



Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ)

И.А. Башмаков и А.Д. Мышак

**Российская система
учета повышения
энергоэффективности
и экономии энергии**

Москва, 2012



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ | 4 |
| 2. ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГИИ | 9 |
| 3. ДОЛГОСРОЧНАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ | 12 |
| 4. АГРЕГИРОВАННЫЕ ИНДЕКСЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ | 15 |
| 4.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМА ИНДЕКСОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ | 15 |
| 4.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВКЛАДА ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ В ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ | 22 |
| 4.3. ОЦЕНКА КОСВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭНЕРГИИ | 25 |
| 4.4. ФАКТОРЫ, КОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЯЛИ ДИНАМИКУ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ВРП МОСКВЫ | 27 |
| 5. КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ | 30 |
| 5.1. КАНАДА | 30 |
| 5.2. НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ | 32 |
| 5.3. США | 34 |
| 5.4. АВСТРАЛИЯ | 36 |
| 5.5. МЕЖДУНАРОДНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО | 38 |
| 5.6. ЕС - ODYSSEE | 40 |
| 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ И АГРЕГИРОВАННЫЕ ТРЕНДЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В РОССИИ | 44 |
| 6.1. Единый топливно-энергетический баланс (ЕТЭБ) Российской Федерации за 2010 г. | 44 |
| 6.2. Место России по уровню энергоемкости ВВП | 51 |
| 6.3. Динамика энергоемкости ВВП России | 52 |
| 6.4. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯВШИЕ ДИНАМИКУ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В 2000-2010 ГГ. | 54 |
| 6.5. Динамика индексов энергоэффективности в 2000-2010 гг. | 59 |
| 7. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ | 62 |
| 7.1. ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ | 62 |
| 7.2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯВШИЕ ДИНАМИКУ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ В 2000-2010 ГГ. | 64 |
| 7.3. Динамика индекса энергоэффективности в промышленности | 66 |
| 8. ТРАНСПОРТ | 70 |
| 8.1. ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ НА ТРАНСПОРТЕ | 70 |
| 8.2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯВШИЕ ДИНАМИКУ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ТРАНСПОРТЕ В 2000-2010 ГГ. | 72 |
| 8.3. Динамика индекса энергоэффективности на транспорте | 73 |
| 9. ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ | 75 |
| 9.1. ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЖИЛЫМИ ЗДАНИЯМИ | 75 |
| 9.2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯВШИЕ ДИНАМИКУ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ | 77 |
| 9.3. Динамика индекса энергоэффективности в жилых зданиях | 79 |



Введение

Россия поставила перед собой очень амбициозную задачу по снижению энергоемкости ВВП на 40% в 2007-2020 гг. Международное энергетическое агентство считает, что подобную задачу можно решить только к 2028 г.¹ Очевидно, что для мониторинга степени реализации этой цели должна быть создана российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. Такие системы учета созданы и используются в разных странах и группах стран. Они позволяют количественно оценить влияние разных факторов на динамику энергопотребления и энергоемкости в разных секторах.

Для России такой анализ особенно важен, поскольку в 2009 г. после длительного и динамичного снижения энергоемкость ВВП повысилась, а в 2010 г. осталась практически неизменной. Каковы причины такой неожиданной динамики в ответ на запуск активной политики по повышению энергоэффективности? Почему пока федеральное правительство серьезно не занималось энергоэффективностью, энергоемкость снижалась, а сразу после его резкой активизации в этой сфере снижаться перестала? Важная задача российской системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии – дать ясные и четкие ответы на такие вопросы.

Доклад состоит из 9 разделов. В первом сформулированы основные выводы работы. Во втором даны определения понятий «энергетическая эффективность» и «энергосбережение» и определены индикаторы, с помощью которых измеряется прогресс в деле повышения энергоэффективности. В третьем рассмотрена долгосрочная динамика показателей энергоемкости. В четвертом описан математический аппарат, который используется в декомпозиционном анализе, позволяющем оценить влияние отдельных факторов на динамику энергопотребления и энергоемкости ВВП, а также оценить индексы энергоэффективности. Эти индексы более адекватно отражают прогресс в повышении энергоэффективности за счет внедрения новых технологий. В пятом дается краткий обзор зарубежных систем учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. В шестом разделе описаны характеристики использования энергии и агрегированные тренды энергоэффективности в России. В последующих трех разделах более детально анализируется ситуация в промышленности, на транспорте и в секторе жилых зданий.

Данная работа закладывает фундамент для запуска на постоянной основе российской системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. Эта система должна состоять из трех элементов: статистической базы данных, математического аппарата и ежегодных докладов. Дальнейшее развитие этой работы может идти по нескольким направлениям: более детальный анализ в отдельных секторах, особенно на транспорте и в секторе зданий, а также дополнение анализа данными по выбросам парниковых газов, порождаемым производством и использованием энергетических ресурсов².

Работа выполнена сотрудниками ЦЭНЭФ И.А. Башмаковым и А.Д. Мышак.

Редактирование и перевод – Т.Б. Шишкина. Оформление – О.С. Ганзюк.

Исполнительный директор ЦЭНЭФ

И.А. Башмаков

¹ World Energy Outlook. 2011. IEA/OECD. Paris. 2011.

² В последние годы появляется все больше работ именно по выявлению роли факторов, определяющих динамику выбросов парниковых газов. В. Su and B.W. Ang. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments. Energy Economics. (Article in press, 2011).



1. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Эффективность использования энергии в экономике в целом можно измерять разными показателями: производительность энергии – производство ВВП на единицу потребленной энергии; энергоемкость ВВП – затраты энергии на производство единицы ВВП; индексы энергоэффективности – специально рассчитываемые сложные индексы, отражающие изменение энергоемкости преимущественно за счет внедрения новых технологий и изолирующие вклад прочих факторов.

Развитие человеческой цивилизации на протяжении веков сопровождается тенденцией повышения производительности энергии. Это закон трансформации энергетической базы человечества. В последние полтора века производительность энергии повышалась в среднем на 1% в год. Однако этот рост происходит неравномерно: в одни периоды он ускоряется, в другие замедляется.

Показатель энергоемкости ВВП наиболее широко используется. Однако снижение энергоемкости может происходить не только по технологическим, но и по другим причинам: за счет структурных сдвигов в экономике в целом и в отдельных ее секторах, изменения загрузки производственного оборудования, изменения цен на энергоносители, погодных условий, уровня благоустройства жилья и др.

Для мониторинга эффективности мер государственной политики во многих странах созданы национальные системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. Существуют также международные системы. Они имеют много общих черт, но в то же время учитывают специфику разных стран или групп стран, охватывают различный перечень секторов и подсекторов энергопотребления, отражают воздействие различного перечня факторов. В национальных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии используются различные подходы к определению индексов энергоэффективности и разные методы декомпозиции вклада отдельных факторов в динамику энергоемкости ВВП.

Проекция этих подходов на условия России с учетом особенностей ее статистики по потреблению энергии, развитой слабее, чем во многих странах, но все же позволяющей провести довольно информационно емкий анализ, позволила получить следующие основные результаты.

Потребление первичной энергии в России снизилось в кризисном 2009 г. Наименее уязвимыми к кризисному снижению оказались сфера услуг и жилищный сектор, а наиболее уязвимыми – промышленность, транспорт и электроэнергетика. В 2010 г. потребление первичной энергии вышло на уровень 98% от докризисного максимума 2008 г., а потребление конечной энергии практически вышло на уровень 2008 г. В структуре потребления первичной энергии доминирует природный газ, и его доля продолжает расти.

Наиболее динамично потребление энергии росло на транспорте (54% всего прироста). За ним следовали электроэнергетика, потребление топлива на неэнергетические нужды, жилищный сектор и сфера услуг.

В 1998-2008 гг. после долгого отставания Россия вырвалась в мировые лидеры по темпам снижения энергоемкости ВВП: этот показатель снизился на 42% и снижался в среднем более чем на 5% в год, что существенно быстрее, чем во многих странах мира. Снижение энергоемкости ВВП в значительной степени нейтрализовало рост потребления энергии и стало главным энергетическим ресурсом экономического роста. Без прогресса в снижении

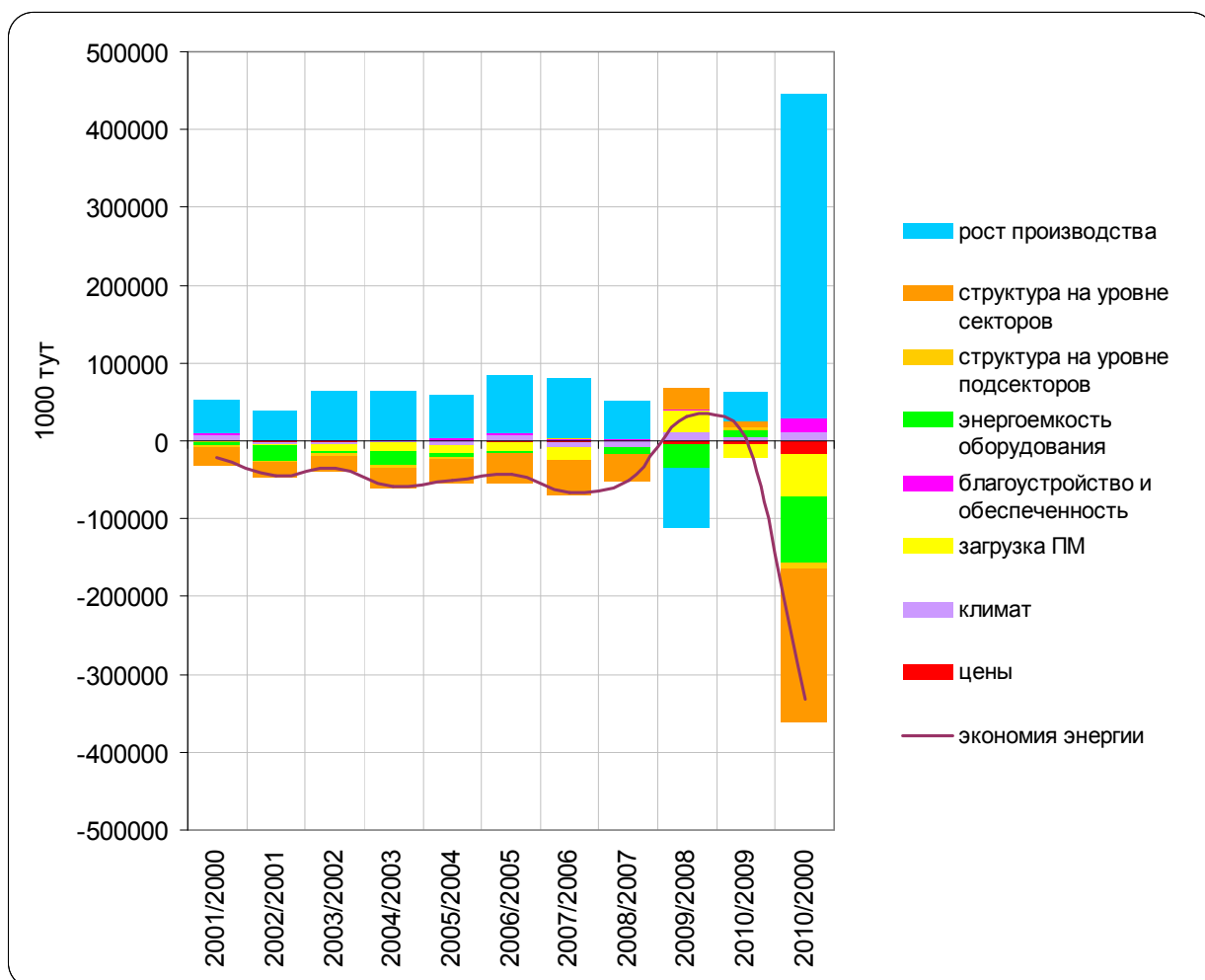


энергоёмкости потребление энергии в России в 2008 г. на 73% превышало бы фактический уровень, а чистый экспорт энергоносителей снизился бы на 90%.

Экономический кризис 2009 г. прервал эту впечатляющую динамику. В 2009 г. энергоёмкость ВВП выросла на 2,3%, а в 2010 г. снизилась только на 0,2%. Проявился парадокс российской политики повышения энергоэффективности: при отсутствии федеральной политики энергоёмкость ВВП быстро снижалась, а после ее запуска снижаться перестала.

Главными факторами роста энергоёмкости в 2009 г. стали порожденные кризисом структурные сдвиги в экономике и снижение загрузки производственных мощностей, а также более холодная, чем в 2008 г., погода при ускорении снижения технологической энергоэффективности (рис. 1.1).

