольных станций на 2003 г. был равен 35%.

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик конденсационных ТЭС на буром угле^{115 116}

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
КПД эл.	41	43	44	44,5	45	45
Капитальные затраты, долл. США/кВт	1570	1440	1380	1350	1320	1290
Стоимость электроэнергии с учетом стоимости парниковых выбросов, цент/кВт-час	5,9	6,5	7,5	8,4	9,3	10,3
Удельные парниковые выбросы CO ₂ /кВт-ч	975	929	908	898	888	888

В ближайшие 10-20 лет в угольной энергетике будут строиться энергоблоки со сверхкритическими и суперсверхкритическими параметрами пара. Технология сверхкритического парового цикла является коммерческой, а существующие проекты финансируются частным сектором. В Китае по SCSC строится половина всех новых станций (в 2003 г. более 40 ГВт).

Технология суперсверхкритического парового цикла (с давлением 30 МПа и температурой 600°C) повышает КПД с 34–36% до 44–46 процентов. Такие установки обеспечивают меньший удельный расход угля и снижение выброса углекислого газа на 25% на единицу выработки электроэнергии. Мировое энергомашиностроение движется к достижению температуры 700°C и КПД

¹¹³ Данные DLR для стран ОЭСР

¹¹⁴ С учетом стоимости парниковых выбросов только на стадии генерации, исходя из стоимости парниковых выбросов 20 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2020 г., 30 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2030 г., 40 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2040 г., 50 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2050 г.

¹¹⁵ Данные DLR для стран ОЭСР

¹¹⁶ С учетом стоимости парниковых выбросов только на стадии генерации, исходя из стоимости парниковых выбросов 20 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2020 г., 30 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2030 г., 40 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2040 г., 50 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2050 г.

55–57 процентов. По заявлению российских машиностроителей, российская промышленность готова к выпуску энергоблоков с суперсверхкритическими параметрами пара.

Традиционные способы сжигания пылевидного угля в факелах будут заменяться на сжигание в «циркулирующем кипящем слое» (ЦКС). Эта технология не столь зависима от качественных характеристик угольного топлива, как традиционная факельная, то есть позволяет сжигать уголь с разных месторождений. При этом уменьшаются выбросы загрязняющих веществ.

Для котлов небольшой и средней мощности с ЦКС может конкурировать сжигание водоугольного топлива. Оно дает еще меньшие выбросы и более высокий КПД. Однако переход на более мощные агрегаты требует значительных НИОКР.

После 2020 г. основной технологией может стать IGSS (интегрированный цикл комплексной газификации угля) – преобразование угля в газ. Углекислый газ и все выбросы удаляются на этапе газификации и/или после нее, а полученный газ тут же сжигается в традиционных паросиловых или парогазовых установках.¹¹⁷ Сегодня капитальные затраты станций IGCC приблизительно на 20% выше, чем у обычных станций.

Улавливание и захоронение углерода (CCS)

Для снижения выбросов углекислоты было предложено улавливать и связывать углекислый газ (Carbon Capture and Storage). Существуют две основных технологии: интенсификация поглощения CO₂ растениями (например, в бассейне с водорослями) или захоронение в горных породах (в том числе в нефтегазовых пластах).

По оценкам МЭА, внедрение CCS ведет к удорожанию конечной продукции угольных ТЭС на 21-91%.

По оценкам Гринпис, снижение стоимости электроэнергии от ВИЭ сделает сжигание угля с CCS неконкурентоспособным.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

Последние 30 лет ситуация с угольной энергетикой противоречива. С одной стороны, уголь дешевле нефти и газа, и более равномерно распространен. По состоянию на 2008 год дешевых мировых запасов нефти хватит на 20 лет при текущем уровне добычи, газа на 60 лет, угля на 122 года.¹¹⁸ С другой стороны, экологические последствия сжигания угля уже в 70-х годах 20 века заставили принять решительные меры. В Западной Европе уголь отличается высоким содержанием серы и основной опасностью стали кислотные дожди. Там и в США был создан экономический механизм в виде квотирования выбросов серы и торговли выбросами, сделаны огромные капиталовложения в обогащение угля и в системы очистки дымовых газов. В 1980-х годах была объявлена так называемая «Газовая пауза» - временный переход к газовой электрогенерации пока не будут созданы экологически приемлемые технологии получения энергии.

Большой объем исследований и огромные капиталовложения позволили радикально снизить выбросы серы и пыли. Однако уголь оказался главным источником антропогенных выбросов CO₂. Угроза изменения климата заставила пересмотреть отношение к угольной энергетике.

¹¹⁷ «Общие тенденции развития мирового рынка энергетических углей», Экономическое обозрение, дек. 2007.

¹¹⁸ Memento sur l'énergie/Energy handbook/ - Paris: Commissariat à l'énergie atomique, 2009.

Доля угля в первичном потреблении энергии в мире с 1974 г. оставалась практически постоянной 26-28%. При этом в электроэнергетике она несколько выросла до 39% - сначала за счет отказа от сжигания мазута на ТЭС, а затем за счет бурного роста угольных ТЭС в Китае.

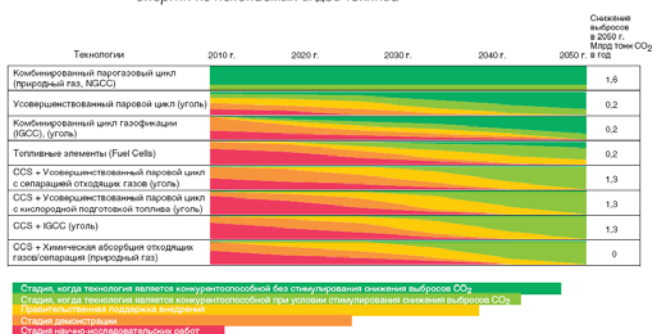
В 2009 г. на долю Китая приходилось 10,4% мирового потребления нефти, 3% газа, и 47% угля.¹¹⁹ В начале 2010 года Китай передал в Климатический секретариат ООН обязательство снизить к 2020 г. удельные выбросы CO₂ на 40-45%.¹²⁰ Выполнение такого обязательства потребует сокращения сжигания угля.

За это время в газовой генерации были созданы комбинированные парогазовые электростанции с КПД до 60%. По экономическим и экологическим параметрам газовая энергетика оставляет угольную далеко позади. Технология прямого восстановления железа также использует газ, что позволяет вытеснить уголь из металлургии.

Тем не менее, угольные электростанции продолжают строить. Предусмотрены они и Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики в России.

Оценка МЭА внедрения различных технологий в электроэнергетике на ископаемом топливе приведена ниже.¹²¹

Рисунок 3.4 ▶ Достижение ценовой конкурентоспособности технологиями генерации энергии из ископаемых видов топлива



По оценкам МЭА (WEO 2009), потребление угля в производстве первичной энергии в мире вырастет с 4,6 млрд. т у.т. до 7,7 млрд. т у.т. к 2050 году.¹²² Производство электроэнергии на угольных станциях вырастет с нынешних 8 трлн. кВт-часов до 20 трлн. кВт-часов к 2050 г. (МЭА WEO 2009). Условием такого роста является повсеместное внедрение CCS.

По другим оценкам МЭА (ACT MAP), к 2050 году уголь заменит во многом нефть для производства жидкого топлива – 2,6 млрд. т у.т. к 2050 году, а само потребление угля останется примерно на таком же уровне как сейчас.¹²³

По данным Администрации энергетической информации Министерства энергетики США, уголь после 2020 г., опережая газ, станет основным топливом для вводимых энергетических мощностей. Прогнозируется, что до 2010 г. в мире введут 185 ГВт угольных генерирующих мощностей, в период 2011–2015 гг. – 135 ГВт, в 2016–2020 гг. – 150 ГВт, в 2021–2025 гг. 175 ГВт и в 2026–2030 гг. – 240 ГВт. Американским правительством обнародован план строительства до 2020 г., предусматривающий возведение сотни угольных электростанций. Ожидается, что в Канаде с 2010 г. увеличится выработка на угольных электростанциях, что будет связано с закрытием атомных энергоустановок.

¹¹⁹ Statistical review of World Energy. <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>

¹²⁰ <http://www.usclimatenetwork.org/policy/copenhagen-accord-commitments>

¹²¹ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹²² Гринпис 2010

¹²³ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

стей. Заметное увеличение угольной генерации прогнозируется в Южной Корее и Японии, а также в развивающихся странах (Бразилии, Вьетнаме и других южно-азиатских странах), но безусловными лидерами будут Китай, США и Индия, где будут происходить основные вводы угольных генерирующих мощностей. Обеспечение углем электростанций Китая, США и Индии будет осуществляться в основном за счет внутреннего производства, хотя в 2006-2007 годы Китай был нетто-импортером угля. В связи со сворачиванием собственного производства угля Европа еще в большей мере будет удовлетворять свои потребности в угле за счет импорта.¹²⁴

По оценкам Гринпис потребление угля снизится к 2050 г. до 1,3 млрд. т у.т., а технология CCS не сможет обеспечить заявленные МЭА масштабы внедрения CCS. Промышленные технологии с CCS, возможно, появятся только после 2020 года и коммерчески привлекательными они могут стать после 2030 г. Замещение угля как и атомной энергетики произойдет за счет ВИЭ. Производство электроэнергии угольных ТЭС упадет до 3,8 трлн. кВт-часов к 2050 г.¹²⁵

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Для России первоочередными мерами являются:

- извлечение метана из пластов. Эта мера позволит как повысить безопасность на шахтах, так и извлечь топливный метан из угля;
- переход на стандартные обогащенные угли. В США и Европе он уже закончился. Доля обогащенных углей с зольностью не более 12% составляет почти 100% российского экспорта угля, для чего все угольные компании в 1990-2000 годах построили обогатительные фабрики. Тем не менее, перевод российских потребителей на стандартные обогащенные угли затягивается;
- перевод ГРЭС на сухую золу-унос и использование ее для производства стройматериалов;
- перевод станций на сверхкритические параметры пара;
- снижение загрязнения окружающей среды на всех стадиях угольного цикла (добыча, обогащение, сжигание);
- освоение и использование лучшей мировой практики рекультивации земель после угледобычи.

В случае развития по сценариям МЭА

- развитие технологий CCS;
- с точки зрения развития экспортного потенциала, по мнению экспертов,¹²⁶ рынок российских энергетических углей будет развиваться в первую очередь в направлении Европы, где закрывается собственная добыча угля. Но с учетом климатической политики и развития ВИЭ этот рынок может не состояться, если страны ЕС выберут путь развития ВИЭ, см. также раздел «Интеграция ВИЭ». Перспективным направлением экспорта в случае реализации сценариев МЭА может стать рынок стран АТР, особенно с учетом исчерпания запасов каменных энергетических углей в регионе (Китай – 39 лет, Индонезия 17 лет, данные на 2007 год).¹²⁷

В случае развития по сценарию Гринпис

- потребуются пересмотр экспортной политики, включая развитие новых угольных шахт и строительство угольных терминалов, которые могут оказаться невостребованными к середине столетия.
- сокращение добычи угля столкнется с большими социальными проблемами. Большинство шахт расположено в моногородах. Шахтеры обладают намного более низкой территориальной и профессиональной мобильностью, чем нефтяники или газовики. Угледобывающие компании будут

¹²⁴ «Общие тенденции развития мирового рынка энергетических углей», Экономическое обозрение, дек. 2007.

¹²⁵ Гринпис 2010

¹²⁶ «Общие тенденции развития мирового рынка энергетических углей», Экономическое обозрение, дек. 2007.

¹²⁷ «Общие тенденции развития мирового рынка энергетических углей», Экономическое обозрение, дек. 2007.

использовать это обстоятельство для получения господдержки. Поэтому сокращение добычи угля будет долгим и непростым.

3.1.2. Газ

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик конденсационных ПГУ-ТЭС на газе^{128 129}

(Рассматриваются только технологии в электроэнергетике).

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
КПД эл., %	57	59	61	62	63	64
Капитальные затраты, долл. США/кВт	690	675	645	610	580	550
Стоимость электроэнергии с учетом стоимости парниковых выбросов, цент/кВт-ч	7,5	10,5	12,7	15,3	17,4	18,9
Удельные парниковые выбросы CO ₂ /кВт-ч	354	342	330	325	320	315

Средний по миру КПД газовых станций в 2003 г. составлял 42%. Сейчас ведутся НИОКР по повышению температуры газовой турбины до 1500 град. за счет добавления в газовое топливо водорода и монооксида углерода. Это позволит поднять КПД парогазового цикла до 75%.¹³⁰

Увеличение количества энергии, запасенной в газовом топливе, возможно за счет технологий преобразования солнечной энергии в химическую (см. раздел 3.3)

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

По оценкам МЭА (WEO 2009), производство первичной энергии на основе газа увеличится с нынешних 3,6 млрд. т у.т. до 5,7 млрд. т у.т.

По оценкам Гринпис, производство первичной энергии на основе газа к 2050 году уменьшится до 2,4 млрд. т у.т.

Основной технологией газовой электроэнергетики станет парогазовый цикл.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Для России необходима срочная и скорейшая модернизация газовой электроэнергетики с целью перехода от паросилового цикла на парогазовый. Потенциал экономии за счет такой модернизации составляет порядка 40 млрд. м³ газа, что сравнимо с экспортом российского газа в Германию или всем газом, замещаемым российской атомной энергетикой.

¹²⁸ Данные DLR для стран ОЭСР

¹²⁹ С учетом стоимости парниковых выбросов только на стадии генерации, исходя из стоимости парниковых выбросов 20 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2020 г., 30 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2030 г., 40 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2040 г., 50 долл. США за 1 т. CO₂ экв. в 2050 г.

¹³⁰ www.turboconkaluga.ru/project

3.1.3. Нефть

По оценкам МЭА (WEO 2009), рост потребления нефти с нынешних 5,3 млрд. т у.т. составит к 2030 г. 6,6 млрд. т у.т., а к 2050 г. – 7,7 млрд. т у.т. Стоимость нефти к 2030 г. оценивается МЭА в 115 долл. за баррель. При этом МЭА оценивает возможную физическую нехватку добычи нефти в 2030 году в 12,5 мбд (млн. баррелей в день) (при спросе в 116 мбд) при сохранении текущих тенденций в мировой экономике. Балансировка энергопотребления в мире к 2030 году возможна в случае либо революции в сбережении энергии (вряд ли она произойдет так скоро), либо резкого падения роста энергоемких отраслей в развивающихся странах.¹³¹ В качестве одного из решений МЭА предлагает также замещение нефти углем с использованием CCS.¹³²

В потреблении нефти при масштабном внедрении энергоэффективных технологий и инфраструктурных изменениях на транспорте, по оценкам Гринпис, в ближайшие годы начнется падение. К 2030 году потребление снизится с нынешних 5,3 млрд. т у.т. до 4,2 млрд. т у.т. и к 2050 до 2,8 млрд. т у.т. В расчетах Гринпис стоимость нефти берется за 150 долл. за баррель.

С 1973 г. объем сжигания нефти в качестве котельно-печного топлива уменьшился с 5 до 1,5 млрд. т. Следует ожидать, что к 2030 г сжигание нефти и мазута в котлах почти прекратится.

См. также разделы «Транспорт» и «Биоэнергетика».

3.1.4. Ядерная энергетика

Технологии

Реакторы на тепловых нейтронах. Более 90% эксплуатируемых и строящихся реакторов – легководные кипящие или с водой под давлением на тепловых нейтронах. Они в ближайшие 20 лет останутся основным типом реактора. Около 10% реакторов является тяжеловодными. Продолжается совершенствование реакторов на тепловых нейтронах в сторону повышения маневренности и внесения элементов пассивной безопасности.

Корпусные реакторы, к которым относятся все водо-водяные реакторы, требуют изготовления крупных ответственных металлических деталей на специализированном мелкосерийном производстве.

С целью снижения затрат на строительство АЭС и повышения универсальности заводов атомного машиностроения рассматриваются проекты блочных реакторов меньшей мощности. Это направление развивается очень медленно, см. раздел «Малые реакторы».

Реакторы-размножители на быстрых нейтронах. Создание и эксплуатация промышленных реакторов-размножителей вызывают большие трудности. Для их создания требуются материалы с более высокой радиационной стойкостью, чем для тепловых реакторов. Затрудняют работу химические и физические свойства самого плутония.

Из 9 построенных в мире энергетических реакторов на быстрых нейтронах 7 выведены из эксплуатации, 1 законсервирован (Франция) и один (БН-600, Россия) действует. Строятся 2 реактора: по одному в России и в Индии. Несмотря на большое количество проектов разной конструкции и мощности технологические сложности препятствуют строительству реакторов-размножителей.

¹³¹ Л.М. Григорьев «Мировой экономический рост и спрос на энергию: новая модель», Экономическое обозрение, дек. 2007.

¹³² Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

Удастся ли на реакторе БН-800 исправить недостатки реактора БН-600 и предотвратить радиоактивные утечки – пока неясно.

Наиболее безопасным считается быстрый реактор со свинцово-висмутовым теплоносителем. Заявленный еще в 1990-е годы реактор БРЕСТ-300 до сих пор находится на стадии НИОКР.

Особняком стоит проект реактора «бегущей волны». Это проект реактора-размножителя с натриевым теплоносителем. Реакция идет в узком слое, перемещающемся в активной зоне со скоростью 1 мм в день.¹³³ В качестве топлива предполагается U^{238} , Th^{232} , отработавшее ядерное топливо. Загрузка топлива в нем производится один раз. О судьбе ОЯТ не сообщается. Интерес к проекту поддерживается тем, что в него инвестировал Билл Гейтс. Это достаточно высокорискованное вложение.

Кроме плутония, в реакторе нарабатываются другие актиниды, задача использования которых в качестве топлива откладывается каждое десятилетие.

Если опираться на неудачный опыт Франции, то их первый промышленный быстрый реактор «Суперфеникс» оказался по капвложениям в три раза дороже серийного теплового реактора. Реальные удельные капвложения в первый опытно-промышленный быстрый реактор БН-600 оказались выше, чем для серийного теплового ВВЭР-1000 на 40%. В целом оценки стоимости АЭС с тепловым или быстрым реактором и получаемой на них электроэнергии сегодня очень сильно разнятся из-за отсутствия международного промышленного опыта по захоронению отходов. Если учитывать захоронение, то цифры получаются одни, если о нем «забыть» — другие¹³⁴.

Ториевый топливный цикл. Торий не поддерживает цепную реакцию. Поглотив нейтрон, ядро Th^{232} превращается в U^{233} . Поэтому для «запала» реактора нужно другое ядерное топливо.

Общие запасы тория в 3-4 раза превышают запасы урана в земной коре. Наиболее интенсивно работы по ториевому циклу ведутся в Индии, обладающей крупными залежами торийсодержащих пород. Уже работают энергетические уран-ториевые реакторы по типу тяжеловодных реакторов CANDU. Пока опыт использования ториевого топлива достаточно мал и возможность широкого распространения ториевого цикла неясна.

В разных странах проявляют интерес к подкритическому ториевому реактору. В таком реакторе цепная реакция поддерживается за счет внешнего источника протонов. Это позволяет добиться большей безопасности, но требует затрат электроэнергии на работу ускорителя.¹³⁵ Пока эта технология не достигла даже стадии масштабных экспериментов.

Ториевый цикл имеет существенные недостатки. Добыча тория сложнее и дороже из-за бедности месторождений и сложности их состава. Переработка облученных ториевых ТВЭЛов сложнее и дороже переработки урановых.

Для реализации новых проектов реакторов потребуется не менее 20 лет.

Малые реакторы. Удельные затраты на безопасность малых реакторов непропорционально велики. Экономические показатели могут не удовлетворять потребителей. Например, планируемая отпускная себестоимость электроэнергии плавучего атомного энергоблока в Вилючинске составит 5,6 руб. за кВт-час, в то время как себестоимость в центральном узле Камчатки составляет 3,89 руб.

¹³³ <http://www.nuc.berkeley.edu/files/TerraPowerGilleland.pdf>

¹³⁴ http://www.chaskor.ru/article/vladimir_kagramanyan_bystrye_reaktory_-_eto_ochen_krasivaya_shtuka__17103

¹³⁵ <http://www.atominfo.ru/news/air7861.htm>

<http://www.atominfo.ru/news/air162.htm>

за кВт-час.¹³⁶ Кроме того, низкая маневренность атомных энергоблоков, которая займет значительную часть базовой нагрузки, может привести к повышению аварийности на остальных ТЭС полуострова.

Россия и США финансируют разработки ядерных космических двигателей. Двигатель мегаваттного класса может быть создан до 2050 года. Оценка перспектив их использования лежит за пределами данного форсайта.

Конкурентом малых ЯЭУ станут топливные элементы. ВМФ Германии уже эксплуатирует подводные лодки на топливных элементах. Поэтому ниша для малых ЯЭУ окажется очень ограниченной.

Неэнергетические ядерные реакторы. Кроме производства электроэнергии, реакторы используются для опреснения воды. Ведутся работы над проектами химических ядерных реакторов, в которых тепло реактора используется для проведения химических реакций, протекающих при высоких температурах. Такие реакторы могут быть созданы к 2030 г.

Однако высокотемпературные реакции могут быть реализованы и в солнечных концентраторах. Солнечные концентраторы в принципе позволяют получить температуры до 5000 С, и уже в 1987-х годах получена температура 1000 С.

Низкая капиталоемкость солнечных концентраторов делает их экономически выгодными по сравнению с ядерными реакторами даже с учетом работы только в дневное время.

Термоядерная энергетика

Реакторы с магнитным удержанием плазмы. Установки термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы разрабатываются с 1955 года. Удалось достичь на короткое время мощность 16 МВт, на разных установках получено превышение выделенной энергии (тепловой) над затраченной. На китайском реакторе EAST в 2008 г. достигнуто соотношение потраченной и полученной энергии 1:1,25.¹³⁷

В 2007 г. в исследовательском центре Кадараш на юге Франции началось строительство международного экспериментального термоядерного реактора. По сообщению одного из руководителей проекта - Е.П. Велихова, получение плазмы для запуска реактора перенесено с 2016 на конец 2019 года. Сам запуск реактора переносится на 2026 год.¹³⁸

Даже если эксперимент увенчается успехом, мощность всех термоядерных установок к 2100 г., по оценке Е.П. Велихова, вряд ли превысит 100 ГВт, что составляет первые проценты от современной установленной мощности мировой электроэнергетики.

Реакторы с инерциальным удержанием плазмы. Инерциальный управляемый термоядерный синтез — один из видов ядерного синтеза, при котором термоядерное топливо удерживается собственными силами инерции. Идея заключается в быстром и равномерном нагреве термоядерного топлива так, чтобы образовавшаяся плазма до разлёта успела прореагировать. Таким образом, при использовании данного принципа реактор будет импульсным. Время удержания соответствует 10^{-9} секунды, что создаёт значительную проблему мгновенности разогрева. Испытываются схемы зажигания плазмы лазером и пучком заряженных частиц.

¹³⁶ Письмо Губернатора Камчатской области № 081304 от 6 апреля 2010 г.

¹³⁷ <http://www.membrana.ru/lenta/?6865>

¹³⁸ <http://www.bigpowernews.ru/news/document18177>

10 марта 2009 года американская "Национальная установка зажигания" (National Ignition Facility — NIF) произвела рекордный лазерный импульс в 1,1 мегаджоуля. На возведение комплекса ушло 12 лет и 4 млрд. долл.¹³⁹.

Проекты реакторов с инерциальным удержанием плазмы мощностью 10 и 25 ГВт разрабатывались во ВНИИТФ в Снежинске. Бизнес-план электростанции на таком реакторе показывал убыточность при любом значении ставки дисконтирования.

«Холодный термояд». С 1989 года неоднократно сообщалось о настольных экспериментах, в ходе которых был получен повышенный выход нейтронов, свидетельствующий о протекании термоядерных реакций. В большинстве случаев результаты эксперимента оказывались некорректными. Однако все новые исследователи заявляют о получении статистически значимого прироста потока нейтронов.¹⁴⁰

Вполне возможно, что таким образом будут получены лабораторные источники нейтронов. Однако получение положительного энергетического выхода крайне маловероятно.

Следует помнить, что любая технология энергетического термоядерного синтеза приведет к облучению конструкции реактора и образованию радиоактивных отходов.

Динамика развития ядерной энергетики

Доля ядерной энергетики в производстве электроэнергии в мире остается с 1988 года постоянной на уровне 16%. В 2006 г. мировой объем выработки на АЭС достиг 2805 млрд. кВт-ч и с тех пор снижается.



Динамика выработки электроэнергии на АЭС с 1965 по 2009 гг.¹⁴¹

На 1 июля 2010 года совокупная установленная мощность 438 атомных энергетических реакторов, составляла 372 038 МВт¹⁴², 61 реактор строился. Наибольшее количество строящихся реакторов в Китае (включая Тайвань) – 24, за ним идут Россия (11), Южная Корея, (6) и Индия (4)¹⁴³.

¹³⁹ <http://www.membrana.ru/articles/technic/2009/03/31/223000.html>

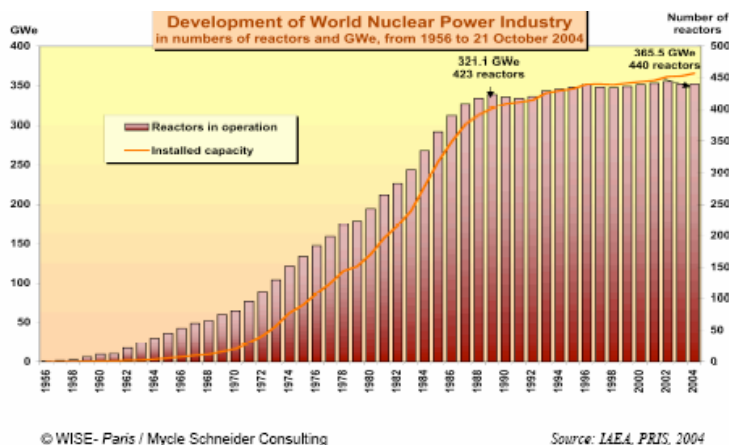
¹⁴⁰ <http://www.physorg.com/news10336.html>

¹⁴¹ <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>

¹⁴² Информационный ресурс МАГАТЭ по реакторам <http://www.iaea.or.at/programmes/a2>

¹⁴³ <http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.reaucct.htm>

График 1. Динамика количества реакторов и установленной мощности с 1956 года по 21 октября 2004 г.
 Источник: МАГАТЭ, PRIS, 2004 г.