Рисунок 1.1 – Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления первичной энергии в 2000-2010 гг., по 44 секторам и подсекторам и по 8 факторам



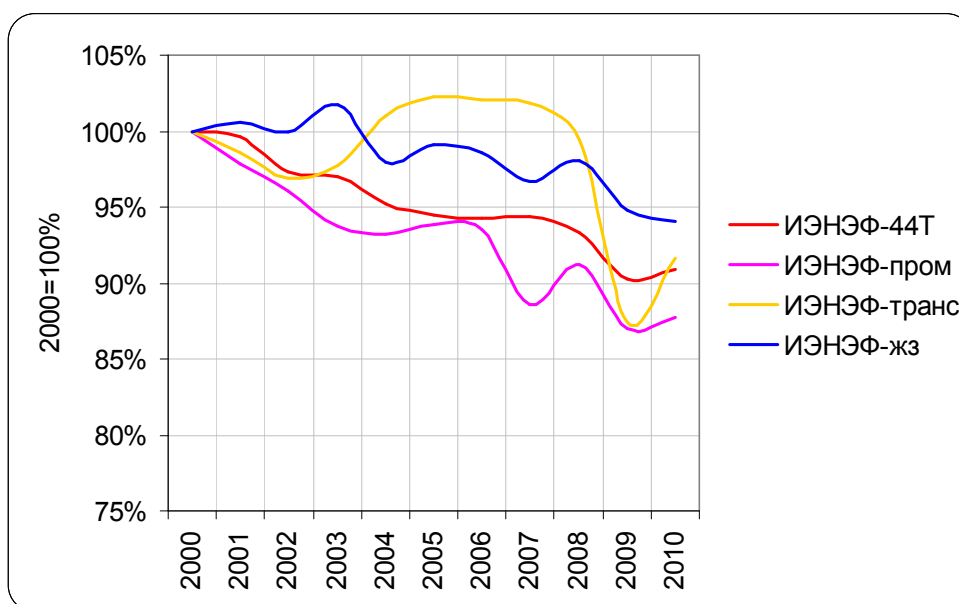
Источник: ЦЭНЭФ

Главными факторами стабилизации энергоёмкости в 2010 г. стали структурные сдвиги в экономике, рост энергоёмкости, а также еще более холодная, чем в 2009 г., погода, которые в значительной мере были нейтрализованы снижением энергоёмкости за счет роста загрузки производственных мощностей при выходе из кризиса.

Упомянутый выше парадокс – в основном, следствие действия циклических факторов экономической динамики, породивших структурные сдвиги и снизивших загрузку производственных мощностей. Вывод о том, что в 2009 г. энергоэффективность оборудования снижалась, неверен. Напротив, она повышалась. Отчасти это произошло за счет отказа от использования самых устаревших технологий. Снижение загрузки производственных мощностей и более холодная погода маскировали этот факт и искажали влияние технологического фактора.

Вместе с тем прогресс в совершенствовании технологической базы в направлении ее более высокой энергоэффективности происходил существенно медленнее, чем снижалась энергоемкость ВВП. Интегральный индекс энергоэффективности в 2000-2010 снизился только на 9% (рис. 1.2). За счет технологического фактора снижение энергоемкости ВВП составило в среднем не более 1% в год. Это примерно так же, как и в развитых странах. Значит, сократить технологический разрыв с ними в уровне энергоэффективности в 2000-2010 гг. практически не удалось.

Рисунок 1.2 – Динамика индексов энергоэффективности для экономики в целом и для отдельных секторов



ИЭНЭФ-44Т – индекс энергоэффективности при выделении 44 секторов и подсекторов экономики с выделением влияния технологического фактора;

ИЭНЭФ-пром – индекс энергоэффективности для промышленности при выделении 24 видов наиболее энергоемкой промышленной продукции с выделением влияния технологического фактора;

ИЭНЭФ-транс – индекс энергоэффективности на транспорте при выделении 4 секторов с выделением влияния технологического фактора;

ИЭНЭФ-жз – индекс энергоэффективности в жилых зданиях при выделении трех типов использования энергии с выделением влияния технологического фактора

Источник: ЦЭНЭФ

Суммарные расходы на энергоснабжение всех потребителей энергии в России выросли почти в пять раз до без малого 5 трлн. руб. в 2010 г., и их отношение к ВВП превысило пороговый уровень, за которым дороговизна энергии сдерживает экономический рост.

В промышленности удалось разорвать связь между ростом производства и динамикой энергопотребления. При росте промышленного производства на 47% в 2000-2010 гг. потребление конечной энергии снизилось на 10 млн. тут.



Фактор изменения структуры промышленного производства практически все время работал на снижение потребления энергии за счет опережающего роста производства менее энергоемкой продукции. Фактор энергоемкости оборудования также внес заметный вклад в ограничение роста потребления энергии. Однако по уровню значимости он оказался ниже, чем фактор изменения загрузки производственных мощностей. Фактор относительных цен на энергию в одни годы тормозил рост спроса на энергию, а в другие – нет. Расходы промышленности на приобретение энергоносителей выросли с 350 млрд. руб. в 2000 г. до 1103 млрд. руб. в 2010 г., а при учете переработки нефти, газа и угля – с 421 млрд. руб. в 2000 г. до 1406 млрд. руб. в 2010 г.

На фактор совершенствования технологической базы производства в промышленности пришлось только 30% снижения энергоемкости продукции. За счет этого фактора индекс энергоэффективности в промышленности снизился в 2000-2010 гг. на 22,3%, или в среднем снижался на 1,3% в год. В кризисном 2009 г. снижение загрузки производственных мощностей существенно затормозило падение потребления энергии в промышленности и стало важным фактором роста ее энергоемкости. При выходе из кризиса в 2010 г., напротив, именно этот фактор стал основным драйвером снижения энергоемкости.

Российская статистика потребления энергии на транспорте недостаточно развита и нуждается в значительном совершенствовании. Прирост потребления топлива легковыми автомобилями в 2000-2010 гг. оценен в 19 млн. тут, или в 50% всего прироста потребления энергии на транспорте. Это существенно больше прироста потребления энергии электростанциями или жилыми и общественными зданиями вместе взятыми. Жидкое топливо вытесняло другие энергоносители в топливном балансе транспорта.

Сдвиги преимущественно в сторону более энергоемких видов транспорта приводили к быстрому росту спроса на энергию. Особенно значимым вклад этого фактора оказался в кризисном 2009 г. Фактор цен на топливо сдерживал рост потребления энергии только в 2004-2007 гг. Расходы на энергоснабжение транспорта выросли с 411 млрд. руб. в 2000 г. до 1854 млрд. руб. в 2010 г., а на снабжение топливом автомобильного транспорта – с 310 млрд. руб. в 2000 г. до 1180 млрд. руб. в 2010 г. Если энергоемкость транспорта в 2000-2010 гг. выросла на 3%, то индекс энергоэффективности снизился на 8%, или снижался в среднем на 0,9% в год за счет пополнения парков транспортных средств более эффективной техникой.

Жилищный фонд занял третье место после транспорта и электроэнергетики по приросту потребления энергии в 2000-2010 гг. Среди факторов, которые сдерживали рост потребности в энергии в этом секторе, на долю технологического фактора пришлось 28%, еще 17% пришлось на структурный фактор и 55% – на фактор цен. Рост потребления энергии тормозился также за счет снижения численности населения и потребности в горячей воде. Рост жилой площади, а также повышение благоустройства жилого фонда и обеспеченности бытовыми приборами, являлись основными факторами прироста потребности в энергии. Холодные 2009 г. и 2010 г. определили прирост потребности в энергии жилыми зданиями на 6,6 млн. тут и на 3,1 млн. тут соответственно. Взлет цен на энергию стал основным тормозом роста потребления энергии в жилищном секторе. Если в 2000 г. россияне истратили на оплату энергоснабжения своих жилищ 114 млрд. руб., то в 2010 г. – ровно в десять раз больше – 1140 млрд. руб.

Создание силами ЦЭНЭФ и пилотная эксплуатация системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии в России показала, что (1) ее создание возможно даже на базе не самой совершенной статистики, (2) ее использование дает нетривиальные результаты, и (3) она требует дальнейшего развития.



Главный вывод состоит в том, что реализация федеральной политики повышения энергоэффективности должна быть нацелена на более динамичное сокращение интегрального индекса энергоэффективности и сокращение именно технологического разрыва с ведущими странами для повышения конкурентоспособности российской экономики и обеспечения ее экономической и энергетической безопасности.

Согласно требованиям Государственной программы РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» ежегодный вклад технологического фактора должен быть увеличен с 0,9% в 2000-2010 гг. до 1,7%, в 2011-2020 гг. за счет реализации мер программы. До начала реализации программы Россия от этого графика отставала. Снижение составило 1% в 2008 г., 2,3% - в 2009 г., а вот в 2010 г. имел место рост на 0,8%, или в среднем в 2007-2010 гг. интегральный индекс энергоэффективности снижался на 1,2%.

2. Показатели энергоэффективности и производительности энергии

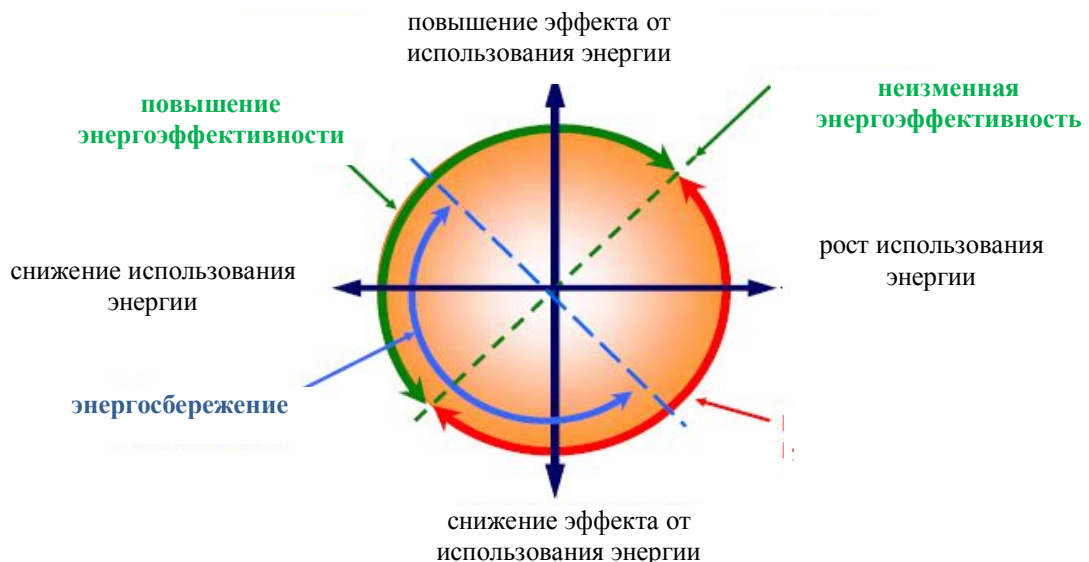
Важно различать понятия *энергоэффективность* и *энергосбережение*, которые часто ошибочно отождествляют. В федеральном законе № 261 даны следующие определения:

энергетическая эффективность – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю;

энергосбережение – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

Второе определение не совсем точно. Экономия энергии может достигаться и при снижении полезного эффекта. Например, при замещении мартеновской стали кислородно-конвертерной экономия энергии достигается за счет снижения производства мартеновской стали. Наглядно разницу между этими понятиями иллюстрирует рисунок, приведенный в отчете Службы по энергоэффективности и энергосбережению Новой Зеландии (рис. 2.1)³.

Рисунок 2.1 – Определение разницы между повышением энергоэффективности и энергосбережением



Источник: Energy Efficiency and Renewable Energy in New Zealand. Year Six Report. March 2001 to 2007.

³ Energy Efficiency and Renewable Energy in New Zealand. Year Six Report: March 2001 to 2007. Monitoring and Technical Group Energy Efficiency and Conservation Authority. 44 The Terrace. Wellington. March 2009.



Повышение энергоэффективности происходит, когда снижается удельный расход энергии на производство единицы полезного продукта, услуги или работы. Энергоэффективность повышается всегда, когда полезный эффект растет, а потребление энергии снижается. Энергоэффективность всегда снижается, если потребление энергии растет, а полезный эффект падает. Снижение потребления энергии (энергосбережение) при условии, что полезный эффект снижается быстрее, чем потребление энергии, может происходить при снижении энергоэффективности. Так было в России в кризисном 2009 г. Так было в промышленности Германии и Швеции в том же кризисном году. Рост потребления энергии может сопровождаться ростом энергоэффективности, если полезный эффект растет быстрее потребления энергии.

Эффективность использования энергии в экономике в целом можно измерять разными показателями:

- ⇒ **производительность энергии** – производство ВВП на единицу потребленной энергии;
- ⇒ **энергоёмкость ВВП** – затраты энергии на производство единицы ВВП;
- ⇒ **индекс энергоэффективности** – специально рассчитываемый сложный индекс, отражающий динамику энергоёмкости только за счет технологического изменения удельных расходов энергии или за счет повышения эффективности в различных секторах и изолирующий вклад структурных сдвигов⁴.

Наиболее широко используется показатель энергоёмкости ВВП, хотя более адекватным является показатель производительности энергии, который аналогичен показателю производительности труда. Он повышается при снижении расхода энергии на производство конкретной энергетической услуги. Например, на единицу светопотока компактная люминесцентная лампа потребляет в 4-6 раз меньше электроэнергии, чем лампа накаливания, а на единицу тепловой энергии русская печь потребляет в 3-4 раза меньше топлива, чем камин.

Повышение энергоэффективности сопровождается снижением энергоёмкости ВВП и ростом производительности энергии. Снижение энергоёмкости может происходить по причинам:

- ⇒ совершенствования технологий (ввода нового, модернизации и вывода из эксплуатации старого оборудования);
- ⇒ роста загрузки имеющегося производственного оборудования, в т.ч. за счет совершенствования организации производства;
- ⇒ за счет структурных сдвигов в экономике в целом и в отдельных ее секторах – роста удельного веса менее энергоёмких видов экономической деятельности из-за более быстрого их развития.

Структурные сдвиги в экономике и изменение загрузки производственного оборудования могут отражать как процессы совершенствования структуры экономики и организации производства, так и процессы циклических изменений. Для того чтобы выделить влияние на динамику энергоёмкости именно технических и технологических факторов, в разных странах используются различные формы индексов энергоэффективности.

Индекс энергоэффективности, в силу сложности его расчета, требующего к тому же большого объема дополнительной информации, используется намного реже, чем энергоёмкость ВВП, но он более точно отражает роль технологического фактора. Поэтому в системах учета повышения энергоэффективности отдельных стран или групп стран – МЭА, Европейского

⁴ Иногда его называют реальным индексом энергоёмкости. Ki-H. Choi and B.W. Ang. Attribution of changes in Divisia real energy intensity index – An extension of index decomposition analysis. Energy Economics. 34 (2012) 171-176.



Союза, США, Канады, Австралии, Новой Зеландии, Сингапура и др. в последнее время прогресс в деле повышения энергоэффективности все чаще измеряется именно с использованием различных модификаций сводного индекса энергоэффективности (см. разделы 4 и 5).

Существует иерархия показателей энергоэффективности. На самом верхнем уровне стоит показатель энергоемкости ВВП. Затем по основным секторам потребления энергии могут определяться показатели энергоэффективности для этих секторов: энергоемкость промышленности, транспорта, жилищного сектора, и т.п. На третьем уровне оцениваются показатели энергетической эффективности производства различных однотипных видов товаров, работ и услуг часто в виде специальных физических показателей энергоэффективности: удельный расход энергии на выплавку тонны металла, на производство тонны цемента, на отопление 1 м² жилой площади, на единицу транспортной работы грузовиков и т.д. Наконец, последний уровень – это показатели энергоэффективности отдельных технологий и видов оборудования: КПД электростанций, суточный расход электроэнергии холодильником, расход топлива на единицу пробега автомобиля или отношение мощности осветительного прибора к его светопотоку.

Индексы энергоэффективности позволяют связать все показатели энергоэффективности в систему. Одним из примеров такой системы является оцененный ЦЭНЭФ комплекс целевых индикаторов энергоэффективности Государственной программы «Энергосбережение и повышение энергоэффективности Российской Федерации на перспективу до 2020 года».



3. Долгосрочная динамика показателей энергоёмкости

Развитие человеческой цивилизации на протяжении веков сопровождается тенденцией повышения производительности энергии. Это закон трансформации энергетической базы человечества⁵. Он является производной от двух других законов, первый из которых гласит, что доля расходов на энергию в доходе в долгосрочном плане остается относительно стабильной с очень ограниченной зоной колебания вокруг весьма устойчивого на длительных отрезках времени отношения (8-10% от ВВП, или 4-5% от валового выпуска). Второй закон гласит: растущая производительность основных факторов производства обеспечивается ростом качества энергетических услуг. Поскольку более качественные энергоносители стоят дороже, справедлив и третий закон – закон энергосбережения⁶ или роста производительности энергии и повышения энергоэффективности, который гласит: по мере роста качества потребляемых энергоносителей на фоне относительно стабильного отношения доли расходов на энергию в доходе производительность энергии растет, а энергоёмкость снижается.

На протяжении некоторого времени существовало убеждение, что существует так называемый «холм энергоёмкости», то есть по мере развития производительных сил сначала энергоёмкость растет, а затем после «насыщения» и выхода на пик она снижается. Иллюстрация этого тезиса проводилась на основе данных по использованию коммерческих (то есть продаваемых и покупаемых) энергоносителей. Однако 100-200 лет тому назад основную часть энергобаланса составляли именно некоммерческие виды энергии – собираемая биомасса, энергия ветра и воды, мускульная сила людей и скота. Даже сегодня 2,7 млрд. человек на планете используют преимущественно биомассу для приготовления пищи, на сбор которой ежедневно уходят часы, и мускульную силу скота для передвижения грузов, людей и выполнения сельскохозяйственных работ. Более 1,4 млрд. человек до сих пор не имеют доступа к электроэнергии.

Ранее Международное энергетическое агентство (МЭА) в энергобалансах не учитывало традиционную биомассу, однако, уже много лет она учитывается. На ее долю в мире в 2008 г. пришлось 6% от всего энергопотребления, а в бедных странах, где структура энергобаланса почти такая же, какой она была у богатых стран 100-200 лет назад, эта доля все еще превышает 50%.

Что касается мускульной силы скота, то ее учесть можно, но это сделать непросто. По оценкам Л.А. Мелентьева, в России в 1908 г. на ее долю пришлось 63% всего баланса механической энергии, а еще 6% пришлось на энергию воды и ветра⁷. И.А. Башмаков располагал данными по США для воспроизведения предложенной Л.А. Мелентьевым методики расчетов. Этими данными были дополнены данные П. Путнама по объемам потребления энергии ведущими странами мира в XIX – начале XX века⁸. В итоге было

⁵ I. Bashmakov. Three Laws of Energy Transitions. Energy Policy. July 2007.

⁶ Этот закон И.А. Башмаков сформулировал в 1992 г. (см. Энергетика мира: уроки будущего. П/р. И.А. Башмакова. М. МТЭА-ИНЭИ РАН. 1992, а также I. Bashmakov. What Are the Current Characteristics of the Global Energy Systems? In Limiting Greenhouse Effect: Options for Controlling Atmospheric CO₂ Accumulation. Edited by G.I. Pearman. 1992. John Wiley&Sons Ltd. Pp. 59-82).

⁷ И.А. Башмаков использовал метод, предложенный Л.А. Мелентьевым в книге «Очерки истории отечественной энергетики». М. «Наука». 1987.

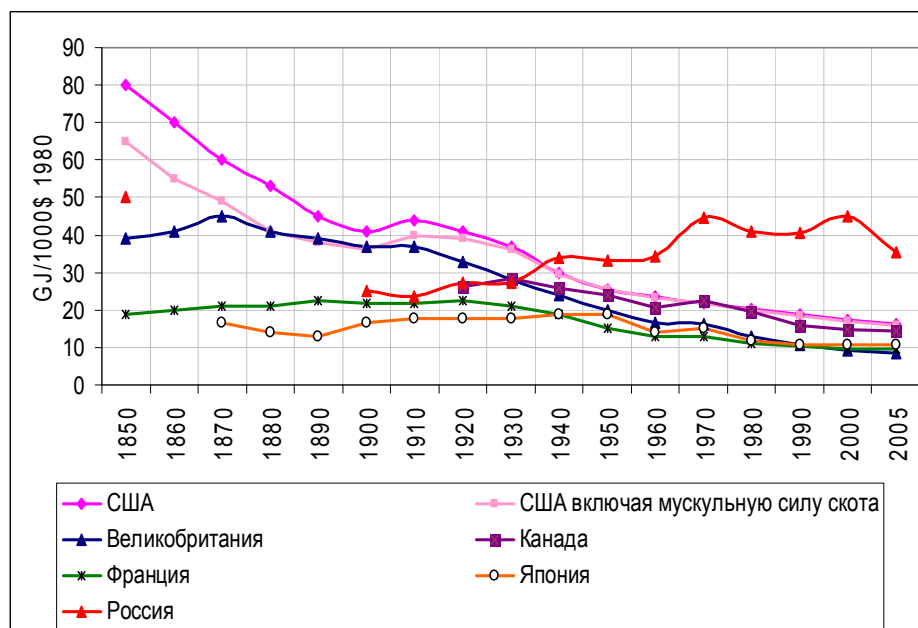
⁸ P. Putnam. Energy in the future. Toronto, New York, London. 1953.

оценено потребление энергии для ряда стран с учетом биомассы, а для США и с учетом мускульной силы скота.⁹

Для США очевидно проявление закона снижения энергоемкости или повышения производительности энергии. Для США и Великобритании, а позднее и для Канады, этот закон проявляется даже без учета мускульной силы скота. Для Франции добавление в энергобаланс мускульной силы скота и энергии воды и ветра привело бы к существенно более выразительному проявлению этого закона. В Японии середины XIX века мускульная сила скота практически не применялась, использовалась преимущественно мускульная сила людей, в т.ч. для перемещения грузов, довольно значительная группа людей – носильщики – только этим и зарабатывала на жизнь. Так что в Японии необходимо учитывать мускульную силу людей, а также воды и ветра. С учетом этих компонентов энергетического баланса, по-видимому, и в Японии можно было бы выявить тенденцию снижения энергоемкости.

В последние полтора века производительность энергии повышалась в среднем на 1% в год (рис. 3.1). Однако снижение энергоемкости происходит неравномерно: в одни периоды оно ускоряется, в другие замедляется. То есть долгосрочный тренд прерывается периодами стабилизации или даже роста (например, в «нулевых» и 60-х годах прошлого века).

Рисунок 3.1 – Динамика энергоемкости ВВП ведущих стран мира



Источник: I. Bashmakov. Three Laws of Energy Transitions. Energy Policy. July 2007.

Более высоким темпам экономического роста, как правило, соответствуют более низкие темпы снижения энергоемкости. Экономика развивается наиболее динамично при стабилизации структурных и технологических параметров роста (теорема о магистрали). Ускорение снижения энергоемкости происходит за счет повышения вклада структурных сдвигов в пользу менее энергоемких видов деятельности. Однако если имеет место динамичный восстановительный рост, который сопровождается повышением загрузки производственных мощностей (как в России в 2000-2008 годах), или рост обеспечивается притоком инвестиций и динамичным развитием новых неэнергоемких производств (как в

⁹ I. Bashmakov. What Are the Current Characteristics of the Global Energy Systems? In Limiting Greenhouse Effect: Options for Controlling Atmospheric CO₂ Accumulation. Edited by G.I. Pearman. 1992. John Wiley&Sons Ltd. Pp. 59-82.



Китае в 1980-2000 годах), ускоренное снижение энергоемкости может иметь место и при высоких темпах экономического роста. В динамике энергоемкости ВВП отчетливо прослеживаются длинные волны Кондратьева с периодом колебаний около 50-60 лет¹⁰.

Что касается России, то вплоть до первой мировой войны энергоемкость ВВП также снижалась, и ее динамика согласовалась с траекториями ведущих стран мира. Более того, несмотря на менее благоприятный климат, в царской России второй половины XIX века эффективность использования энергии была в 3,5 раза выше, чем в Германии; в 3 раза выше, чем во Франции и Японии; в 4,4 раза выше, чем в Великобритании и США; и в 3,5 раза выше среднемировой.¹¹ До начала XX века русская печь в деревянном доме оставалась самой эффективной системой отопления в мире. По эффективности она превышала западноевропейский камин в 3-4 раза, а паровоз – в два раза. Картина заметно изменилась после революции. В ходе индустриализации в СССР энергоэффективность снижалась и в 1900-1950 гг. сократилась в полтора раза. Это происходило на фоне ее роста в других странах. В итоге, к 1950 г. энергоемкость в СССР оказалась существенно выше, чем в США, Великобритании, Франции и Японии. Некоторое время ее рост в СССР продолжался. Затем она стала снижаться, но очень медленно: в 1970-1990 гг. в среднем менее чем на 0,5% в год, тогда как на Западе в эти же годы наблюдалось намного более динамичное снижение этого показателя.