При этом в Китае суммарная мощность АЭС, которые только начали строить в 2008 году (6000 МВт) составила 96% от введенных в том же году мощностей ветроэнергетики, а в 2009 году (9700 МВт) – только 70%.

Важно! В мире с 2006 г. ввод ядерных генерирующих мощностей меньше не только ввода ветровых, но и солнечных.

Средний срок службы действующих реакторов растет и достиг в 2010 г. 25 лет.



Распределение действующих реакторов по сроку эксплуатации (по состоянию на 01.07.2010) ¹⁴⁴

Такая отрицательная динамика развития атомной генерации во многом связана с высокой стоимостью строительства атомных энергоблоков. При этом в мире четко прослеживается разница в тенденции роста удельных капиталовложений в атомной и огневой генерации не в пользу ядерной генерации. Например, по оценкам Cambridge Energy Research Associates Inc, стоимость материалов для строительства АЭС выросла с 2000 г. к началу 2008 года на 173%, в то время как для газовой всего на 92%, для угольной на 78%.¹⁴⁵ История развития атомной генерации показывает, что здесь не работает зависимость удельной себестоимости строительства от количества вводимых блоков (коэффициент обучения). Например, достройка третьего блока Калининской АЭС обошлась в 2 раза дороже, чем планировалось.

¹⁴⁴ <http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.reaopag.htm>

¹⁴⁵ <http://online.wsj.com/article/SB121184813975221465.html>

Обеспеченность топливом

По некоторым оценкам, ядерная энергетика обеспечена дешевыми запасами урана на 84 года.¹⁴⁶ Это требует внедрения новых технологий, в том числе на основе плутония, что крайне сложно (см. раздел «Реакторы-размножители»). В результате наработанный энергетический плутоний не нашел широкого применения. В России этот плутоний пока никак не используется.

Утилизация радиоактивных отходов

В конце 20-го - начале 21-го века возлагались большие надежды на возможность перевода радиоактивных изотопов в нерадиоактивные путем облучения их частицами с управляемым спектром. В 2004 году проект «Разработка физических основ экологически чистой технологии получения атомной энергии» стал победителем Конкурса русских инноваций. Эти надежды не оправдались. Ядерная энергетика остается источником опасных отходов. Затраты на хранение этих отходов, сохраняющих активность в течение сотен и тысяч лет, подрывают возможность достижения экономической конкурентоспособности ядерной энергетике без государственной поддержки.

Законодательство США о Суперфонде (Superfund) требует оставить после прекращения эксплуатации и демонтажа промышленного объекта рекультивированную территорию (green field или brown field). АЭС и хранилища РАО не могут отвечать этим требованиям.

Поиски продолжаются. Запатентован способ утилизации радиоактивных отходов путем отправки их в космос. Но приемлемого решения нет. Проблемы РАО остаются будущим поколениям. Таким образом, ядерная энергетика не соответствует принципам устойчивого развития.

Перспективы мировой ядерной энергетике определяются возможностями достижения воспроизводства ядерного топлива и утилизации радиоактивных отходов. Доля затрат на вывод реакторов из эксплуатации и обращение с отходами в общих издержках ядерной энергетике растет и подрывает возможность будущей рентабельной работы отрасли.

Вероятные масштабы использования в энергосистемах.

Оценки динамики развития атомной генерации разнятся значительно – от утроения мощности (МЭА) до отказа от ядерной генерации к 2030 году (Гринпис).

В случае продления срока эксплуатации действующих реакторов до 40 лет, в 2010 - 2030 годы будут выбывать 10-25 ГВт мощности АЭС в год. Ныне строящиеся реакторы будут замещать выводимые из эксплуатации. По некоторым оценкам МЭА, доля ядерной электроэнергии в электроэнергетике к 2030 г. снизится с 16 до 10%.

До 2030 года строительство АЭС будет определяться экономическим ограничивающим фактором с одной стороны и стремлением новых индустриальных стран, прежде всего Китая и Индии, к получению ядерных технологий.

Основным конкурентом ядерной энергетике к 2030 г. станет солнечная и ветровая энергетика. Темпы снижения себестоимости солнечной генерации и развитие технологий аккумулирования энергии позволяют утверждать, что через 20 лет капитальные затраты на солнечную генерацию даже в базовом режиме станут ниже, чем на ядерную.

Ядерная энергетика – очень инерционная отрасль. Сохранению отрасли, кроме огромного объема накопленных основных фондов и отраслевого патриотизма занятых, способствует государствен-

¹⁴⁶ Memento sur l'énergie/Energy handbook/ - Paris: Commissariat à l'énergie atomique, 2009.

ное субсидирование, тесная связь с военными программами и национальным престижем. Поэтому наиболее вероятным сценарием является эволюционное сокращение абсолютных и относительных мощностей ядерной энергетики в течение 21 века. С учетом заявляемого срока эксплуатации реакторов 50-60 лет, 26 ГВт АЭС, построенных после 2000 г. и 55 ГВт строящихся можно ожидать, что в 2050 году мощность АЭС мира составит 100-200 ГВт. Доля ЯЭ в выработке электроэнергии на Земле составит первые проценты.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

С целью снижения рисков компаний ядерно-энергетического комплекса следует максимально использовать другие применения созданных в них неядерных технологий (spin-off). Термостойкие и коррозионностойкие материалы, датчики и приборы, системы управления, высоконадежные теплообменники, сверхпроводящие ограничители тока и накопители энергии, изотопные препараты для медицины и т.п.

3.2. Возобновляемая энергетика

3.2.1. Ветроэнергетика

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик ветровой энергетики

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
Установленная мощность всех ветростанций	95	407	878	1733	2409	2943
Наземные ветростанции						
Капитальные затраты, долл. США/кВт	1510	1255	998	952	906	894
Эксплуатационные расходы долл. США/кВт	58	51	45	43	41	41
Морские ветростанции						
Капитальные затраты, долл. США/кВт	2900	2200	1540	1460	1330	1305
Эксплуатационные расходы долл. США/кВт	166	153	114	97	88	83

Единичная мощность агрегатов достигла 7 МВт, дальнейшему росту размеров мешает то, что конец лопасти движется со скоростью, близкой к скорости звука.

Радикальной инновацией может стать создание высотных ветрогенераторов. Мощность высотных потоков ветра (на высотах 7-14 км) примерно в 10-15 раз выше, чем у приземных. Тропосферные ветроэнергетические ресурсы доступны во всех районах Земли, в том числе с очень слабыми приповерхностными ветрами (тропические леса). Привязные высотные аэростаты (или воздушные змеи) с ветрогенераторами на высоте полета самолетов потребуют улучшения аэронавигации.

Вероятные масштабы использования рассмотренных технологий в энергосистемах.

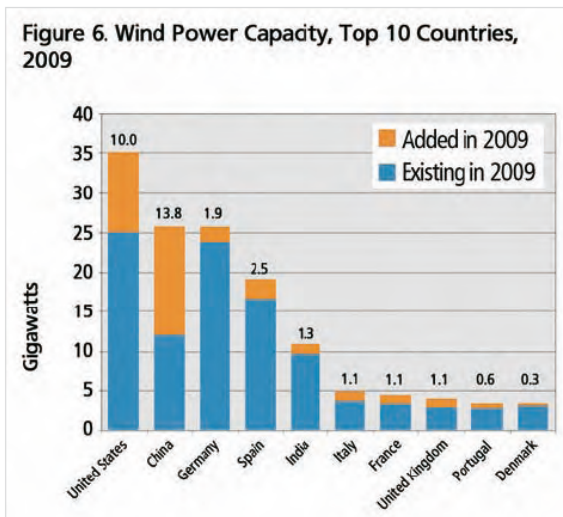
Ниже приведен график прогнозов и реального роста ветроэнергетики в Европе.¹⁴⁷ По оценкам МЭА (WEO 2002), нынешнего уровня ветровая энергетика должна была достичь через 22 года – к 2030 году. Прогноз Гринпис и DLR совпал полностью.

¹⁴⁷ <http://www.sonnenseite.com/index.php?pageID=6&article:oid=a12929>



Сейчас ветроэнергетика занимает первое место в мире по вводу генерирующих мощностей и по приросту выработки электроэнергии среди всех видов электрогенерации. На конец 2009 г. мощность ветроэлектростанций мира составила 160 ГВт или примерно 3,5% общей установленной мощности, выработка электроэнергии – около 2% от мировой.

Ниже приводится динамика ввода ветростанций в первой десятке стран-лидеров.¹⁴⁸



Мировой ветроэнергетический совет (Global Wind Energy Council), прогнозирует, что в 2013 г. суммарная мировая мощность ветроустановок достигнет 332 ГВт.¹⁴⁹ При существующих темпах роста к 2020 г. мощность ветряков может достичь 2000 ГВт. Процесс роста ветроэнергетики возглавит Китай.

В 2009 г. в Европе 40% введенных энергомощностей пришлось на ветряки. Ежегодные темпы роста мощности ветростанций составляют в среднем 30%.

С точки зрения интеграции ветровой энергетики, технологических проблем для интеграции больших объемов электроэнергии ветропарков нет. Например, в ночь с 6 на 7 ноября 2009 года ветровая энергетика без ущерба для сети обеспечила 53% всего электропотребления в Испании (11 546 МВт).¹⁵⁰

¹⁴⁸ Renewables 2010. Global Statuse report. Renewable Energy Policy Network, 2010.

¹⁴⁹ <http://aenergy.ru/1199>

¹⁵⁰ Renewables24/7 INFRASTRUCTURE NEEDED TO SAVE THE CLIMATE, EREC Greenpeace, 2009.

Крупная электроэнергетика на основе ВИЭ перестала быть новостью давно. Первые экспериментальные солнечные термальные электростанции на десятки мегаватт были построены в Калифорнии на рубеже 80-90 гг. прошлого столетия. С 2000 г. активно строятся ветростанции мощностью десятки и сотни мегаватт.

В Калифорнии недавно заявлено о начале проекта строительства крупнейшей в мире ветростанции мощностью 1550 МВт.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий с точки зрения энергетики, экономики и социума, а также необходимые действия в России для развития указанных технологий.

Благодаря росту ВИЭ в Испании в 2009 году было снижено потребление газа на 10,5% по сравнению с 2008 годом, а угольные ТЭС находились в работе меньше, чем в простое. Доля электроэнергии произведенной на ВИЭ составляет 26%, из них за счет ветровой энергии - 14%. Для сравнения, доля атомной электроэнергии - 19%.

На мировой рынок ветряков классических аэродинамических схем российская промышленность выйти уже не сможет. Но для России актуальна ниша ветроустановок с нестандартными схемами, особенно для низких скоростей ветра.¹⁵¹

3.2.2. Солнечные батареи (фотовольтаика)

Энергия, потребляемая человечеством, составляет 0,01% от энергии солнечной радиации, достигающей поверхности Земли.

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик фотовольтаики^{152 153}

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
КПД (максимальный), эл,	42%	46%	49%	54%	60%	65%
Капитальные затраты, долл. США/кВт	3746	2610	1776	1027	785	761
Установленная мощность ГВт	6	98	335	1036	1915	2968
Эксплуатационные расходы долл. США/кВт/год	66	38	16	13	11	10

По оценкам МЭА, динамика показателей для ФВ и других видов ВИЭ в электроэнергетике выглядит следующим образом¹⁵⁴ (в разделе стоимость электроэнергии имеется в виду не кВт-час, а МВт-час)

¹⁵¹ Например, ветроустановки с вертикальной осью по схеме ротора Дарье <http://www.src-vertical.com/>

¹⁵² Данные DLR для стран ОЭСР

¹⁵³ С учетом стоимости парниковых выбросов только на стадии генерации, исходя из стоимости парниковых выбросов 20 долл. США за 1 т. CO2 экв. в 2020 г., 30 долл. США за 1 т. CO2 экв. в 2030 г., 40 долл. США за 1 т. CO2 экв. в 2040 г., 50 долл. США за 1 т. CO2 экв. в 2050 г.