Нынешний разрыв в уровнях энергоэффективности России и развитых стран сформировался именно за счет послевоенного отставания в темпах повышения энергоэффективности. К 1990 г. по энергорасточительности СССР вышел на одно из ведущих мест в мире.

Анализ факторов, определявших трехкратный разрыв в уровнях энергоемкости промышленности между СССР и США в 1985-1990 гг., показал, что на долю более «тяжелой» структуры промышленности, определявшейся ее высокой материалоемкостью и милитаризацией, пришлось 45% разрыва, на долю фактора менее совершенной технологической структуры – еще 35%, а на долю всех остальных факторов (низкий уровень эксплуатации оборудования, неоптимальная его загрузка, климат и др.) – еще 20%.¹² Если в царской России все здания, оборудованные водопроводом, имели квартирные приборы учета воды, то в построенных в СССР зданиях приборов учета тепла и воды не было. Приборы учета газа были в квартирах еще в 60-х годах, а затем их демонтировали. До 1990 г. проектный расход первичной энергии на отопление новых жилых зданий составлял 350-600 кВт-ч/м²/год и в несколько раз превышал зарубежные аналоги (260 кВт-ч/м²/год в Германии и 135 кВт-ч/м²/год в Финляндии и Швеции).¹³ Высокая энергоемкость российского ВВП – это не «цена холода», а наследство плановой экономики, от которого пока так и не удалось избавиться.

Россия продемонстрировала необычную динамику энергоемкости не только во второй половине XX века, но и в «нулевых» годах. При очень высоких темпах экономического роста динамично снижалась энергоемкость ВВП. В 1998-2008 гг. Россия вырвалась в мировые лидеры по темпам снижения энергоемкости ВВП: она снижалась на 5% в год, что существенно выше, чем во многих странах мира. К 2020 г. энергоемкость ВВП должна быть снижена еще на 40%. В этой связи возникают вопросы: за счет каких факторов так быстро снижалась энергоемкость ВВП России в недавнем прошлом и за счет каких факторов можно обеспечить ее дальнейшее динамичное снижение?

¹⁰ Подробнее о механизме этих длинных колебаний см. Энергетика мира: уроки будущего. П/р. И.А. Башмакова. М. МТЭА-ИНЭИ РАН. 1992.

¹¹ P.C. Putnam. Energy in the Future World. Princeton, Toronto. London. New York. 1953.

¹² Сопоставление основных показателей развития энергетики и энергетической эффективности производства в СССР, США и Западной Европе в 1971-2000 гг. Т.2. П/р. И.А. Башмакова и А.А. Бесчинского. М. ИНЭИ. 1990.

¹³ Ю.А. Матросов. Энергосбережение в зданиях. Проблемы и пути решения. НИИСФ РААСН. М., 2008.

4. Агрегированные индексы энергоэффективности

4.1. Математическая форма индексов энергоэффективности

В национальных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии разных стран используются различные подходы к определению индекса энергоэффективности и разные методы декомпозиции вклада отдельных факторов в динамику энергоемкости ВВП (факторизация). Все эти подходы базируются на экономической теории индексов, которая начала развиваться еще в XVIII веке для индексов цен (с индексов Дюто и Карли) и продолжает развиваться по сей день уже для индексов энергоэффективности (в работах Л. Шиппера, Б. Анга, Ф. Лью, К. Чоя, Г. Бойда, М. Рупа, и др.).

Потребление энергии может быть представлено в виде суммы потребления энергии во всех секторах экономики:

$$E = \sum_i E_i = \sum_i A_i * I_i = A * \sum_i S_i * I_i \quad (1)$$

где E и E_i – потребление энергии в целом по экономике и в секторе i ;

A и A_i – индикаторы экономической активности для экономики в целом и для сектора i ;

S_i – доля сектора i в индикаторе экономической активности для экономики в целом (в случае если они определяются в одних единицах), или отношение параметра активности в секторе i к индикатору экономической активности для экономики в целом.

Существуют два подхода формирования выражения (1). Подход *прямого агрегирования* используется, когда индикаторы экономической активности имеют одинаковую экономическую природу, выражены в одних единицах, и их сумма равна суммарному индикатору экономической активности (параметры добавленной стоимости в секторах экономики, которые в сумме дают ВВП, или стоимости отгруженной продукции в отраслях промышленности, которые в сумме дают отгруженную продукцию в промышленности, или тонно-км на разных видах грузового транспорта). Подход *удельного расхода энергии* используется, когда виды экономической активности в разных секторах представлены преимущественно в физических единицах (m^2 , тонны, т-км, кВт-ч и др.), и их нельзя складывать.

Декомпозиция приростов в выражении (1) может быть выражена в *аддитивной* (2), или в *мультипликативной* форме (3):

$$\Delta E = E^t - E^o = \Delta F_A^t + \Delta F_S^t + \Delta F_I^t + R \quad (2)$$

$$D_{TOT}^t = E^t / E^o = D_A^t * D_S^t * D_I^t * R \quad (3)$$

где ΔF_x^t – оценка изменения потребления энергии за счет фактора x в период от 0 до t ;

D_{TOT}^t – отношение потребления энергии в году t к потреблению энергии в году 0;

D_x^t – отношение потребления энергии в году t к потреблению энергии в году 0, которое произошло за счет изменения фактора x ;

R – необъясненный остаток.

Линейное разложение приростов в выражении (2) не может быть определено однозначно. Например, вклад фактора изменения интегрального индикатора экономической

активности (ΔF_A^t) может быть определен несколькими способами, каждый из которых даст различные результаты:

$$\begin{aligned} & \sum_i A^t * S_i^t * I_i^t - \sum_i A^0 * S_i^t * I_i^t; \quad \sum_i A^t * S_i^0 * I_i^t - \sum_i A^0 * S_i^0 * I_i^t; \quad \sum_i A^t * S_i^t * I_i^0 - \sum_i A^t * S_i^t * I_i^0; \\ & \sum_i A^t * S_i^0 * I_i^0 - \sum_i A^0 * S_i^0 * I_i^0 \end{aligned} \quad (4)$$

Отчасти эту проблему можно решить за счет договоренностей и логических допущений о «прочих равных условиях». Тогда

$\Delta F_A^t = (A^t - A^0) * \sum_i S_i^0 I_i^0$ – вклад роста экономической активности при условии, что структура видов деятельности и удельные расходы остались неизменными на уровне базового года;

$\Delta F_S = A^t * (\sum_i S_i^t * I_i^0 - \sum_i S_i^0 * I_i^0)$ – вклад изменения структуры при условии, что объем экономической деятельности равен уровню года t, а удельные расходы остались неизменными на уровне базового года;

$\Delta F_I = A^t * (\sum_i S_i^0 * I_i^t - \sum_i S_i^0 * I_i^0)$ – вклад изменения удельных расходов энергии при условии, что объем экономической деятельности равен уровню года t, а структура видов деятельности осталась неизменной на уровне базового года.

Комбинация этих трех слагаемых позволяет получить в выражении (2) нулевой необъясненный остаток. Другие сочетания множителей в слагаемых дали бы ненулевой остаток. В силу своей логической простоты именно метод декомпозиции, базирующийся на индексе Ласпейерса, доминировал в анализе в конце 70-х и в 80-х годах XX века.

Подход *удельного расхода энергии* в мультипликативной форме реализуется, в частности, через *среднегарифмический индекс Дивизиа*¹⁴ (LMDI), который все больше используется по причине его гибкости и большей теоретической адекватности. Этот индекс стал популярным средством анализа в конце 80-х годов XX века. Он выражает изменение темпа роста результирующей переменной через средневзвешенные темпы изменения определяющих ее динамику факторов. Дифференцирование выражения (3) по времени дает:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \sum_i S_i I_i \frac{\partial A}{\partial t} + \sum_i A I_i \frac{\partial S_i}{\partial t} + \sum_i A S_i \frac{\partial I_i}{\partial t} \quad (5)$$

Деление обеих частей уравнения (5) на E дает выражение для темпов роста:

$$\frac{\partial E}{\partial t * E} = \frac{\partial \ln E}{\partial t} = \frac{1}{E} \sum_i A S_i I_i \frac{\partial \ln A}{\partial t} + \frac{1}{E} \sum_i A S_i I_i \frac{\partial \ln S_i}{\partial t} + \frac{1}{E} \sum_i A S_i I_i \frac{\partial \ln I_i}{\partial t} \quad (6)$$

Если принять, что $w_i = A S_i I_i$ - доля сектора i в суммарном потреблении энергии, то выражение (6) можно переписать как средневзвешенную темпов изменения отдельных факторов:

¹⁴ Базовый подход к формированию этого индекса разработан в F. Divisia. L'indice monetary et la theorie de la monnaie. Revue d'Economic Politique. 1925, (2); pp. 109-135. Среднегарифмические веса в этот индекс были введены в работах Ю. Варгиа (Y.O. Vartia. Ideal log-change index numbers. Scandinavian statistics. 1976. No. 3, pp. 121-126).

$$\frac{\partial \ln E}{\partial t} = \sum_i w_i^* \left[\frac{\partial \ln A}{\partial t} + \frac{\partial \ln S_i}{\partial t} + \frac{\partial \ln I_i}{\partial t} \right] \quad (7)$$

Определенный интеграл выражения (7) по отрезку времени от 0 до t равен:

$$\ln\left(\frac{E}{E_0}\right) = \sum_i \int_0^t w_i^* \left[\frac{\partial \ln A}{\partial t} + \frac{\partial \ln S_i}{\partial t} + \frac{\partial \ln I_i}{\partial t} \right] dt = \sum_i w_i^* \left(\ln \frac{A^t}{A^0} + \ln \frac{S_i^t}{S_i^0} + \ln \frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \quad (8)$$

где w_i^* – среднее значение доли потребления энергии в секторе i в суммарном потреблении энергии на интервале от 0 до t, или в соответствии с выражением (3):

$$\left(\frac{E}{E_0}\right) = \exp\left(\sum_i w_i^* \ln \frac{A^t}{A^0}\right) * \exp\left(\sum_i w_i^* \ln \frac{S_i^t}{S_i^0}\right) * \exp\left(\sum_i w_i^* \ln \frac{I_i^t}{I_i^0}\right) \quad (9)$$

Третья компонента в выражении (10) показывает вклад изменения удельных расходов энергии в изменение потребления энергии. Этот эффект также можно отразить с помощью *индекса энергоэффективности*. Нюансы расчета выражения (9) зависят от применения параметрического метода для аппроксимации выражения (8) или для определения w_i^* . При использовании среднеарифметического значения между w_i^0 и w_i^t получается *среднеарифметический индекс Дивизиа* (AMDI). При его использовании обычно получается ненулевой остаток. Б. Анг и К. Чой разработали *среднелогарифмический индекс Дивизиа*¹⁵. В этом методе предполагается, что в промежутке времени от 0 до t доля изменяется с постоянным темпом и средняя доля определяется как логарифмическая средняя:

$$w_i^* = L(w) = \frac{w_i^t - w_i^0}{\ln w_i^t - \ln w_i^0} \quad (10)$$

Представленный выше среднелогарифмический индекс Дивизиа (LMDI-II) имеет несколько преимуществ:

- ⇒ он дает симметричный результат¹⁶, который не зависит от последовательности анализа вклада разных факторов, дает одинаковые результаты при использовании различных лет в качестве базового года и не дает необъясненного остатка;
- ⇒ можно применить простую формулу связи между мультипликативным и аддитивным выражением¹⁷:

$$\Delta F_x^t / \ln D_x^t = \frac{\ln D_x^t}{\ln D_{TOT}^t} * \Delta F_{TOT}^t \quad (11)$$

- ⇒ при определенных условиях LMDI-II устойчив к агрегированию.

Недостатком этого индекса является невозможность его простой логической интерпретации, как в случае индекса Ласпейерса, за счет фиксации отдельных параметров при изменении других. Важно также отметить, что среди факторов, определяющих изменение суммарного потребления энергии в выражениях (2) и (3), есть компонента «статистической невязки». При сведении энергетического баланса «сверху» (как суммы

¹⁵ Ang, B.W. and K.H. Choi. 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. The Energy Journal. 1997. 18(3), pp. 59-73.