¹⁵⁴ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

Таблица 4.13. ► Прогноз основных издержек и инвестиций для станций на основе возобновляемых источников энергии

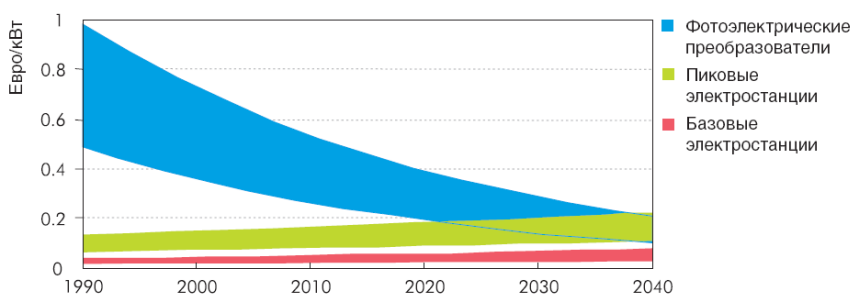
	Темпы освоения (%)	Капитальные затраты (долл./кВт)			Стоимость производства электроэнергии (долл./кВтч)		
		2005	2030	2050	2005	2030	2050
Станции на биомассе	5	1000-2500	950-1900	900-1800	31-103	30-96	29-94
Геотермальные станции	5	1700-5700	1500-5000	1400-4900	33-97	30-87	29-84
Крупные гидростанции	5	1500-5500	1500-5500	1500-5300	34-117	34-115	33-113
Малые гидростанции	5	2500	2200	2000	56	52	49
Солнечные PV преобразователи	18	3750-3850	1400-1500	1000-1100	178-542	70-325	<60-290
Гелиотермальные станции	5	2000-2300	1700-1900	1600-1800	105-230	87-190	<60-175
Приливные электростанции	5	2900	2200	2100	122	94	90
Ветровые станции наземного базирования	5	900-1100	800-900	750-900	42-221	36-208	35-205
Ветровые станции морского базирования	5	1500-2500	1500-1900	1400-1800	66-217	62-184	60-180

Примечание: Учетная ставка принята равной 10%. В настоящее время разброс цен в мире больше, так как учетные ставки, капитальные затраты и цены на топливо варьируются. Для солнечной и ветровой энергетики учтены затраты на присоединение к сети. Темпы освоения означают процентное снижение стоимости при каждом удвоении объема установленной мощности.

В 2010 году цены на солнечные панели снизились до 1200 долл. за киловатт¹⁵⁵. В случае успеха создания фотоэлементов на основе графена возможно снижение цен солнечных панелей к 2050 г. до 200 долл. за киловатт и солнечных электростанций до 500 долл. за киловатт.

Ниже приведены оценки МЭА динамики стоимости электроэнергии ФВ по сравнению с динамикой стоимости традиционных источников.¹⁵⁶ Верхняя и нижняя границы стоимости для фотоэлементов отражают метеорологические условия Германии и Южной Европы соответственно. Рост стоимости для традиционной электроэнергетики принят равным 2% в год. Внешние издержки не учитываются, их учет может привести к более раннему выходу ФВ систем на безубыточность. Оценки допускают, что ФВ-технология сможет стать конкурентоспособной со станциями пиковой нагрузки в течение 20 лет, а с базовыми электростанциями – в течение 40 лет, в зависимости от метеорологических условий в месте расположения.

Рисунок 4.12 Прогнозируемое снижение стоимости PV установок¹⁷



Источник: Hoffmann, 2001.

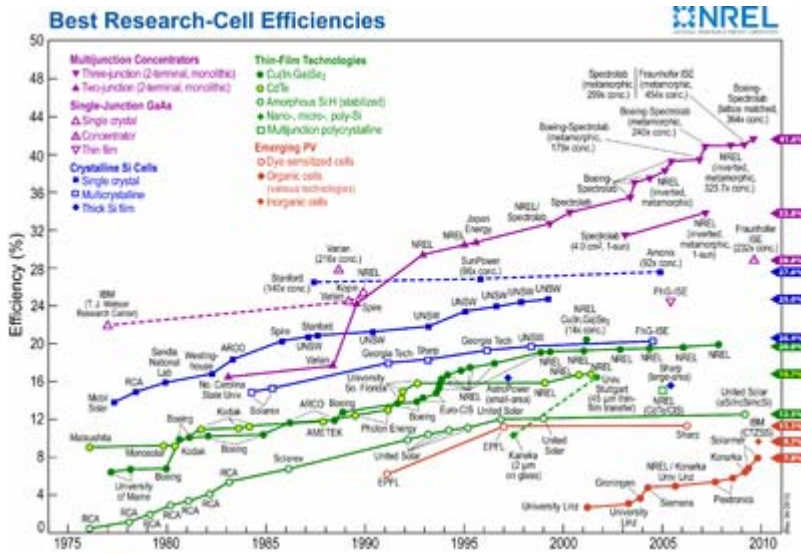
Коэффициент обучения для фотовольтаики в течение последних 35 лет составляет 0,8. То есть удвоение объема производства приводит к снижению стоимости на 20%.

Динамика коэффициента полезного действия солнечных батарей за последние 25 лет показана на рисунке.¹⁵⁷ Максимальный КПД солнечных батарей в 2009 г. достиг 43% при теоретическом пределе 93%. Сейчас наиболее распространены солнечные элементы из поликристаллического кремния с КПД около 16%.

¹⁵⁵ http://www.ecobusinesslinks.com/solar_panels.htm

¹⁵⁶ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁵⁷ http://www.nrel.gov/analysis/analysis_tools_tech_sol.html



После 2030 года рынок солнечных батарей перейдет от кремния к новым материалам. Оценка МЭА доли различных технологий дана ниже.

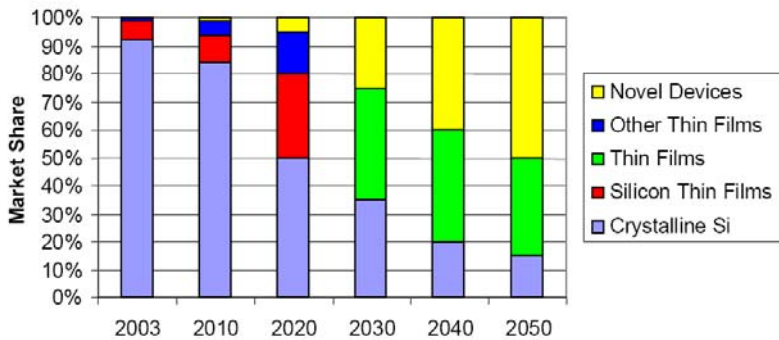


Figure 2-1: Development of PV technology market shares until 2050 (Frankl et al., 2008)

В области солнечных батарей до 2020 г. основными инновациями будут:

- технологии нанесения пленок полупроводников на подложки;
- бесхлорные технологии очистки кремния (в т.ч. очистка силаном, многократный зонный переплав и т.п.);
- новые полупроводниковые материалы (кроме кремния).

После 2020 г. можно ожидать солнечных батарей с использованием квантовых наноразмерных эффектов.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

Скорость роста солнечной энергетики (более 40% в год) увеличивается. В 2009 году рост составил +47% по сравнению с 2008 годом (рост установленной мощности с 15,6 ГВт до 22,9 ГВт).¹⁵⁸

По оценкам Гринпис, к 2030 г. установленная мощность ФВ может составить 1480 ГВт, а к 2050 г. – 4600 ГВт.

По некоторым оценкам МЭА, масштабное внедрение фотовольтаики без выдающихся достижений в науке и технике не предполагается до 2030 года.¹⁵⁹ По другим оценкам МЭА, доля солнечной энергетики к 2050 году может составить 20-25%.¹⁶⁰

¹⁵⁸ BP report 2010.

¹⁵⁹ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

На примере прогнозов Германии можно сказать, что развитие ФВ в Германии на 15 лет опережает основные прогнозы, см. ниже.¹⁶¹



Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Повсеместная доступность солнечной энергии в беднейших тропических странах приведет к быстрой их модернизации.

Рост спроса на кремний и проблемы на рынке кремния¹⁶² дает возможности России выйти в 2010-х годах на мировой кремниевый рынок.

3.2.3. Термальная солнечная электроэнергетика

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик концентрированных термальных солнечных электростанций (CSP)

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
КПД эл., %						
Капитальные затраты, ¹⁶³ долл. США/кВт	7250	5576	5044	4263	4200	4160
Установленная мощность ГВт	1	25	105	324	647	1002
Эксплуатационные расходы долл. США/кВт/год	300	250	210	180	160	155

Во многом успех CSP зависит от успешности создания систем аккумулирования тепла. Современные системы аккумулирования позволяют выдавать нагрузку в течение нескольких часов в отсутствие солнца. Поэтому средний КИУМ солнечных термальных электростанций сейчас составляет 0,39 против 0,22 у фотоэлектрических. Ниже дан прогноз развития технологии в части аккумулирования энергии (рост уровня КИУМ).¹⁶⁴

¹⁶⁰ Перспективы энергетических технологий 2010. МЭА

¹⁶¹ <http://www.sonnenseite.com/index.php?pageID=6&article:oid=a12929>

¹⁶² Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁶³ С учетом стоимости систем аккумулирования энергии

¹⁶⁴ Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply, the German Federal Environment Agency FKZ 3707 41 108 Report Stuttgart, Berlin, Utrecht, Wuppertal July 2009

Table 6: Assumed average developments for CSP technologies

	2020	2030	2050
Capacity factor	45	50	65
Plant efficiency	18	23	25

Капитальные затраты на строительство и эксплуатацию солнечных термальных электростанций очень велики, а темпы совершенствования технологии (коэффициент обучения) ниже, чем для фотовольтаики. Однако использование солнечного тепла для накопления химической энергии (см. раздел 3.3.) может помочь в создании высокоэффективных электростанций на основе освоенных технологий газовой и ядерной энергетики.

Еще одной технологией прямого преобразования солнечной энергии в электрическую является создание термоэмиссионных источников энергии. Нагретый солнечными лучами катод испускает электроны, создавая тем самым электрический ток.¹⁶⁵ Бурный прогресс в создании новых материалов для катодов может привести к созданию полупромышленных образцов уже к 2015 г.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

В Европе установленная мощность новых или строящихся CSP составляет 750 МВт. До 2012 года предполагается доведение установленной мощности CSP до 2 ГВт.¹⁶⁶ По некоторым данным, только Испания может ввести к 2017 году 10 ГВт мощностей. В США проектируются CSP мощностью 7 ГВт.¹⁶⁷

По оценкам МЭА (WEO 2009), установленная мощность технологии к 2050 году составит 50 ГВт. По оценкам Гринпис, установленная мощность к середине столетия может достичь 1000 ГВт.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Развитие сети солнечных термальных электростанций в Северной Африке (проект Desertec) с последующим экспортом электроэнергии в ЕС позволит усилить энергетическую независимость ЕС (обеспечить 15% электропотребления в Западной Европе).

Россия могла бы развивать совместные с Казахстаном проекты по развитию CSP в Прикаспии для последующего экспорта электроэнергии в Россию, что создало бы более широкую экономическую стабильную базу СНГ. С учетом относительной дороговизны технологии аналогичные проекты могли бы начаться с реализации потенциала ветровой энергетики РК для последующего экспорта в Россию. Соответствующие ТЭО по развитию ветропарков в РК на границе с Россией уже есть.

Наличие в России технологий химического аккумулирования солнечной энергии позволит маневрировать мощностью.

¹⁶⁵ <http://inno.ru/project/30353/>

¹⁶⁶ <http://www.estelasolar.eu/index.php?id=25>

¹⁶⁷ Concentrated Solar Power. Overlook 2009. Greenpeace

3.2.4. Солнечные коллекторы для теплоснабжения

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик солнечной энергетики для нужд теплового хозяйства

Плотность солнечной энергии, падающей на 1 кв. км земной поверхности на экваторе, составляет 1 ГВт. Мощность солнечных установок на этой площади составляет сотни мегаватт. Солнечная энергетика позволяет обеспечить значительную долю в теплоснабжении даже в мегаполисах и на крупных предприятиях.

Согласно оценкам, плоские застекленные солнечные коллекторы вырабатывают в год: в Израиле – 1000 кВт-ч(т)/м², в Австралии – 700 кВт-ч(т)/м²; в Германии – 400 кВт-ч(т)/м², в Австрии – 350 кВт-ч(т)/м²; для вакуумных коллекторов годовая выработка составляет 550 кВт-ч(т)/м² и для незастекленных коллекторов – 300 кВт-ч(т)/м² (Philibert, 2005).¹⁶⁸ Солнечные системы позволяют экономить 40% энергии в системах отопления в северной Франции.¹⁶⁹

В области солнечных коллекторов главной задачей до 2020 г. является резкое снижение стоимости с нынешних 200 долл. за м² до менее 30 долл. за м². Технология массового производства дешевых коллекторов позволит резко расширить их применение, особенно в беднейших тропических странах.

Использованию полимерных солнечных коллекторов для нагрева воды препятствует разложение пластиков в горячей воде и загрязнение воды токсичными веществами. Возможен прогресс в производстве дешевых стеклянных и металлических коллекторов.

Применение вместо воды термомасла с рабочей температурой до 300°C и баков-аккумуляторов позволит использовать солнечные коллекторы для приготовления пищи после захода солнца.

Солнечная энергия может быть также использована для охлаждения воздуха. Стандартная абсорбционная установка (чиллер, или охладитель) однократного действия может работать при температуре около 90°C, которую можно получить при помощи стандартных плоских солнечных коллекторов.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

Во всем мире к 2006 году использовались солнечные коллекторы площадью около 140 млн.м²; около 13 млн. м² запущены в эксплуатацию в 2004 г., 10 млн. м² из которых в Китае. На данный момент рынок в Китае является лидирующим, на нем представлено около одной трети мировой установленной мощности коллекторов, причем почти исключительно в виде вакуумных трубчатых коллекторов с общей площадью поверхности 22 млн. м². В Европе и Японии имеется около 10 ГВт(т) плоских коллекторов и 9 ГВт(т) вакуумных трубчатых коллекторов. Большинство из них в качестве теплоносителя используют воду, воздушные коллекторы представляют только 1% рынка. Рыночные лидеры в Европе – Германия, Греция и Австрия. Наибольшая удельная площадь поверхности коллекторов на одного жителя отмечается на Кипре – 582 м², затем идет Австрия – 297 м²; в среднем по Европейскому Союзу – 33,7 м² на жителя.¹⁷⁰

В 2008 году рынок коллекторов показал дальнейший рост: в ЕС и Швейцарии рост составил 60% или на 3,3 ГВт тепловой мощности (4,75 млн. м² коллекторов).¹⁷¹

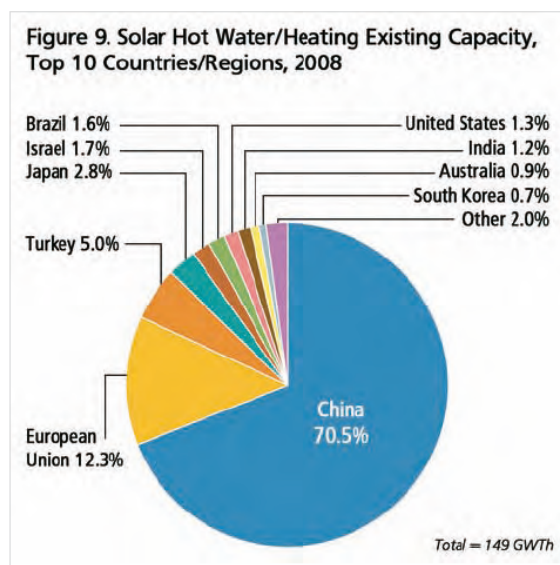
¹⁶⁸ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁶⁹ Там же

¹⁷⁰ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁷¹ www.estif.org/fileadmin/estif/content/market_data/downloads/2008%20Solar_Thermal_Markets_in_Europe_2008.pdf

Мощность солнечных коллекторов составляла на 2008 год 149 ГВт.¹⁷²



По оценкам МЭА (WEO 2009), производство тепла за счет коллекторов составит 0,1 млрд. т у.т.

По оценкам Гринпис, потребление энергии за счет солнечных коллекторов может составить 1,3 млрд. т у.т. к 2050 г. (нынешнее производство - 13 млн. т у.т. на 2007 г.)

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Широкое применение локальных систем отопления и нагрева воды приведет к дальнейшей автономизации потребителя. Снизится использование электроэнергии для нагрева воды и отопления. Так, сейчас только в Краснодарском крае летом 200 МВт электрической мощности уходит на нагрев воды. Наиболее перспективными для применения солнечного тепла регионами в России являются Приморье, Юг Сибири и Забайкалье, Северный Кавказ.

3.2.5. Биоэнергетика

Для целей электрогенерации

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик биоэнергетики

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
КЭС на биомассе						
Установленная мощность ГВт	28	48	62	75	87	107
Капитальные затраты	2818	2452	2435	2377	2349	2326
Эксплуатационные расходы	183	166	152	148	147	146
ТЭЦ на биомассе						
Установленная мощность ГВт	18	67	150	261	413	545
Капитальные затраты	5250	4255	3722	3250	2996	2846
Эксплуатационные расходы	404	348	271	236	218	207

¹⁷² Renewables 2010. Global Statuse report. Renewable Energy Policy Network, 2010.

Производство электроэнергии из биомассы, основанное на обычном паровом цикле, является хорошо разработанной технологией. Биомасса представляет собой топливо, сходное с углем, поэтому для нее могут применяться такие же технологии. Важной опцией является возможность совместного сжигания биомассы и угля на угольных станциях. После незначительных доработок биомасса может составлять до 10% топлива (в пересчете на уголь).

Разрабатываются новые технологии, такие как комбинированный цикл газификации на биомассе и газе (biomass integrated gasifier/gas turbine, BIG), но они пока являются высокочрезвычайными, и их внедрение идет медленно.

В качестве сырья для биоэнергетики могут быть использованы специальные энергетические культуры.¹⁷³

Таблица 4.10. ► Эффективность и затраты европейских станций, использующих биомассу (находящихся в эксплуатации и проектируемых)

	КПД (% по LHV)	Капиталовложения (долл./кВт)	Мощность (МВтэл)	Средняя стоимость электроэнергетики (долл./кВтч)
Совместное сжигание	35	1100-1300	10-50	0,054
IGCC	30-40	3000-5500	10-30	0,112
Газификация + турбина	20-31	2500-3000	5-25	0,096
Паросиловой цикл большой мощности	30	3000-5000	5-25	0,110
Газификация + двигатель (СНР)	24-31	3000-4000	0,25-2	0,107
Паросиловой цикл малой мощности (СНР)	10	3000-5000	0,5-1	0,130
Двигатель Стирлинга (СНР)	11-19	5000-7000	<0,1	0,132

Примечание: Оценки сделаны на основе следующих показателей: цена на биомассу – 3 долл./ГДж, стоимость утилизируемого тепла – 5 долл./ГДж, учетная ставка – 10%.
Источник: Novak-Zdravkovic and de Ruyck, 2005; данные МЭА.

Производство биогаза из биомассы, с одной стороны, требует дополнительных капиталовложений (метантенков, систем улавливания свалочного газа), с другой стороны позволяет использовать «неудобные» виды сырья и отработанные технологии газовой энергетики. Теплота сгорания биогаза может быть повышена на 30% в солнечных химических конверторах (см. раздел 3.3) Кроме сельскохозяйственных и навоза, биогаз можно получать при переработке фекальных отходов (что актуально для мегаполисов) и свалочного газа.

Для целей транспортного топлива

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик биоэнергетики

Этанол из тростника, кукурузы, свеклы. С 1 га посевов можно получать 3 000-4 000 л бензинового эквивалента с перспективным ростом 4500-9000 л с га. Себестоимость этанола из маиса в США составляет 60 центов на литр бензинового эквивалента.¹⁷⁴

Этанол из лигноцеллюлозы. Себестоимость - 1 долл./л бензинового эквивалент с перспективой снижения себестоимости до 0,5 долл./л.¹⁷⁵ Урожайность составляет 2300 л с га с перспективой до 4 000 л с га.

Биодизель на основе масличных культур (FAME) требует в 3 раза больше посевных площадей чем этаноловое топливо, например, в Европе рапс дает 1100 л с гектара дизельного эквивалента. Доведение доли биодизеля до 5% в объеме дизтоплива в ЕС потребовало бы использования 100% масличных культур для получения биодизеля. Себестоимость биодизеля на основе масличных культур составляет 1,2 долл. за литр диз. эквивалента.

¹⁷³ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁷⁴ Там же

¹⁷⁵ Там же

Себестоимость дизтоплива из биомассы, полученной на основе реакции Фишера-Тропша (BTL), – 0,9 долл. за литр. Производство BTL биодизеля имеет более высокий выход продукции с гектара и менее привязано к агроклиматическим условиям.

Производство биодизеля составляло на 2005 год 3,5 млн. т у.т.¹⁷⁶

Преимущество получения биомассы из водорослей заключается в том, что это не требует земли, удобрений, пресной воды. Водоросли могут выращиваться в океане. Возможно выращивание в стеклянных или пластиковых колбах, причем колбы обогащаются углекислым газом, что значительно ускоряет рост водорослей.

В августе 2010 г. Агентство передовых оборонных исследований (DAPRA) заявило о завершении разработки новой технологии получения авиационного топлива из водорослей. Промышленное производство предполагается начать с 2011 года, а использование в ВВС США — с 2016 года. Стоимость литра «нового» бензина составит 70 центов, при этом для выращивания водорослей не требуются участки плодородных земель и вполне подходят загрязненные промышленными отходами водоемы.

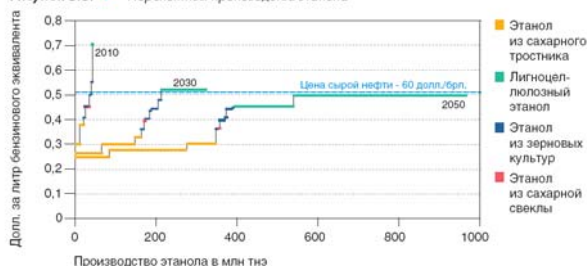
По данным СМИ, появились новые (пока на уровне лабораторных исследований) технологии получения бензина при помощи бактерии *E.coli* (кишечная палочка). Они перерабатывают углеводы из различных отходов (как сельскохозяйственных, так и промышленных). Стоимость такого топлива в будущем будет около \$50 за баррель или 12 рублей за литр.¹⁷⁷

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

По оценкам МЭА (WEO 2009), рост потребления биомассы в производстве первичной энергии вырастет с 1,7 млрд. т у.т. (2007 г.) до 2,6 млрд. т у.т. к середине столетия. В электроэнергетике рост мощностей на основе биомассы составит с 46 ГВт до 244 ГВт к 2050 г. или в пределах 2,3% от общей установленной мощности. В транспортном секторе биотопливо вырастет с нынешних примерно 50 млн. т у.т. до 270 млн. т у.т. Для сравнения, общее потребление топлива в транспортном секторе составит 5,4 млрд. т у.т.¹⁷⁸

По другим оценкам МЭА (ACT MAP), производство только этанола и биодизеля (в основном BTL) может вырасти до 1,4 млрд. т у.т. и 0,6 млрд. т у.т. соответственно.¹⁷⁹

Рисунок 5.6. Перспективы производства этанола



¹⁷⁶ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁷⁷ <http://auto.mail.ru/article.html?id=32043>

¹⁷⁸ Гринпис 2010

¹⁷⁹ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.



Следующие факторы показывают важность производительности сельхозкультур для расширения производства биотоплива с точки зрения МЭА:

- ожидается, что население Земли к 2050 г. увеличится на 37%;
- потребление пищи в среднем увеличится на 16%;
- потребление транспортного топлива к 2050 г. удвоится.

Увеличение урожайности зерновых для производства пищи в два раза к 2050 г., при одновременном росте производства зерновых для биотоплива на 30%, позволит высвободить до 20% пахотных земель для других целей. Использование высвобожденной земли, не считая перевода пастбищных земель в земли для выращивания зерновых, может принести до 40 ЕДж (около 950 млн. тнэ) первичной биомассы, что соответствует 13% всех потребностей для транспортных нужд. Если средние урожаи зерновых утроятся, а не удвоятся, почти половина сельскохозяйственных земель может быть использована для производства биомассы, что добавит 100 ЕДж (около 2400 млн. тнэ) первичного потенциала биомассы. Данные оценки не учитывают необходимость отвода земель под заселение, доступность воды, деградацию почв, уменьшение урожаев зерновых из-за изменения климата, они не учитывают также увеличение поголовья скота. Около 150 ЕДж (около 3600 млн. тнэ) биомассы каждый год используется в качестве корма для животных, в то время как зерновые, овощи и масличные семена, используемые для питания человека, составляют только 75 ЕДж (около 1800 млн. т. нефт. экв.). Для производства так называемого нетрадиционного биотоплива (путем ферментного гидролиза целлюлозы или дистилляции) могут быть использованы побочные продукты сельского хозяйства, например солома. Культуры, которые в настоящий момент относятся к категории отходов, и остатки зерновых культур могут давать до 491 млрд. л этанола в год (эквивалентных 20 EJ или 500 млн. тнэ первичной биомассы). Дополнительный эффект может быть получен в результате увеличения переработки древесины. Еще от 9 до 25 EJ (от 200 до 600 млн. т. нефт. экв.) может быть получено путем переработки навоза и до 3 EJ (менее 75 млн. т. нефт. экв.) из органических отходов. Побочные продукты биомассы и отходы могут предоставить дополнительные 30-50 EJ (700-1200 млн. т. нефт. экв.). В целом, потенциал биомассы составляет от 60 EJ (около 1400 млн. т. нефт. экв.) до 150 EJ (около 3600 млн. т. нефт. экв.¹⁸⁰).