¹⁶ Например, если какая-то величина в году 1 была равна 10, а в году 2 – 20, то верно утверждение, что значение года 2 на 100% превышает значение года 1, но значение года 1 на 50% меньше года 2. При использовании логарифмов получим симметричные результаты: $\ln(20/10)=0,693$ и $\ln(10/20)=-0,693$

¹⁷
$$\Delta F_x^t / \ln D_x^t = \frac{\sum_i L(E_i^t; E_i^0) * \ln \frac{x_i^t}{x_i^0}}{\ln \left(\exp \left(\sum_i \frac{L(E_i^t; E_i^0)}{L(E^t; E^0)} * \ln \left(\frac{x_i^t}{x_i^0} \right) \right) \right)} = L(E^t; E^0) = \frac{E^t - E^0}{\ln(E^t / E^0)} = \frac{\Delta F_{TOT}^t}{\ln D_{TOT}^t}$$

производства первичных энергоресурсов, сальдо внешней торговли ими, международной bunkеровки и изменения запасов) и «снизу» (как суммы потребления энергии в отдельных секторах) полученные итоги практически никогда не совпадают. Чтобы при разложении на факторы не было необъясненного остатка, показатель «статистической невязки» мог бы отражаться как отдельный сектор потребления. Но его значения за отдельные годы могут быть отрицательными и в силу этого быть невычислимыми при оценке логарифмической средней. Поэтому практически даже в этом методе остается ненулевой необъясненный остаток, равный «статистической невязке». Во многих исследованиях по декомпозиции проводится анализ данных по конечному потреблению энергии. В этом случае проблемы «статистической невязки» нет. Однако такой анализ существенно ограничивает возможность определения основных движущих сил энергопотребления за счет исключения основной части энергетического сектора.

Теоретически, сумма всех w_i^* , оцененных в выражении (10), может быть не равна единице. Поэтому проводится нормализация таким образом, чтобы добиться равенства суммы долей единице. В итоге получается индекс энергоэффективности, который используется Офисом энергоэффективности и возобновляемых источников энергии Министерства энергетики США¹⁸:

$$EPI_i^{0,t} = \exp \left[\sum_i \frac{L(w_i^0; w_i^t)}{\sum_i L(w_i^0; w_i^t)} * \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \right] \quad (12)$$

Кроме того, Министерство энергетики США использует также форму индекса энергоэффективности, где средняя доля определяется как среднее арифметическое долей в начальный и конечный периоды времени¹⁹:

$$EPI_i^{0,t} = \exp \left[\sum_i 0,5 * (w_i^t - w_i^0) * \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \right] \quad (13)$$

Администрация по энергоэффективности и сбережению Новой Зеландии также использует индекс, основанный на методе LMDI-II:

$$EPI_i^{0,t} = E^t / \left[E^0 + \sum_i \frac{L(w_i^0; w_i^t)}{\sum_i L(w_i^0; w_i^t)} * L(E^0; E^t) * \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \right] \quad (14)$$

Вторая слагаемая знаменателя дает оценку экономии энергии.

Кроме того, в ряде стран используются индексы энергоэффективности, расчет которых основан на применении метода LMDI-I. Эта модификация метода LMDI, разработанная Б. Ангом и Ф. Лью²⁰, предполагает, что средняя доля в потреблении энергии выражается более простой формулой:

$$w_i^* = \frac{L(E_i^0; E_i^t)}{L(E^0; E^t)}. \quad (15)$$

Б. Анг и Ф. Лью доказали, что метод LMDI-I устойчив к агрегированию, не зависит от последовательности анализа вклада разных факторов, дает одинаковые результаты при

¹⁸ EERE. 2009. Indicators of energy intensity in the United States. Office of energy efficiency and renewable energy. US Department of Energy. <<http://www1.eere.energy.gov/ba/pba/intensityindicators/>> . Обзор разных методов расчета индекса энергоэффективности дан в Ang, B.W. and K.H. Choi. 2010. Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. Energy Economics. 32(2010), pp. 1209-1219.

¹⁹ Wade, S.H. 2002. Measuring change in energy efficiency for the Annual Energy Outlook. 2002. Energy information administration. US Department of Energy. Washington, D.C.

²⁰ Ang, B.W. and F.L. Lue. 2001. A new decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. Energy. 2001. 26, pp. 537-548.

использовании различных лет в качестве базового года и не дает необъясненного остатка, позволяет легко агрегировать результаты и рассчитывать цепные индексы. Этот метод используется в качестве базового при оценке индекса энергоэффективности в ряде стран. К его преимуществам можно отнести также: возможность ясной интерпретации, приспособленность для оценки вклада различных факторов на основе имеющихся разнородных данных статистики для разных секторов энергопотребления, сравнительную простоту в использовании и возможность межстранового сопоставления результатов²¹.

Признав эти преимущества, Офис энергетической эффективности Канады с 2005 г. на основе этого метода оценивает экономию энергии и использует индекс энергоэффективности, который рассчитывается следующим способом:

$$EPI^{0,t} = 1 - \frac{\sum_i L(E_i^0; E_i^t) * \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right)}{E^0} \quad (16)$$

Числитель дроби дает оценку экономии энергии.

В Австралии также используется метод LMDI-I. Индекс энергоэффективности оценивается по формуле:

$$EPI_i^{0,t} = \exp\left[\sum_i \frac{L(E_i^0; E_i^t)}{L(E^0; E^t)} * \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right) \right], \quad (17)$$

а экономия энергии – по формуле: $ES^{0,T} = \sum_i L(E_i^0; E_i^T) * \ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^0}\right)$.

МЭА использует сравнительно простой индекс, основанный на индексе Ласпейерса:

$$EPI_i^{0,T} = \frac{\sum_i A_i^0 * S_i^0 I_i^T}{E^0}, \quad (18)$$

Индекс ODEX, используемый Европейским Союзом (в рамках системы ODYSSEE), определяется по следующей формуле:

$$EPI = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^T}{\sum_{i=1}^n A_i^T * I_i^0} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w^T * \frac{I_i^T}{I_i^0}}, \quad (19)$$

а экономия энергии оценивается как $ES^{0,T} = E^T - \sum_i A_i^T * I_i^0$.

В Сингапуре индекс энергоэффективности оценивается следующим образом. Из выражения (11) следует, что индекс энергоэффективности для сектора i равен:

$$EPI_i^{0,T} = \exp(\Delta E_{\text{int}}^{0,T} * \left(\frac{\ln E^T}{\ln E^0}\right) / (E_i^T - E_i^0)) = \left[E_i^T / E_i^0\right]^{\Delta E_{\text{int}}^{0,T} / (E_i^T - E_i^0)} \quad (20)$$

$$\text{где } \Delta E_{\text{int}}^{0,T} = \sum_i L(E_i^T; E_i^0) * \ln(I_i^T / I_i^0) \quad (21)$$

²¹ Bataille C. and J. Nyboer. Improvements of the OEE/DPAD decomposition methodology. M.K. Jaccard and Associates for Natural Resource Canada's office of energy efficiency (OEE). March 25, 2005.



Тогда индекс энергоэффективности для экономики в целом будет равен в зависимости от использования расчетов по всем секторам сразу или расчета на двух уровнях агрегации по m подсекторам:

$$EPI^{0,T} = \left[E^T / E^0 \right]^{\Delta E_{im}^{0,T} / (E_i^T - E_i^0)} = \left[E^T / E^0 \right]^{\sum_i^m \Delta E_{i-im}^{0,T} / (E^T - E^0)} \quad (22)$$

Цепной индекс определяется заданием значения, равного 1, для базового года и затем простым перемножением годовых индексов.

Б. Анг, А. Му и Р. Жу дали подробный обзор существующих методов оценки динамики энергоэффективности и учета экономии энергии в разных странах и сравнили результаты расчетов на условном примере²². По их оценкам, используемые в США, Канаде, Австралии, Новой Зеландии и Сингапуре методы дают одинаковые (или очень близкие) оценки экономии энергии. Они выше оценок, получаемых по формулам МЭА, но существенно ниже оценок ЕС по индексу ODEX. Что касается индекса энергоэффективности, то используемые в США, Австралии и Сингапуре системы дают одинаковые результаты. Формулы, используемые в Канаде и ЕС, дают более динамичное снижение индекса, а в Новой Зеландии и МЭА – более медленное.

Результат факторного анализа зависит не только от метода разложения, но и от уровня детализации анализа и от интерпретации «структурного фактора» и «технологического фактора». Чем большее количество секторов используется, тем, как правило, выше оценка вклада структурного фактора. Если при расчете индекса в Новой Зеландии используется только 25 секторов, то при оценке индекса ODEX – 28, а в оценках Офиса энергетической эффективности Канады используется 100 секторов и подсекторов.

Факторный анализ может применяться при анализе не только вклада структурного фактора и фактора снижения удельных расходов энергии, но и большего набора факторов. Так, при оценке динамики выбросов парниковых газов в сферу анализа попадает еще один фактор – коэффициенты эмиссии для разных видов топлив. Анализируя опыт 43 исследований по применению методов структурного декомпозиционного анализа, Б. Су и Б. Анг пришли к выводу, что в последние годы все больше исследований посвящаются выявлению роли факторов, определяющих выбросы парниковых газов, растет доля исследований применяющих метод декомпозиции LMDI, что позволяет анализировать большее число факторов. В отдельных исследованиях число факторов превышает 8²³.

В зависимости от целей анализ часто не заканчивается на оценке вклада изменения показателей удельного расхода энергии в динамику интегрального показателя энергоэффективности, поскольку это еще не является адекватным отражением вклада технического фактора. При анализе факторов изменения энергоемкости на грузовом транспорте Великобритании авторы использовали разложение на 9 факторов, каждый из которых имеет свою физическую природу²⁴. Оказалось, что организационные меры (снижение порожнего пробега грузовиков) в существенно большей степени, чем снижение паспортного удельного расхода топлива грузовиками, повлияло на повышение энергоэффективности грузовых перевозок.

²² Ang, B.W., A.R. Mu and P. Zhou. 2010. Accounting framework for tracking energy efficiency trends. *Energy Economics*. 2010. 32, pp. 1209-1219.

²³ B. Su and B.W. Ang. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments. *Energy Economics*. (Article in press, 2011).

²⁴ S. Sorrella, M. Lehtonen, L. Stapleton, J. Pujola, T. Champion. Energy use in UK road freight: a decomposition analysis. July 2008. Sussex Energy Group, SPRU, University of Sussex. Toby Champion Associates.



Уравнение (1) для отопления жилищного сектора можно записать как:

$$E_h = \sum_i E_{hi} = SH^t * \sum_i Sh_i^t * Shh_i^t * I_{hi}^t * HDD^t, \quad (23)$$

где SH^t – площадь жилых зданий;

Sh_i^t – доля разных типов жилых зданий (многоквартирные, односемейные, мобильные и т.п.);

Shh_i^t – доля отапливаемой жилой площади в разных типах жилых зданий – фактор благоустройства;

I_{hi}^t – удельный расход энергии на отопление 1 м² в расчете на 1 градусосутки отопительного периода в разных типах жилых зданий при нормальных погодных условиях или при погодных условиях базового года – фактор роста энергоэффективности;

HDD^t – градусосутки отопительного периода в году t – фактор погодных условий.

Таким образом, появляется возможность «очистить» оценку влияния фактора изменения удельных расходов от воздействия роста благоустройства²⁵ и от влияния погодного фактора. Изменения соотношения различных типов зданий, например, рост доли населения, проживающего в малоэтажных домах, можно трактовать как «структурный фактор», или «фактор благоустройства». Стабильный удельный расход холодильниками на единицу жилой площади или на одно домохозяйство может скрывать рост объема холодильника в два раза при повышении его эффективности в расчете на приведенный объем также в два раза. Поэтому оценка вклада «технологического фактора» в большой степени зависит от определений, от степени детализации анализа и от наличия данных, позволяющих проводить такую детализацию.

В разных национальных системах учета повышения энергоэффективности анализируется влияние разных факторов на динамику индексов энергоэффективности (см. раздел 5). Факторы роста экономической активности, изменения структуры экономических видов деятельности и снижения удельных расходов энергии и погодный фактор учитываются во всех национальных системах. В отдельных системах (Канада) также учитывается влияние уровня услуг (рост благоустройства и обеспеченности энергопотребляющим оборудованием в сфере услуг и жилой сфере) и фактор изменения структуры потребляемых энергоресурсов. В Новой Зеландии учитывается фактор качества энергии (изменение структуры потребляемых видов энергии), а в США – прочие факторы.