По оценкам Гринпис, потребление биомассы для получения первичной энергии составит до 3,1 млрд. т у.т. к 2050 г. С учетом экологических и социальных ограничений масштабное получение биомассы для целей энергетики будет локализовано в Бразилии, Канаде и России. В электроэнергетике рост установленной мощности на основе биомассы составит с нынешних 46 ГВт до 652 ГВт к 2050 г. или 5,6% от общей установленной мощности. В транспортном секторе потребление биотоплива вырастет с нынешних примерно 50 млн. т у.т. до 400 млн. т у.т. Для сравнения, потребление в транспортном секторе стабилизируется на современном уровне и оставит 2,8 млрд. т у.т.¹⁸¹

Объем производства биогаза в мире может достичь 1 млрд. т у.т. в год.

¹⁸⁰ Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.

¹⁸¹ Гринпис, 2010.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий технологий.

Для сельского хозяйства России получение биогаза на основе с/х отходов (до 70 млн. т у.т. в год) и развитие на его основе электрогенерации решало бы сразу несколько задач:

- газификация и электрификация села,
- создание рабочих мест,
- получение органических удобрений.

В России есть опыт массового строительства биогазовых установок в Татарстане.

В качестве одного из первых шагов для развития биогазовых установок (БГУ) явилось недавнее включение Минсельхозом БГУ в перечень технологий, которые подпадают под субсидирование (субсидирование процентов по кредитам). В качестве следующего шага необходима пропаганда технологий БГУ. В перспективе возможно выращивание технической биомассы (10 т у.т. и выше на 1 га) для биогазовой энергетики и другой энергетики на основе биомассы. Площадь заброшенных сельскохозяйственных земель в России составляет первые десятки миллионов гектар.

3.2.6. Гидроэнергетика

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик гидроэнергетики

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
Установленная мощность ГВт	992	1043	1206	1307	1387	1438
Капитальные затраты	2705	2864	2952	3085	3196	3294
Эксплуатационные расходы	110	115	123	128	133	137

Существующие крупные гидроэлектростанции во многих случаях являются самыми низкозатратными источниками электроэнергии. Причина этого в том, что большинство станций было построено много лет назад, и их стоимость полностью амортизирована. Для новых крупных станций затраты на генерацию лежат в пределах 3–4 центов/кВт-ч. Затраты на генерацию на малых гидростанциях (менее 10 МВт) оцениваются на уровне 2–10 центов/кВт-ч. После списания высоких первоначальных затрат электростанции могут генерировать энергию с еще меньшими затратами, так как они обычно эксплуатируются без больших затрат на замещение оборудования в течение 50 и более лет (прогноз МЭА АСТ map).

В ходе строительства крупнейшей в мире ГЭС Санься, перед затоплением ложа водохранилища пришлось переселить более миллиона человек. После этого социальные, экономические и культурные издержки затопления стали одним из дополнительных мотивов поворота Китая к малым ГЭС. Экологические и социальные последствия затопления земель привели к сдвигу тренда от крупнейших к малым и микро-ГЭС.

Создание модульных геликоидных и ортогональных гидроагрегатов создает возможность освоения гидропотенциала сверхнизких (1-5 м) перепадов. Кроме приливных ПЭС это низконапорные гидросооружения, ирригационные и технологические водотоки. Сверхнизконапорные гидроагрегаты позволят получать гидроэнергию в густонаселенных районах орошаемого земледелия (центральная Африка, средняя Азия, ЮВА).

Изменение климата может значительно повлиять на работу ГЭС. Снижение водности в районах с субтропическим и умеренным климатом приведет к необходимости уменьшения испарения с зеркала водохранилищ.

Необходимость восстановления путей миграции рыбы потребует значительного объема НИОКР по созданию новых конструкций рыбоходов для разных видов рыб.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

По оценкам МЭА, общий мировой технически реализуемый потенциал гидроэнергетики составляет 14 000 ТВт·ч в год. Из них около 8 000 ТВт·ч в год рассматриваются в настоящее время как экономически обоснованные. Большая часть оставшегося потенциала гидроэнергетики расположена в Африке, Азии и Латинской Америке. Рост установленной мощности всех ГЭС по МЭА составит с 922 ГВт в 2007 г. до 1681 ГВт к 2050 г.

С точки зрения Гринпис, строительство крупных равнинных ГЭС и строительство ГЭС в уязвимых и ценных экосистемах должно быть прекращено.

Будет расти мировой рынок быстровозводимых модульных мини-ГЭС.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

ОАО Русгидро, владеющей технологией ортогональных гидроагрегатов, следует принять меры по созданию мирового рынка сверхнизконапорных мини-ГЭС. В России к таким агрегатам проявляют интерес промышленные предприятия, владеющие гидросооружениями.

В 20-м веке кроме выработки электроэнергии гидроэлектростанции выполняли функции аккумуляции потенциальной энергии воды в водохранилищах и балансирования мощности. Это приводило к созданию гигантских водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования. Для снижения ущерба от плотин требуется приближение гидрографа реки ниже плотины к естественному, следовательно, прекращение сезонного регулирования объема водохранилища.

3.2.7. Энергия океана (энергия приливов и волн)

Энергия приливов

Мощность приливного рассеяния (трение, вызванное Луной) составляет порядка 2,5 ТВт, что несколько меньше мощности всех электростанций мира. Однако эта энергия распределена по побережьям крайне неравномерно и сосредоточена преимущественно в воронкообразных заливах.

Создание в России наплавного ортогонального гидроагрегата позволяет строить приливные электростанции любой мощности. С учетом строительства ГЭС в Пенжинской губе общая мощность ПЭС в России может достигнуть 100 ГВт при КИУМ 0,25. Однако почти все подходящие заливы находятся далеко от крупных потребителей.

Для эффективного использования энергии ПЭС необходимо аккумуляция полученной энергии (например, строительство ГАЭС) или создание энергоемких производств периодического действия.

Энергия волн

Суммарная энергия океанских волн больше энергии приливов. Средняя мощность волнения морей и океанов, как правило, превышает 15 кВт/м. При высоте волн в 2 м мощность достигает 80 кВт/м. Волна набирает энергию на дистанции до 1000 км, поэтому утилизация энергии волн целесообразна только в океанах. Коэффициент преобразования энергии достигает 85%. Недостатками волновых электростанций является зависимость от погоды и невозможность работать в замерзшем

море. Освоение энергии волн находится на стадии технических экспериментов. Какие технологии победят в итоге – предсказать затруднительно. Наибольшее значение энергия волн будет иметь для малых островных государств. В России – для Курильских островов.

3.2.8. Геотермальная энергия

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик геотермальной энергетики

	2007	2015	2020	2030	2040	2050
Геотермальные КЭС						
Установленная мощность, ГВт	10	19	36	71	114	144
Капитальные затраты, долл./кВт	12446	10875	9184	7250	6042	5196
Эксплуатационные расходы, долл./кВт/год	645	557	428	375	351	332
Геотермальные ТЭЦ						
Установленная мощность, ГВт	1	3	13	37	83	134
Капитальные затраты, долл./кВт	12688	11117	9425	7492	6283	5438
Эксплуатационные расходы, долл./кВт/год	647	483	351	294	256	233

Расширение применения геотермальной энергии требует геологических изысканий и доступности геологической информации. Основную долю капитальных затрат в случае геотермальных электростанций составляют затраты на разведывание ресурсов и собственно строительство. Бурение может составить до половины стоимости проекта. По мнению некоторых экспертов, с учетом роста скорости бурения в несколько раз (1000 м за несколько часов) возможна утилизация геотермальной энергии для нужд электроснабжения повсеместно при глубине бурения 7-9 км.¹⁸²

Главная проблема геотермальных станций заключается в необходимости обратной закачки отработанной воды в подземный водоносный горизонт. В термальных водах содержится большое количество солей различных токсичных металлов (например, бора, свинца, цинка, кадмия, мышьяка) и химических соединений (аммиака, фенолов), что исключает сброс этих вод в природные водные системы, расположенные на поверхности.

Можно ожидать эволюционного совершенствования технологии, паровых и бинарных энергоблоков.

Вероятные масштабы их использования в энергосистемах.

По оценкам МЭА, установленная мощность ГеоТЭС вырастет с нынешних 11 до 43 ГВт к 2050 г. (0,4 % установленной мощности).

По оценкам Гринпис, установленная мощность ГеоТЭС вырастет с нынешних 11 до 279 ГВт к 2050 г. (2,4% установленной мощности).

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

В России геотермальная энергетика может обеспечить дешевое автономное энергоснабжение для Камчатки. Реализация потенциала геотермальной энергетики войдет и уже входит в конфликт с развитием здесь ядерной генерации.

¹⁸² Информационное сообщение Гнатусь Н.А. «Неисчерпаемая энергия».

3.3. Аккумуляция энергии

Аккумуляция и хранение энергии – ключевой вопрос для обеспечения надежного энергообеспечения от ВИЭ.

Некоторые технологии в области аккумуляции энергии:

- гидроаккумуляционные станции (ГАЭС);
- аккумуляторы и суперконденсаторы;
- сжатый воздух;
- супермаховики;
- сверхпроводящие катушки;
- генераторы водорода;
- аккумуляторы тепла на фазовых переходах;
- аккумуляторы тепла в энергию химических реакций.

Динамика ключевых технико-экономических и экологических характеристик геотермальной энергетики

Плотность аккумулируемой энергии в различных устройствах и материалах¹⁸³

	Плотность энергии кВт-час/кг без учета КПД и массы двигателя*	КПД, %	Плотность энергии кВт-час/кг с учетом КПД
Водород	38.0	50-60	20.0-23.0
Бензин	13.0-14.0	25-30	3.25-4.2
Свинцово-кислотный аккумулятор	0.025-0.04	96-98	0.02-0.039
Гидроемкость	0.0003	64	0.0002
Стальной маховик	0.05	96-98	0.049
Маховик из углеродного волокна	0.215-0.5	96-98	0.21-0.49
Маховик из кварцевого стекла	0.9	96-98	0.88
Кольцевой маховик	1.4-4.17	96-98	1.36-4.0
Сжатый воздух	2 (на 1 м ³)	30-40	0.6-0.8
Сверхпроводниковый индуктивный накопитель	1,36	99	1,35
Химическая конверсия (процесс "Ева"- "Адам")	1 - 2	20-30	0,2-0,6

* вес мотора и генератора, вес баллонов и двигателей не учтен.

Самыми экономичными накопителями энергии были ГАЭС и свинцово-кислотные аккумуляторы. Наряду с накопителями электрической энергии широко применяются и накопители тепловой энергии (как в виде тепла, так и в виде холода). Тепловая энергия аккумулируется нагретой водой, льдом, расплавленными солями. Накопители энергии сейчас находятся в числе наиболее быстро развивающихся областей техники. До 2030 года следует ожидать быстрого прогресса суперконденсаторов, маховиков, сверхпроводниковых накопителей энергии (СПИН).

Не исключено и создание принципиально новых аккумуляторов энергии. Например, в 1991 году В.П.Яковлев совместно с В.И.Андреановым, основываясь на собственных исследованиях природы шаровой молнии, подал заявку и получил патент СССР N 1831977 на «безотказный способ синтеза шаровых плазмоидов». В 1994 году они также подали заявку на «Способ аккумуляции энергии в шаровом плазмоиде и плазменном аккумуляторе» номинальной энергией 85 МДж (около 23 кВт-ч), габаритами 50x50x80 см, массой 50 кг. До сих пор в России не было выделено финансирования для исследований в этом экзотическом направлении.

¹⁸³ RRistinen, R. A., and Kraushaar, J. J. (1999). Energy and the Environment, John Wiley & Sons, New York, расчеты авторов

Самым компактным источником энергии является пара «вещество-антивещество». Разрабатываются технологии удержания частиц антивещества в магнитных полях. Но КПД получения антивещества в ускорителе ничтожен.

Отдельно необходимо остановиться на технологии **химического аккумулирования солнечной энергии**. Технология разработана в институте катализа им. Г.К. Борескова. За эти работы директор института В.Н. Пармон удостоен государственной премии 2010 года. Разработанный под его руководством процесс обратимого каталитического преобразования тепловой энергии в химическую и обратно (Процесс «Ева»-«Адам»)¹⁸⁴ позволяет аккумулировать энергию солнца и использовать высокопотенциальное (600-700С) тепло для нагрева пара. Процесс «Ева» можно также использовать для получения водорода и синтез-газа. Разработаны еще несколько процессов использования химической энергии.

Производство водорода. Водород может быть произведен в ходе различных процессов, связанных с использованием ископаемых топлив, ядерных или возобновляемых источников энергии. К этим процессам относятся электролиз воды, риформинг природного газа, газификация угля и биомассы, расщепление воды при высоких температурах, фотоэлектролиз и различные биологические процессы. При этом следует помнить, что использование органического топлива для получения водорода противоречит цели снижения выбросов CO₂. В настоящее время проводятся исследования в области получения водорода из воды электролизом, высокотемпературным пиролизом, термokatалитическим разложением. Испытано большое количество катализаторов, однако приемлемое решение до сих пор не найдено. Перспективы водородной энергетики определяются результатами НИОКР в области катализаторов процесса разложения воды.

3.4. Передача и регулирование потребления электроэнергии

Применение возобновляемых источников для производства электрической и тепловой энергии требует новых подходов к управлению и диспетчеризации энергосистемы. Ниже рассматриваются некоторые технологии в области передачи электрической энергии.

3.4.1. Умная сеть (smart grids)

Это система, которая автоматически оптимизирует энергозатраты, когда меняются параметры сети (потребляемая и генерируемая мощности в каждом узле сети). **Smart grids** предполагают децентрализацию генерации электроэнергии с подключением к сети большого числа мелких неуправляемых источников энергии на основе ВИЭ. Развитие распределенной генерации на основе ВИЭ разгружает как высоковольтную, так и распределительную сеть, что способствует снижению потерь электрической энергии повышению надежности и устойчивости ЭЭС и вносит дополнительные возможности в реализацию рынков электроэнергии, освобождая пропускные способности сетей.

Есть также понятие **“Виртуальная электростанция” (Virtual power plant)** – группа распределенных генераторов и аккумуляторов электроэнергии, находящихся под единым управлением. Для диспетчера энергосистемы виртуальная электростанция выглядит как один объект.

Следующим шагом на пути согласования генерации и потребления, скорее всего, станет обмен данными между производителями и потребителями энергии о текущих и прогнозных балансах генерации и потребления. Это позволит потребителям тоже принимать решения по балансированию нагрузки.

¹⁸⁴ <http://www.inp.nsk.su/~soldatk/PlasmaSeminars/20060411/Parmon.ppt>

При этом неустойчивые ВИЭ (солнечная и ветровая энергетика) не будут влиять на качество энергии. Например, компания Energynautics, занимающаяся вопросами сетевой интеграции, изучила погодные условия на европейском континенте за последние 30 лет и сравнила полученные данные с данными электропотребления с 15 минутным шагом. Анализ показал, что вероятность совпадения нежелательных погодных условий и уровня электропотребления, когда высокое электропотребление совпадает с низкой солнечной активностью и слабым ветром, составляет в среднем 12 часов в году. 3 случая таких погодных аномалий – август 2003, ноябрь 1987 и январь 1997 г. Во всех остальных случаях ветровая обстановка и солнечная инсоляция были достаточны для выработки необходимого количества электроэнергии.

Появление большого количества мелких источников генерации, рост реактивной нагрузки, усложнение топологии сетей, необходимость повышения качества электроэнергии требует согласования фаз и управление коэффициентом мощности. Эти задачи решаются с помощью технологий FACTS и линий передачи постоянного тока (см. ниже).

Вероятные масштабы использования рассматриваемых технологий.

К 2030 году все сети могут управляться по технологиям Smart grid и Virtual power plant.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Последствия для энергетики. По оценкам ФСК, внедрение технологии «интеллектуальных» сетей уменьшит потери в российских электрических сетях всех классов напряжения на 25%, что позволит достигнуть экономии 34-35 млрд. кВт-ч в год. По некоторым оценкам, развитие сети на основе новой технологии может сократить потребность в новых мощностях на 22 ГВт. А объем капиталовложений в развитие распределительных и магистральных сетей в результате увеличения пропускной способности можно снизить почти на 35 млрд долл.¹⁸⁵

Самым главным последствием развития Умной сети для энергетики является уход от концепции базовой нагрузки и переход к концепции подстраивания нагрузки в соответствии с потребляемой мощностью и как результат - конфликт между ядерно-угольной генерацией и генерацией на основе ВИЭ. 24 февраля 2010 г. в Испании ветровая энергетика вынуждена была отключить 800 МВт своих мощностей на несколько часов (на тот момент ветровая энергетика поставляла в сеть 11961 МВт или 44,5% все мощности). В течение 20 минут мощность была понижена, что продемонстрировало гибкость ветровой энергетика. 25 февраля ситуация повторилась и ветровая энергетика снизила поставляемую мощность по приказу оператора на 1000 МВт. В то же самое время атомная генерация продолжала поставлять постоянную мощность 7372 МВт. Убытки понесла ветровая энергетика. По прогнозу Гринпис, к 2030 году конфликт между ВИЭ и базовыми ядерной и угольной генерацией станет системным.

Развитие новых секторов экономики. Рост сложности сетей приводит к росту сложности управления ими. Потребуются масштабные исследования устойчивости сетей с учетом последствий кооперативного поведения производителей и потребителей. Следует поддержать участие российских IT компаний в проектах по созданию систем управления сетями.

3.4.2. Управление спросом

С целью лучшего согласования графиков производства и потребления в странах ОЭСР все более широко используется управление спросом на энергию. Для этого применяются, прежде всего, дифференцированные тарифы. Например, во Франции существует более 80 различных тарифов для разного времени суток, дней недели, месяцев года, потребляемой мощности и т.п.

¹⁸⁵ <http://www.csr-nw.ru/content/news/print.asp?ids=2&ida=2498>

Кроме того, для управления спросом могут использоваться социальные нормативы на электроэнергию.

Основные последствия разработки и внедрения указанных технологий.

Пропаганда многотарифных электросчетчиков (при быстрой их окупаемости) может значительно снизить пиковую нагрузку особенно для таких мегаполисов как Москва.

3.4.3. Системы передачи электроэнергии

FACTS (Flexible Alternative Current(AC) Transmission Systems) — Гибкие системы передачи на переменном токе. Системы FACTS появились около 1990 года. Предпосылками их разработки послужило появление на рынке запираемых электронных компонентов высокой мощности – IGBT, GTO, IEGT. Для управления передачей ЛЭП и подстанции оснащаются средствами управления фазой: синхронными компенсаторами, компенсаторами реактивной мощности Static VAr Compensator (SVC), а для управления напряжением в сети поперечными компенсаторами STATCOM (STATic Synchronous COMpensator – Статический синхронный компенсатор) и продольными компенсаторами SSSC (Static Synchronous Series Compensator – Статический синхронный продольный компенсатор). С 1998 года в США работает первая система UPFC (Unified Power Flow Controller – Унифицированная система управления энергопотоками), объединяющая возможности STATCOM и SSSC. Она позволяет управлять и активной, и реактивной мощностью. Пока таких систем в мире единицы. Они особенно важны в больших городах со сложной топологией сетей и трудностями прокладки новых ЛЭП.

HVDC (High Voltage Direct Current) - Высоковольтные ЛЭП постоянного тока (ВВЛЭПТ). Мощность передаваемая по проводам ЛЭП ограничена нагревом проводов. Постоянный ток позволяет по той же линии передавать вдвое большую мощность, чем переменный. Кроме того, линии постоянного тока позволяют связывать части сети переменного тока с разной фазой и частотой. Разработки ННИИПТ (Россия) позволяют плавно перераспределять мощность из линии постоянного тока в разные сети переменного тока. Ключевым для распространения ЛЭП постоянного тока стало создание мощных полупроводниковых выпрямителей и инверторов. Еще в СССР была создана ЛЭП ПТ 1150 кВ. К 2030 г можно ожидать появления ЛЭП 1500 кВ.

В ЕС рассматривается проект ВВЛЭПТ, объединяющих систему крупных ветропарков в Северном море общей мощностью 68 ГВт. Стоимость ЛЭП оценивается в 15-20 млрд. Евро. В случае реализации проекта сеть может поставлять в страны ЕС 247 млрд. кВт-ч электроэнергии в год. Развитие высоковольтных ЛЭП прямого тока в ЕС позволит создать систему перетоков электроэнергии, получаемой от крупных ветростанций в Северном море и солнечных станций в Испании и Северной Африке. Это создаст условия для снижения доли угольных ТЭС, а также для замещения атомной генерации.

Сверхпроводящее оборудование. Отсутствие омического потребления электроэнергии в сверхпроводниках давно привлекает энергетиков. Однако снижение стоимости сверхпроводникового оборудования отстает от прогнозов. Несмотря на открытие в 1986 году высокотемпературной сверхпроводимости (при температуре жидкого азота), на ВТСП сделаны только ограничители тока. Сильноточные металлические проводники приходится охлаждать жидким гелием. С 2008 г в Москве на подстанции «Динамо» действует сверхпроводящая вставка постоянного тока. Открытие новых высокотемпературных сверхпроводящих материалов может произойти в любой момент.

Воздушные ЛЭП. Для воздушных ЛЭП высокого напряжения созданы высокие (60-80 м) трубчатые опоры, позволяющие не прокладывать просек в лесах и застраивать землю под ЛЭП в городах. В России создан длинноискровой петлевой разрядник, защищающий ВЛ и установленное на них оборудование от грозовых отключений и повреждений, электрические сети от дуговых замыка-

ний.¹⁸⁶ Новый разрядник позволит отказаться от грозозащитного кабеля, повысит надежность и снизит затраты на эксплуатацию воздушных ЛЭП.

Кабельные ЛЭП. Рост стоимости земли, особенно в городах, и экологические проблемы повышают интерес к кабельным ЛЭП. Для кабельных ЛЭП создаются новые изолирующие материалы с малыми потерями. Сверхпроводниковые ЛЭП также будут прокладываться под землей. Следует ожидать рост доли кабельных ЛЭП, перевод к 2050 г. всех городских сетей на кабель.

Низковольтные сети. В связи с широким использованием микрогенерации и аккумулярования энергии низковольтные сети также станут управляемыми. Фотоэлектрические батареи производят энергию постоянного тока. Аккумуляторы, суперконденсаторы и сверхпроводниковые накопители запасают энергию постоянного тока. Светодиоды и электронные приборы потребляют постоянный ток. Поэтому можно ожидать создания двух параллельных сетей у конечного потребителя: низковольтной постоянного тока для питания освещения (светодиодного) и слаботочной электроники и силовой сети переменного тока. Это решение особенно быстро будет распространяться в беднейших экваториальных странах, где новые сети могут быть построены практически с нуля.

3.5. Плотность концентрации электроэнергии из разных источников

Потребители электроэнергии имеют разную плотность – от рассеянных сельских усадеб и автоматических приборов до крупнейших предприятий, потребляющих сотни мегаватт на квадратном километре промплощадки. Требуется как децентрализованные, так и высокоцентрализованные источники электроэнергии.

Тепловые и атомные электростанции имеют мощность до несколько гигаватт на квадратном километре площадки (без учета площади, на которой добывается и перерабатывается топливо). Гидроэлектростанции производят не более единиц мегаватт на квадратный километр площади водохранилища. Исключение составляют высокогорные ГЭС: Нурекская - 30 МВт/км², Чиркейская - 25 МВт/км² и им подобные. Геотермальные станции могут выработать десятки мегаватт, за счет подземного тепла, собранного скважинами с квадратного километра. Приливные станции и электростанции, не приводящие к затоплению земель, могут выдавать сотни мегаватт на километр напорного фронта. Волновые электростанции – до 80 МВт на километр берега. Ветропарки производят единицы мегаватт на кв. км территории.

Наиболее высокой концентрацией обладает солнечная энергия. На экваторе мощность солнечного излучения составляет 1,4 ГВт/км². При КПД массовых фотоэлементов из поликремния 15% это означает, что солнечная электростанция, занимающая один квадратный километр, может выдать в полдень до 200 МВт.

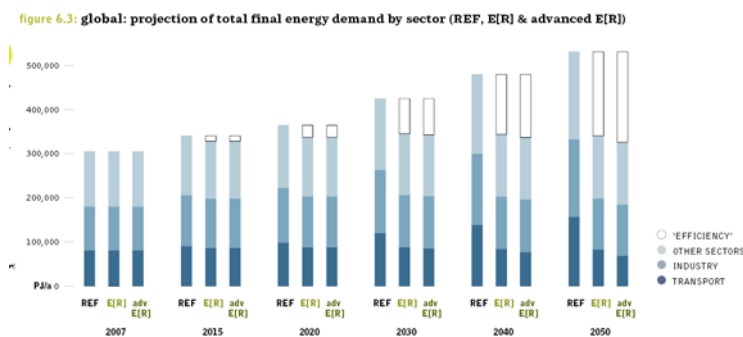
¹⁸⁶ <http://www.streamer.ru/>

4. Возможная технологическая картина мировой энергетики к 2050 году

4.1. Потребление первичной энергии

По оценкам МЭА (WEO 2009), при сохранении темпов роста населения и ВВП (в соответствии с данными ООН и Всемирного Банка) потребление первичной энергии к 2030 году вырастет на 40% и с учетом экстраполяции данных МЭА до 2050 года примерно на 74% - с **10,4 млрд. т у.т.** (без учета ресурсов для неэнергетических целей) до **18,1 млрд. т у.т.**¹⁸⁷ В основном абсолютный рост будет обеспечен за счет Китая (на **2,4 млрд. т у.т.**) и Индии (на **1,2 млрд. т у.т.**) (без учета ресурсов для неэнергетических целей). Среди секторов самый значительный рост будет на транспорте.

По оценке Гринпис, при максимальной реализации потенциала энергоэффективности потребление первичной энергии останется примерно на современном уровне – рост потребления с **10,4 млрд. т у.т.** до **11,6 млрд. т у.т.**¹⁸⁸ (без учета ресурсов для неэнергетических целей). Незначительный рост энергопотребления произойдет в промышленности, сельском хозяйстве и транспорте.