К сожалению, ни в одной из них в промышленности не учитывается фактор степени загрузки производственных мощностей, который в большой степени связан с деловыми циклами, но оказывает очень заметное воздействие на динамику энергоемкости. Для производства промышленной продукции уравнение (1) можно записать как:

$$E = PR^t * \sum_i Stec_i^t * In_i^t * CAP_i^t / PR_i^t, \quad (24)$$

где PR^t – производство промышленного продукта в году t ;

$Stec_i^t$ – доля продукта, производимого по технологии i в году t ;

In_i^t – удельный расход энергии на производство продукта по технологии i в году t при условии нормальной (проектной) загрузки технологии;

Cap_i^t и PR_i^t – соответственно проектная загрузка технологии и реальное производство продукции по технологии i в году t .

²⁵ Офис энергетической эффективности Канады называет этот фактор «фактором услуг», но точнее было бы называть его фактором благоустройства, оснащенности, обеспеченности или комфорта.



В этом случае в сферу анализа попадает технологическая структура производства и степень загрузки производственных мощностей. Статистика дает данные по загрузке производственных мощностей, на этой основе можно оценить вклад этого фактора по аналогии с фактором «услуг» для жилищного сектора в системе, используемой Офисом энергетической эффективности Канады.

Рассмотренная выше схема использования факторного анализа имеет ограничения. При вводе в анализ такого важного фактора, как, например, цена, она не работает. При записи тождества, которое определяет сочетание факторов, отношение какого-либо физического параметра к цене не имеет физического смысла. Тем не менее, цена существенно влияет на поведение потребителей, мотивируя их изменять характеристики использования энергопотребляющего оборудования, по-разному его загружать и использовать. Часть этих эффектов обратима при снижении цен или при росте дохода и снижении доли расходов на энергию в доходе (rebound effect).

Применение математических моделей, устанавливающих зависимости расходов энергии или удельных расходов энергии от динамики факторов разной физической и экономической природы позволяет расширить спектр факторов, применяемых в декомпозиционном анализе и более адекватно отражать вклад именно технологического фактора.

4.2. Использование математических моделей для оценки вклада отдельных факторов в изменение индексов энергоэффективности

В отличие от агрегированных индексов энергоэффективности, модели позволяют оценить интегральные эффекты влияния существенно большего числа факторов. В качестве модели может использоваться отдельная функция спроса на энергию или модель, описывающая динамику удельного расхода энергии для определенного вида деятельности. Например, изменение энергоёмкости промышленной продукции вида i можно представить в виде функции:

$$I_i^t = In_{it} * CAP_{it}^a * (EP_{it} / P_{it})^b * HDD_t^c \quad (25)$$

где In_{it} – удельный расход энергии на производство продукта по технологии i в году t при условии нормальной (проектной) загрузки технологии;

EP_{it} – средняя цена на энергоресурсы, используемые при производстве продукта i в году t ;

P_{it} – цена промышленной продукции i в году t .

Тогда фактор изменения удельного расхода энергии можно разложить на составляющие:

$$\frac{I_{it}}{I_{it-1}} - 1 = AI_i + a * \left(\frac{CAP_{it}}{CAP_{it-1}} - 1 \right) + b * \left[\left(\frac{EP_{it}}{P_{it}} \right) / \left(\frac{EP_{it-1}}{P_{it-1}} \right) - 1 \right] + c * \left(\frac{HDD_t}{HDD_{t-1}} - 1 \right) + \varepsilon, \quad (26)$$

где AI_i – оценка среднего темпа снижения удельного расхода энергии на производство продукта i по технологии i в «нормальных» при прочих равных условиях.

В литературе параметр AI_i называют автономным техническим прогрессом, что указывает на его независимость (автономию) от динамики цен. Статистическая оценка параметров уравнения (26) на заданной временной выборке дает ненулевой необъясненный остаток, величина которого зависит от качества такой оценки. Это один из способов выявления факторов, определивших динамику удельного расхода энергии и вычленения среди них фактора совершенствования технологий. В отличие от рассмотренных выше методов,



данный метод дает возможность оценить воздействие изменения цен на динамику энергоёмкости.

Таблица 4.1. Сочетание факторов снижения энергоёмкости и экономии энергии в основных сценариях развития экономики

| | Единицы измерения | 2010 г. | 2015 г. | 2020 г. |
|--|-------------------|---------|---------|---------|
| Сценарий инерционного развития | | | | |
| Снижение энергоёмкости ВВП, в том числе за счёт: | проценты | 3,9 | 24,8 | 40 |
| структурных сдвигов ¹ | проценты | 0,3 | 7,9 | 16,3 |
| продуктовых сдвигов ² | проценты | -0,5 | -0,5 | -1,9 |
| роста цен на энергию ³ | проценты | 2,7 | 5,7 | 5,5 |
| автономного технического прогресса ⁴ | проценты | 1,5 | 4,4 | 6,7 |
| реализации Программы | проценты | – | 7,4 | 13,5 |
| Экономия, в том числе за счёт: | млн. т у.т. | 72,7 | 275,5 | 531,2 |
| структурных сдвигов | млн. т у.т. | 37,9 | 84,5 | 220,2 |
| продуктовых сдвигов | млн. т у.т. | -5,2 | -5,6 | -25,3 |
| роста цен на энергию | млн. т у.т. | 25,6 | 63,0 | 72,1 |
| автономного технического прогресса | млн. т у.т. | 14,4 | 48,6 | 88,5 |
| реализации Программы | млн. т у.т. | – | 84,9 | 175,6 |
| Сценарий инновационного развития | | | | |
| Снижение энергоёмкости ВВП, в том числе за счёт: | проценты | 3,8 | 25,7 | 40 |
| структурных сдвигов | проценты | -1 | 9,8 | 17,7 |
| продуктовых сдвигов | проценты | 0,8 | 2,6 | 4,1 |
| роста цен на энергию | проценты | 2,7 | 4,5 | 4,2 |
| автономного технического прогресса | проценты | 1,4 | 4,0 | 6,2 |
| реализации Программы | проценты | – | 4,9 | 7,8 |
| Экономия, в том числе за счёт: | млн. т у.т. | 72,5 | 330 | 700,6 |
| структурных сдвигов | млн. т у.т. | 25,6 | 166,5 | 361,5 |
| продуктовых сдвигов | млн. т у.т. | 7,8 | 32,5 | 69,2 |
| роста цен на энергию | млн. т у.т. | 25,9 | 55,4 | 71,8 |
| автономного технического прогресса | млн. т у.т. | 13,2 | 49,2 | 104,3 |
| реализации Программы | млн. т у.т. | – | 26,5 | 93,8 |

¹ Структурные сдвиги оценены по секторам, перечисленным в едином топливно-энергетическом балансе (приложение № 2).

² Продуктовые сдвиги оценены по перечню промышленных продуктов, перечисленных в едином топливно-энергетическом балансе (приложение № 2).

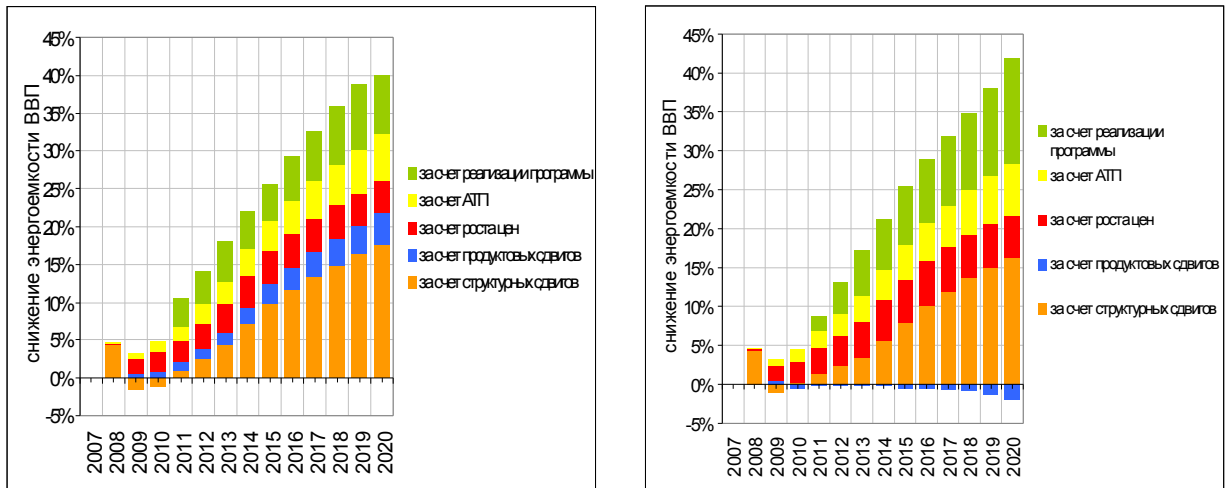
³ Вклад ценового фактора оценен по динамике цен на энергоносители, скорректированных на параметры инфляции, определенные в сценарных условиях функционирования экономики Российской Федерации с последующим их ростом в соответствии с Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

⁴ Вклад автономного технического прогресса оценен при допущении, что интенсивность ввода нового и обновления имеющегося оборудования будет соответствовать параметрам 2000-2008 гг.

Методы декомпозиции можно применять не только при анализе ретроспективной динамики, но и при анализе прогнозной динамики потребления энергии и оценки вклада различных факторов в эту динамику. В этом случае все параметры прогноза рассчитываются на комплексной модели, и поэтому для анализа можно использовать как аддитивные, так и мультипликативные методы декомпозиции результатов расчетов, или использовать сами модели, на которых проводились прогнозные расчеты. Первые методы

доступны всем, у кого есть результаты прогнозов и их допущения. Последней возможностью могут воспользоваться только те, у кого есть доступ к этим моделям и возможность проводить на них прогнозные эксперименты. Именно так на разработанной И.А. Башмаковым модели ENERGYBAL-RUS проводилась оценка влияния различных факторов на динамику энергоемкости ВВП, результаты которой используются в Госпрограмме РФ «Энергосбережение и повышение эффективности использования энергии на период до 2020 года» (табл. 4.1). Очевидно, что вклад технологических факторов снижения энергоемкости повышается за счет реализации мер программы. Завершение наиболее значимого этапа по переводу экономики на рыночные механизмы и соответствующая перестройка ее структуры в перспективе будет замедляться, что ослабит вклад структурного фактора (рис. 4.1). Но все равно он останется более заметным, чем в более развитых экономиках.

Рисунок 4.1 – Сочетание факторов снижения энергоёмкости и экономии энергии в основных сценариях развития экономики для инерционного сценария развития экономики (справа) и инновационного сценария развития экономики (слева)



Источник: Расчеты И. Башмакова

Логика расчета была следующей. Для заданных двух сценариев экономического развития были определены индикаторы экономической активности для всех секторов, динамика роста цен на энергоресурсы и прогноз инфляции для различных видов экономической деятельности. На основе моделей развития отдельных секторов экономики были определены параметры темпов снижения удельных расходов энергии при реализации полного набора мер и инструментов программы. На этой основе была определена динамика потребления первичной энергии. Затем было принято допущение о том, что параметры технического прогресса на перспективу будут такими же, как и до начала реализации программы. Сравнение этих двух вариантов динамики потребления первичной энергии и энергоемкости позволило оценить вклад мер программы. Для оценки влияния цен было принято допущение об их сохранении на уровне 2010 г. на весь период и получена еще одна оценка потребления энергии. Далее было принято допущение, что производство всех видов промышленной продукции будет расти так же, как и прогнозный индекс промышленного производства. Это позволило оценить вклад продуктовых сдвигов. Наконец, было принято допущение, что все индикаторы экономической активности (кроме производства электроэнергии и тепловой энергии) будут расти с темпом роста ВВП. На этой основе оценен вклад структурных сдвигов. Результаты таких расчетов зависят от последовательности оценки вклада отдельных факторов. Вместе с тем они позволяют оценить синергетические эффекты по всей цепочке снабжения энергоресурсами от производства до



конечного потребления и, что особенно важно, избежать повторного счета и завышения эффектов.

4.3. Оценка косвенных эффектов снижения удельного расхода энергии

Оценка экономии конечной энергии не дает полного представления о возможностях снижения потребления первичной энергии. Экономия единицы энергии у конечных потребителей дает дополнительную экономию по всей энергетической цепочке: снижаются потери в электрических, тепловых и газовых сетях, расходы на транспорт энергоресурсов, на их обогащение, переработку и добычу, расходы топлива на выработку электрической и тепловой энергии, расходы электроэнергии на производство этого топлива и т.д. Величина этой косвенной экономии может быть очень существенной²⁶.