Такая разница в оценках обеспечивается тем, что по оценкам МЭА к 2050 г. энергоёмкость ВВП снизится на 56%, а по оценкам Гринпис энергоёмкость может снизиться на 73%.

Необходимо отметить, что в последние годы ежегодные сценарии МЭА имеют явную тенденцию к снижению показателей роста потребления ископаемого топлива и повышению показателей энергоэффективности. Например, показатели потребления первичной энергии в WEO 2009 на 6% ниже, чем в WEO 2007.

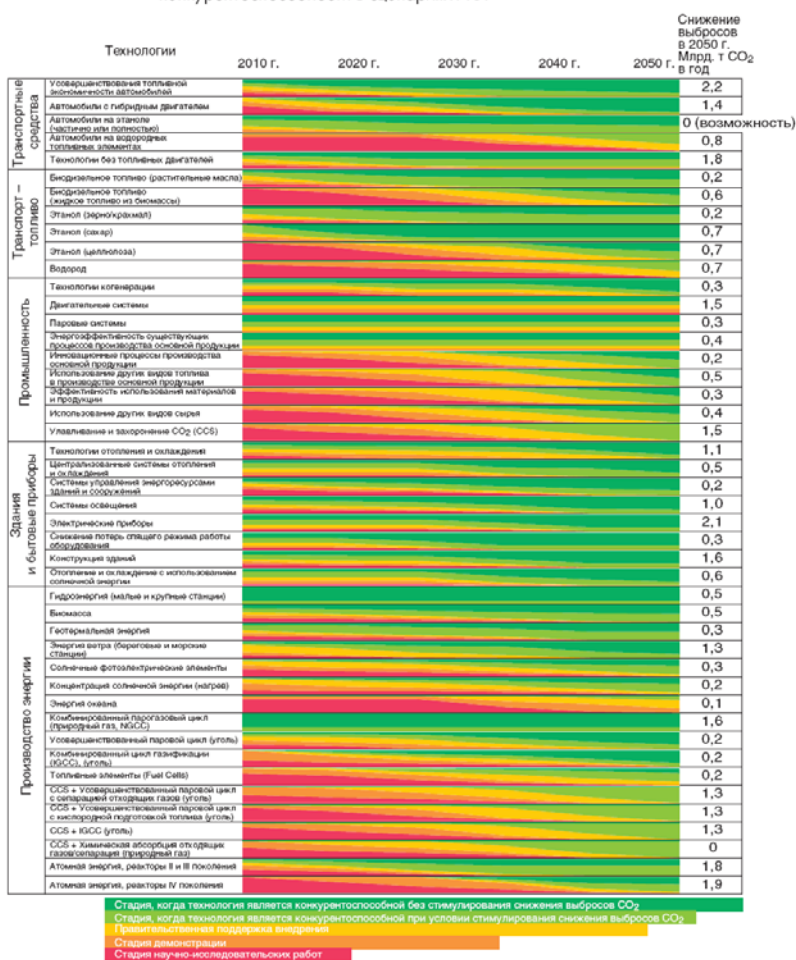
Ниже приведена оценка МЭА о сроках потенциального внедрения различных технологий как в потреблении, так и в производстве энергии по сценарию АСТ MAP, в соответствии с которым внедрение новых технологий низкоуглеродной энергетики ускорено.¹⁸⁹ (Здесь с точки зрения Гринпис и многих других экспертов, оценка конкурентоспособности атомной энергетики явно завышена).

¹⁸⁷ WEO 2009

¹⁸⁸ На основе WEO 2009 и сценария Гринпис

¹⁸⁹ [Перспективы энергетических технологий 2006. МЭА, перевод WWF.](#)

Рисунок 3.2 ▶ Переход от стадии разработки технологии к полной конкурентоспособности в сценариях АСТ



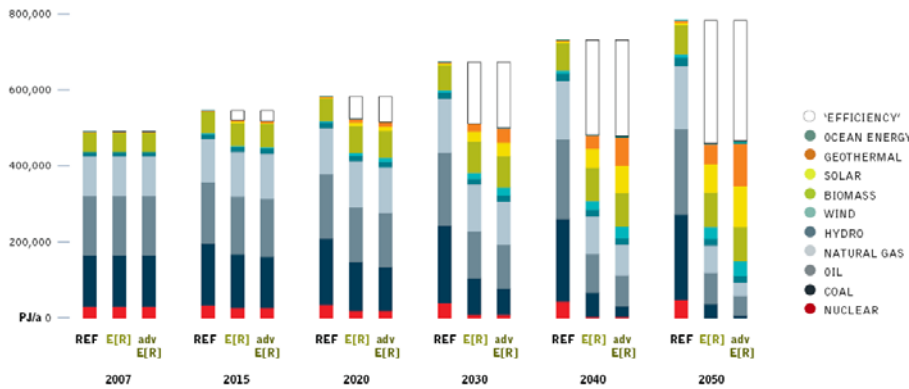
Примечание: Эффект снижения выбросов CO₂, указанный для каждой технологии, подразумевает только непосредственные результаты использования этих технологий; при этом не учитывается тот факт, что некоторые технологии позволяют снизить объем выбросов CO₂ при использовании других технологий. Например, усовершенствованные высокоэффективные угольные станции имеют огромное значение для широкого распространения CCS. Общий потенциал снижения объема выбросов CO₂ может не соответствовать показателям в Таблице 2.2 из-за погрешностей округления. Снижение выбросов в результате использования атомных электростанций IV поколения, водородного топлива и топливных элементов относится к сценарию TECH Plus, во всех других категориях снижение выбросов относится к технологиям сценария Мир.

4.2. Производство первичной энергии

Ниже приведено сравнение базового сценария МЭА (WEO 2009) и сценария Гринпис.

	МЭА 2009		Гринпис	
	Первичная энергия ПДж (млрд. т у.т.)	Электроэнергия, трлн кВт-ч	Первичная энергия ПДж (млрд. т у.т.)	Электроэнергия, трлн кВт-ч
2007	490229 (16,7)	19,773	490229(16,7)	19,773
2050	783458 (26,7)	46,542	480861 (16,4)	43,922
	%		%	
ВИЭ 2007	13	18	13	18
ВИЭ 2050	15	24	80	95
Огневая 2007	81	68	81	68
Огневая 2050	79	67	20	5
АЭС 2007	6	14	6	14
АЭС 2050	6	10	0	0

figure 0.1: global: development of primary energy consumption under the three scenarios
 ('EFFICIENCY' = REDUCTION COMPARED TO THE REFERENCE SCENARIO)



12

Совпадения сценариев:

- Рост производства электроэнергии. Производство электроэнергии будет расти с нынешних порядка 20 млрд. кВт-часов до 46 млрд. кВт-часов (МЭА) или 44 млрд. кВт-часов (Гринпис). Электроэнергетика значительно увеличит свою роль в тепловом хозяйстве за счет тепловых насосов и в транспорте (двигатели на электрической тяге).
- Рост доли ВИЭ.
- Отсутствие роста доли атомной энергетики.

Отличия сценариев:

- МЭА делает ставку на CCS и сохранение угольной генерации с увеличением абсолютных показателей потребления угля примерно в 2 раза. Стоимость угля по оценкам МЭА будет падать. Гринпис, полагая, что CCS не сможет выйти на масштабный уровень ранее 2030 года (в случае успеха экспериментальных технологий), предлагает заместить угольную генерацию за счет ВИЭ. Снижение потребления угля в сценарии Гринпис составляет 3 раза.
- Сценарий МЭА сохраняет атомную генерацию. Вместе с сохранением угольной генерации это означает сохранение базовой нагрузки в сетях. Гринпис предлагает отказ от строительства атомной генерации к 2030 году. Как минимум, Германия, где программы ВИЭ реализуются для выполнения политической цели отказа от атомной энергетики, может с высокой степенью вероятности выйти на замещение атомной генерации возобновляемой энергетикой. Современные тенденции четко показывают, что атомная генерация не имеет объективных причин для повторения экспоненциального роста, который она показала в 70-е годы прошлого столетия. Для атомной генерации ситуация отягощается еще и тем, что здесь не действует правило обучения. Новая атомная энергетика на быстрых нейтронах пока находится на стадии НИОКР и существующие результаты не позволяют говорить о решении принципиальных проблем атомной энергетики – стоимость капвложений, утилизация РАО и распространение ядерного оружия.
- По оценкам Гринпис, снижение потребления ископаемого топлива может составить 2,3% ежегодно после 2015 года. Политическое давление по вытеснению ископаемого топлива с рынка с помощью международных механизмов и национальных инициатив во многих странах в настоящее время растет. Это способствует движению мировой энергетики в сторону сценария Гринпис.
- По оценкам Гринпис и некоторым сценариям МЭА, себестоимость электроэнергии ВИЭ, включая солнечную энергию, к 2030 году сравняется с себестоимостью электроэнергии на ископаемом топливе.

- Оценки роста ВИЭ разнятся в абсолютных величинах в 4 раза (МЭА 2009 и Гринпис). По оценкам Гринпис рост ВИЭ составит 3,4% ежегодно до середины столетия. Пока динамика благоприятствует такому сценарию. По итогам 2009 года рост в мировой геотермальной энергетике составил 3,9% (здесь и далее установленная эл. мощность), в ветровой - 31%, в солнечной - 47%. Производство этанола выросло на 8,1%.¹⁹⁰ В России рост производства пеллет в 2009 году достигло 2 млн. тонн что обеспечило рост примерно на 100% по сравнению с 2008 годом.
- По оценкам МЭА, нынешние программы развития ВИЭ в Китае, США и ЕС снижают к 2030 году выбросы на 230, 150 и 141 млн. т CO₂ в год. Для сравнения пиковый 2008 год имел 31,55 млрд. тонн парниковых выбросов, таким образом, снижение за счет указанных источников составит 1,6% от пиковых выбросов.
- По газу, по оценкам МЭА, рост потребления составит с нынешних 3,6 млрд. т у.т. до 4,8 млрд. т у.т. к 2030 и 5,7 млрд. т у.т. к 2050 г. По оценкам МЭА, рост стоимости импортируемого газа составит по разным регионам с 8-12 до 11-16 долл. за ГДж. По оценкам Гринпис, потребление газа достигнет 4,2 млрд. т у.т. к 2030 г. и далее начнется снижение потребления до 2,4 млрд. т у.т. к 2050 г.
- По оценкам МЭА, производство нефти вырастет с нынешних 5,3 млрд. т у.т. до 7,7 млрд. т у.т. Потребление нефти в транспортном секторе вырастет с 2,6 млрд. т у.т. до 4,8 млрд. т у.т. к 2050 году. По оценкам Гринпис, производство нефти может снизиться к 2030 году до 4,2 т у.т. и к 2050 году до 2,8 млрд. т у.т. В транспортном секторе потребление нефти может стабилизироваться после 2030 года примерно на современном уровне.

4.3. Последствия перехода к энергетике на основе ВИЭ

Масштабное развитие ВИЭ и технологий аккумулирования энергии будет означать снижение доли централизованной крупной энергетики. Для социума это будет означать автономизацию и возможность независимости от крупных компаний.

Ускоренное развитие ВИЭ в электроэнергетике (по сценарию Гринпис) потребует пересмотра концепции базовой нагрузки в сетевом хозяйстве с переходом к концепции follow base. Технологически отказ от базовой нагрузки возможен, и развитие новой концепции приведет к значительному росту ИТ технологий и компаний. Кроме того, это будет означать значительную децентрализацию поставщиков электроэнергии. Конфликт между базовой генерацией (АЭС, уголь) ожидается в развитых странах, где активно развивается ВИЭ, к 2030 году, но предвестники этого конфликта наблюдаются уже сейчас.

Подключение к сети ВИЭ ведет к удешевлению стоимости электроэнергии. Например, в Испании в 2009 году стоимость электроэнергии на момент максимальной выработки ветровой и гидроэнергии составляла 17 евроцентов за кВт-ч. Для сравнения среднегодовая цена электроэнергии в Испании в это время колебалась между 37 и 42 евроцентами за кВт-час.

Для всех потребителей развитие ВИЭ означает повышение надежности электроснабжения.

Большой объем доступной солнечной энергии и возможность ее преобразования в доступную для хранения и транспортировки химическую позволит в перспективе полностью отказаться от сжигания ископаемого топлива. Для экономики это означает резкое снижение грузовых перевозок

¹⁹⁰ BP Statistical Review of World Energy June 2010

топлива, радикальную смену технологической и отраслевой структуры промышленности, рост доли потребительских товаров по сравнению со средствами производства, общее сокращение материального производства. В частности, для энергетических компаний это означает трансформацию бизнеса в энергосервисный (предоставление освещения, климатического комфорта в зданиях и т.п.) Возможна и более радикальная трансформация бизнеса от производства товаров к «производству качества жизни» совместно с потребителями-партнерами.