В 1993 г. И.А. Башмаков предложил представление потенциала повышения энергоэффективности в форме таблицы энергетического баланса, а способ оценки косвенных эффектов – подобный тому, который используется для межотраслевого баланса.²⁷ Расчет основывается на следующем представлении зависимости между потреблением конечной и первичной энергии: $PE=AE*PE+FE$, или $PE=(E-AE)^{-1}*FE$, где PE – вектор потребления (производства) первичной энергии по видам энергоносителей²⁸, AE – квадратная матрица коэффициентов расхода первичного ресурса i на производство и доставку до потребителя энергоносителя j , FE – вектор конечного потребления энергии (включая чистый экспорт энергоносителей). Оценка матрицы $(E-AE)^{-1}$ для России за 2010 г. дана в таблице 4.2.²⁹

Таблица 4.2 Матрица полных коэффициентов расхода энергии в ТЭК на единицу энергии, доставленной конечному потребителю (2010, тун/тунт)

| | Уголь | Сырая нефть | Нефтепродукты | Природный газ | Прочие твердые топлива | Электроэнергия | Тепло |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|------------------------|----------------|-------------|
| Уголь | 1,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,24 |
| Сырая нефть | 0,00 | 1,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Нефтепродукты | 0,00 | 0,00 | 1,05 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,07 |
| Природный газ | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 1,03 | 0,00 | 2,22 | 0,89 |
| Прочие твердые топлива | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,01 | 0,03 |
| Электроэнергия | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 1,33 | 0,01 |
| Тепло | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 1,10 |
| Всего | 1,03 | 1,06 | 1,13 | 1,03 | 1,00 | 4,59 | 2,35 |
| Всего, включая трубопроводный и железнодорожный транспорт топлива | 1,04 | 1,07 | 1,21 | 1,10 | 1,00 | 4,76 | 2,41 |

Источник: Оценка ЦЭНЭФ

²⁶ Часть косвенных эффектов не реализуется, если есть рынок сбыта высвобожденных энергоносителей, и поэтому объемы добычи топлива или выработки электроэнергии могут не сокращаться.

²⁷ I. Bashmakov. Costs and benefits of CO₂ emission reduction in Russia. In “Costs, Impacts, and Benefits of CO₂ Mitigation”. Y. Kaya, N. Nakichenovich, W. Nordhouse, F. Toth Editors. IIASA. June 1993.

²⁸ Скорректированный на изменение запасов и на чистый экспорт энергии.

²⁹ Эти коэффициенты несколько изменились по сравнению с 2005 г. См. *Энергоэффективность в России: скрытый резерв*. Группа Всемирного банка и ЦЭНЭФ. М., 2008.



Каждый коэффициент a_{ij} показывает, сколько угля, нефтепродуктов, газа, электроэнергии и тепла необходимо для обеспечения потребителей, скажем, единицей угля. Любые изменения в технологиях приводят к изменению матрицы AE .

Если конечный потребитель экономит 1 тун нефтепродуктов, то суммарная потребность в энергии в ТЭК снизится на 0,13 тун, а при учете их транспорта – на 0,21 тун. Самые высокие косвенные эффекты у электроэнергии и тепла. Они существенно превышают традиционно используемые в расчетах косвенных эффектов коэффициенты: 2,5-3 для электроэнергии (при допущении об эффективности генерации 40% и о потерях при передаче 6-7%) и 1,25 – для тепловой энергии (при эффективности производства тепла 85% и 5% потерь в сетях³⁰). С учетом всех косвенных эффектов оказывается, что при экономии у конечного российского потребителя 1 тун электроэнергии по всей энергетической цепочке экономится не 2,5-3 тун, а 4,6 тун (4,8 тун с учетом транспорта). Кстати, наличие этих косвенных эффектов является основанием для субсидирования деятельности по повышению эффективности использования энергии со стороны государства и общества, которое получает этот косвенный эффект бесплатно. Его учет важен при оценке экономического потенциала.

Таким образом, технический потенциал экономии первичной энергии определялся как сумма экономии конечной энергии и снижения расходов первичной энергии в энергетическом секторе как за счет повышения эффективности технологий преобразования одних видов энергии в другие, так и за счет снижения потребности в преобразовании ресурсов:

$$TEEP = \Delta FE + (AE - AE_m) * (PE - \Delta FE) \quad (27),$$

где AE_m – матрица AE с новыми технологическими коэффициентами.

При оценке потенциала учитывается тот факт, что базовые значения вектора первичной энергии (за 2010 г.) должны корректироваться на объем сокращения потребления конечной энергии (ΔFE). Иными словами, чем больше, например, экономится электроэнергии конечными потребителями, тем меньше нужно производить электроэнергии, поэтому эффект от модернизации оборудования электростанций будет несколько меньшим, чем при сохранении выработки. Таким образом, рост экономии конечной энергии несколько снижает объем экономии в процессах выработки и передачи электрической и тепловой энергии в сравнении с базовыми уровнями (выражение 27).

Когда в результате мероприятий экономится конкретный энергоноситель, то в качестве мультипликатора полного эффекта экономии первичной энергии могут использоваться соответствующие значения последней строки таблицы 4.2. При экономии сразу нескольких энергоносителей мультипликаторы полного эффекта экономии первичной энергии по отношению к экономии конечной энергии для каждого сектора могут быть получены как:

$$m_i = dPE_i = (E - AE)^{-1} * dFE_i \quad (28),$$

где: dPE_i – снижение потребления первичной энергии при снижении потребления конечной энергии на единицу в секторе i ;

dFE_i – вектор долей отдельных энергоносителей, использованных в секторе i .

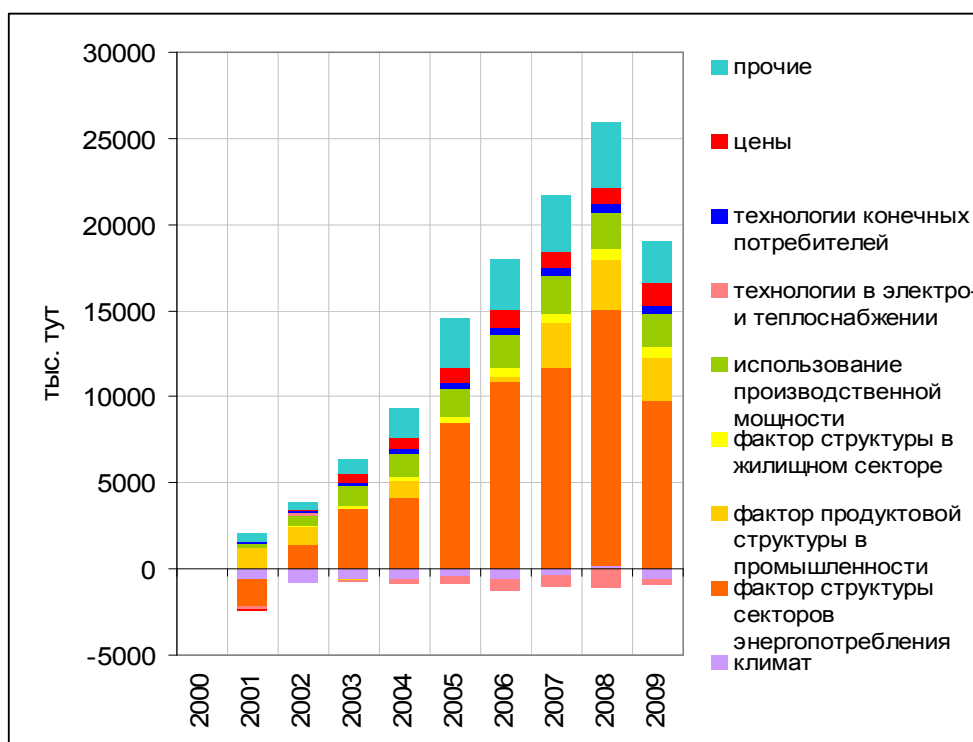
Изложенная схема может применяться при оценке системных эффектов от реализации отдельных мероприятий и позволяет перейти от оценок экономии конечной энергии к экономии первичной энергии. Фактически, эта схема позволяет учесть сдвиги в структуре энергетического сектора, которые порождаются экономией конечной энергии.

³⁰ Worrell, E., Neelis, M., Price, L., Galitsky, C., Zhou, N. World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors, 2007. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory. 2007.

4.4. Факторы, которые определяли динамику энергоемкости ВРП Москвы

В отличие от зарубежных стран, в России очень ограничено число исследований, посвященных декомпозиции факторов, определявших динамику энергопотребления или масштабы экономии энергии. Анализ вклада отдельных факторов в экономию энергии в г. Москве был оценен за счет сочетания использования аддитивного подхода (выражение 2), основанного на методе декомпозиции, базирующемся на индексе Ласпейерса, и подхода с использованием математических моделей, описанного в разделе 4.2. Для этих целей использовалась построенная И.А. Башмаковым математическая модель прогноза ЕТЭБ г. Москвы³¹. Для оценки вклада всех этих факторов на данных за 2000-2009 гг. были оценены параметры соответствующих функций спроса на энергию и на этой основе получена детальная оценка структуры факторов, определявших экономию энергии в г. Москве в 2001-2009 гг. (рис. 4.2).

Рисунок 4.2 – Оценка вклада основных факторов экономии энергии за счет снижения энергоемкости ВРП г. Москвы в 2000-2009 гг.



Источник: И.А. Башмаков. Анализ динамики энергоемкости валового регионального продукта города Москвы за период 2000-2009 годов. «Энергосбережение». №4. 2011.

Анализ этих факторов показал, что:

- Основной вклад в снижение энергоемкости (71%) внесли структурные сдвиги. Из них на сдвиги в структуре секторов энергопотребления пришлось 53,7%, на вклад

³¹ См. И.А. Башмаков. Анализ динамики энергоемкости валового регионального продукта города Москвы за период 2000-2009 годов. «Энергосбережение». №4. 2011.



продуктовых сдвигов в промышленности – 13,8%, на вклад различия динамики численности населения и жилой площади в жилищной сфере – еще 3,6%;

- На фактор изменения загрузки использования производственной мощности в промышленности пришлось 10,2% экономии энергии. При росте производства за счет загрузки имеющихся производственных мощностей рост потребления энергии происходит тем медленнее, чем выше доля условно-постоянных расходов энергии (на холостой ход, освещение, отопление, вентиляцию и кондиционирование и др.);
- На фактор роста относительных цен на энергию пришлось 7,3% ее экономии;
- На фактор климата пришлось 3,2% дополнительного расхода энергии. Дело в том, что 2000 г. был довольно теплым: за весь период до 2009 г. только 2008 г. был теплее;
- На технологический фактор пришлось лишь немногим больше 1% снижения потребления энергии и энергоемкости ВРП г. Москвы:
 - у конечных потребителей на технологический фактор пришлось только 3% экономии энергии и соответствующего снижения энергоемкости ВРП. Более высокая энергоэффективность нового оборудования во многих случаях перекрывалась ростом энерговооруженности (например, в случае легковых автомобилей росла средняя мощность двигателя) или технологический эффект не отражался статистически. При строительстве новых энергоэффективных зданий только для небольшой их доли потребители оплачивали тепло по приборам учета. Поэтому эффект от строительства новых энергоэффективных зданий и утепления зданий в процессе капитального ремонта не отразился в статистике. Только с 2010 г. жители города стали оплачивать тепло на основании показаний приборов учета. Этот год не попал в интервал анализа;
 - оборудование московских электростанций модернизировалось, удельный расход топлива на выработку электроэнергии снизился, по данным статистики, с 308 до 288 гут/кВт-ч в 2000-2009 гг., но происходило это на фоне роста удельного расхода топлива на производство тепловой энергии с 134 до 139 кгут/Гкал и при снижении доли выработки электроэнергии по теплофикационному циклу. В итоге, коэффициент полезного использования топлива снижался. Поэтому технологический фактор при производстве электрической и тепловой энергии в целом способствовал не снижению, а росту потребления энергии на 1,8%.
- На прочие факторы пришлось 13,4% снижения расхода энергии. В их число входят как ошибки и неточности статистики, так и прочие не отраженные в выражении (4) факторы.

Часть «прочих» факторов теоретически может отражать вклад технологических факторов. Однако даже если допустить, что половина вклада прочих факторов – это вклад технологического фактора, который не удалось адекватно выявить статистическими методами, то и тогда его интегральный вклад не превысит 8%. Именно таким оказался вклад технологических факторов в 2008 г. Таким образом, анализ позволяет сформулировать важный вывод о том, что снижение энергоемкости ВРП г. Москвы в 2000-2009 гг. на 31,5% в основном имело место за счет структурных сдвигов в экономике при вкладе технологического фактора в диапазоне от 1% до 8%. Относительная роль технологического фактора оказалась самой существенной именно для жилищного сектора.



Повышение энергоёмкости в кризисном 2009 г. было определено вкладом структурных сдвигов на 81%, еще на 12% – более холодной погодой, еще на 3% – снижением загрузки производственных мощностей. На прочие факторы пришлось 20% повышения энергоёмкости. В 2009 г. в противоположном направлении – снижения энергоёмкости ВРП – сработали технологический фактор (12%) и фактор роста цен (5%).



5. Краткий обзор зарубежных систем учета повышения энергоэффективности и экономии энергии

5.1. Канада

В Канаде система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии эксплуатируется уже более пятнадцати лет. Эту работу ведет Офис энергоэффективности организации Нэчурал ресорсиз Канада (NRCan). Метод измерения потребления энергии – конечная энергия. Кроме того, в системе проводится анализ динамики выбросов парниковых газов, порожденных использованием энергии.

Анализ проводится по пяти секторам энергопотребления: жилищный сектор, сфера услуг, промышленность, транспорт и сельское хозяйство. Статистика Канады позволяет в рамках этих секторов выделить следующие подсектора:

⇒ Жилые помещения (отдельно стоящие дома, заблокированные дома, квартиры, передвижные дома:

- Бытовая техника (холодильники, морозильные камеры, посудомоечные машины, стиральные машины, сушилки для одежды, кухонные плиты, прочее);
- Освещение;
- Кондиционирование помещений (центральное, индивидуальное);
- Горячее водоснабжение;
- Отопление помещений:
 - мазут;
 - природный газ;
 - централизованное отопление;
 - дрова;
 - тепловые насосы;
 - прочее;
 - двойные системы отопления:
 - дрова и мазут;
 - газ и электричество;
 - дрова и электричество;
 - мазут и электричество;

⇒ Нежилые здания:

- отопление помещений;
- горячее водоснабжение;
- кондиционирование помещений;
- уличное освещение;
- двигатели;
- прочее оборудование;

⇒ Промышленность:

- горнодобывающая;
- лесная;
- черная металлургия;
- цветная металлургия;
- химическая;
- производство цемента;



- переработка нефти;
 - целлюлозно-бумажная;
 - прочая;
 - строительство;
- ⇒ Транспорт:
- внедорожный;
 - пассажирский: легковые машины, большие машины, грузовики, мотоциклы, школьные автобусы, городской, междугородний, воздушный, железнодорожный;
 - грузовой: легкие, средние и тяжелые грузовики; воздушный, железнодорожный, водный;
- ⇒ Сельское хозяйство.

В секторах и подсекторах проводится анализ влияния на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

- ⇒ индикаторы экономической активности – вклад роста экономической активности при условии, что структура видов деятельности и удельные расходы остались неизменными на уровне базового года;
- ⇒ структурный фактор – вклад изменения структуры разных видов экономической деятельности;
- ⇒ влияние климата – колебания температур и продолжительности отопительного периода и периода кондиционирования. Оценивается в градусосутках. Эффект изменения погоды учитывается для жилых и нежилых зданий, где регулирование температуры в помещении существенно влияет на потребление энергии;
- ⇒ влияние качества услуг – уровень качества услуг отражает обеспеченность потребителей оборудованием и приборами. К примеру, в жилищном секторе рост доходов приводит к росту обеспеченности бытовыми приборами;
- ⇒ влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических факторов.

Офис энергоэффективности использует метод LMD II. В Канаде используется аддитивная версия метода, то есть изучается абсолютное изменение показателей. Методологические основы анализа были пересмотрены и усовершенствованы в 2005 г.³²

Результаты анализа ежегодно публикуются в сборнике «Тренды энергоэффективности в Канаде»³³. Последний сборник содержит анализ за 1990-2008 гг. на 54 стр. В сборнике приводятся расходы канадцев на приобретение энергии, которые в 2008 г. составили 13% ВВП.

Авторы пришли к выводу, что энергоемкость по вторичной энергии снизилась на 22% в 1990-2008 гг., а индекс энергоэффективности – на 18%. Роль структурных сдвигов была довольно умеренной, равно как и роль климатического фактора (рис. 5.1). Удельный расход энергии на 1 м² в жилищном секторе снизился на 21% в 1990-2008 гг., а энергоэффективность повысилась на 31%. Разница в динамике этих двух показателей в основном определяется ростом обеспеченности канадцев бытовыми приборами. Удельные расходы энергии в промышленности измеряются на единицу добавленной стоимости. В промышленности энергоемкость снизилась на 15% в 1990-2008 гг., а индекс энергоэффективности повысился только на 10%. То есть треть снижения определялась изменением структуры промышленного производства. В отчете за 2010 г. Офис

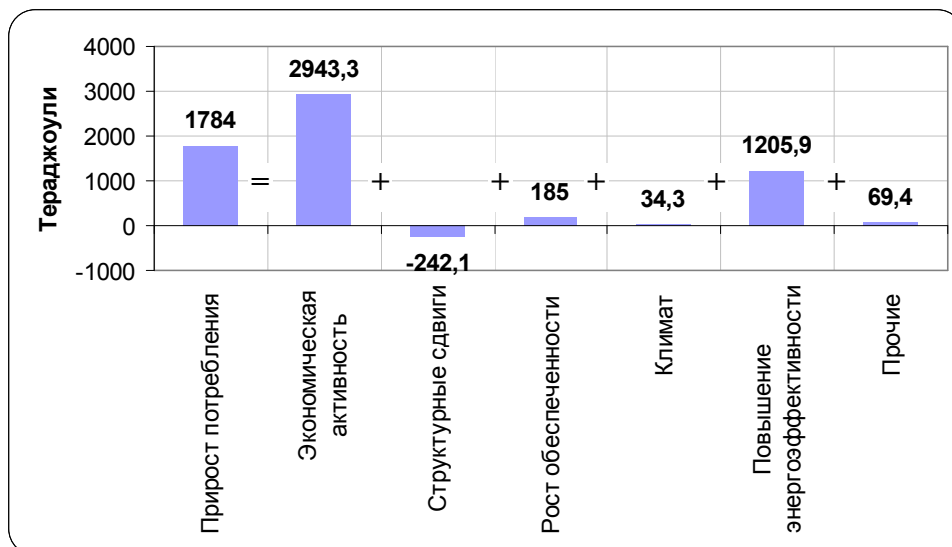
³² C. Bataille and Jh. Nyboer. Improvement of the OEE/DPAD Decomposition Methodology. Prepared for: Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency (OEE) by M. K. Jaccard and Associates. March 25, 2005.

³³ Energy Efficiency Trends in Canada 1990 to 2008. September 2010. Natural Resources Canada.



энергоэффективности впервые признал важную роль фактора загрузки производственных мощностей в промышленности, однако, количественно влияние этого фактора не оценивается. В транспортном секторе энергоэффективность выросла на 21%.

Рисунок 5.1 – Вклад отдельных факторов в изменение потребления вторичной энергии в Канаде в 1990-2008 гг.



Источник: Energy Efficiency Trends in Canada 1990 to 2008. September 2010. Natural Resources Canada

5.2. Новая Зеландия

В Новой Зеландии мониторинг влияния факторов изменения энергопотребления проводится с 2001 г. на основе системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии.³⁴ Организацией, которая отвечает за поддержку этой системы, является Служба по энергоэффективности и энергосбережению.

Анализ охватывает пять секторов энергопотребления: жилищный сектор, сферу услуг, промышленность, транспорт и производство первичной энергии. Помимо этого, выделен специальный раздел по возобновляемым источникам энергии. В секторах выделяются следующие подсектора:

- ⇒ Жилые здания:
 - частные дома;
 - квартиры;
 - передвижные дома;
 - апартаменты;
 - съемные дома;
- ⇒ Нежилые здания:
 - торговля;
 - прочие платные услуги;
 - государственные услуги;

³⁴ Energy Efficiency and Renewable Energy in New Zealand. Year Six Report: March 2001 to 2007. Monitoring and Technical Group Energy Efficiency and Conservation Authority. 44 The Terrace. Wellington. March 2009.



- ⇒ Транспорт:
 - пассажирский транспорт:
 - автомобили;
 - автобусы;
 - внутренние воздушные пассажирские перевозки;
 - железнодорожный транспорт;
 - грузоперевозки:
 - автомобильные;
 - железнодорожные;
 - водные;
- ⇒ Промышленность, сельское хозяйство и строительство:
 - добывающая промышленность;
 - металлургия;
 - химическая промышленность;
 - целлюлозно-бумажная промышленность;
 - типографская промышленность;
 - строительные материалы;
 - текстильная промышленность;
 - молочная промышленность;
 - переработка мяса;
 - прочая пищевая промышленность;
 - прочая обрабатывающая промышленность;
 - строительство;
 - молочное животноводство;
 - прочее сельское хозяйство и рыболовство;
- ⇒ Производство первичной энергии:
 - производство электроэнергии;
 - потери при производстве, передаче и распределении.

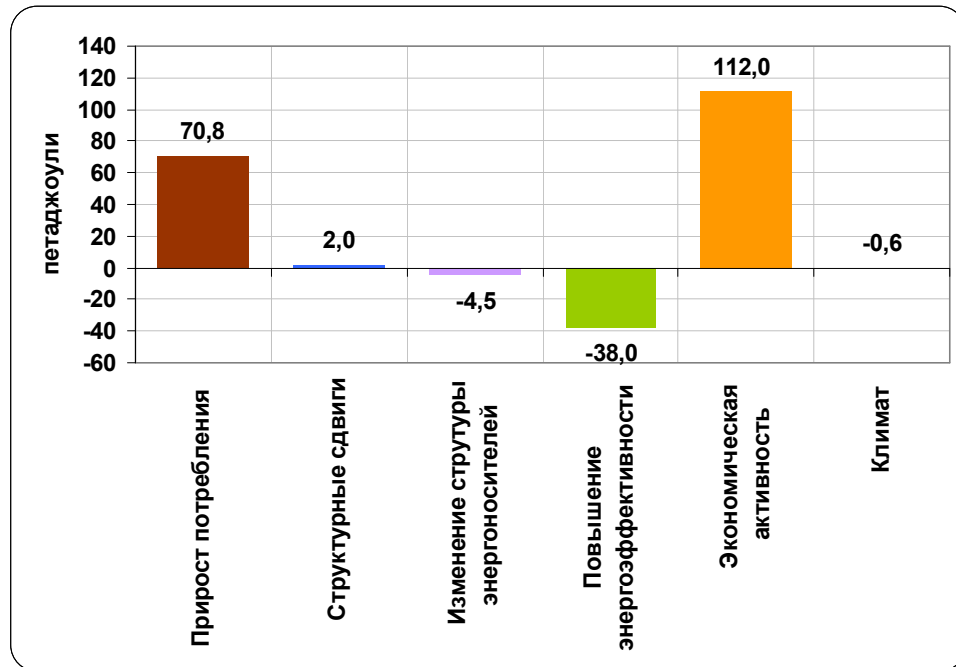
Удельные расходы энергии в промышленности измеряются на единицу добавленной стоимости. Анализ проводится не только для конечной энергии, но и для выработки электроэнергии.

Анализируется влияние на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

- ⇒ изменение индикаторов экономической активности;
- ⇒ структурный фактор;
- ⇒ влияние климата;
- ⇒ влияние качества энергии (учет фактора разной эффективности установок, выполняющих одинаковые функции с использованием разных видов энергоносителей);
- ⇒ влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических факторов.

Результаты ежегодно публикуются в сборнике «Энергоэффективность и возобновляемая энергия в Новой Зеландии». Сборник за 2001-2007 гг. содержит 41 стр. В сборнике приводятся расходы потребителей Новой Зеландии на приобретение энергии. В расчетах, так же как и в Канаде, используется аддитивная версия метода LMDI 1. Оценка вклада отдельных факторов показана на рисунке 5.2. Служба по энергоэффективности и энергосбережению пришла к выводу, что при снижении энергоемкости ВВП только на 4% в 2001-2007 гг. индекс энергоэффективности снизился на 8%, или в среднем снижался на 1,4% в год. В Новой Зеландии структурные сдвиги тормозили снижение энергоемкости, а переход к использованию более качественных видов топлива способствовал ее снижению.

Рисунок 5.2 – Вклад отдельных факторов в изменение потребления конечной энергии в Новой Зеландии в 2001-2007 гг.



Источник: Energy Efficiency and Renewable Energy in New Zealand. Year Six Report. March 2001 to 2007.

5.3. США

В США учет повышения энергоэффективности ведет Офис энергоэффективности и возобновляемых источников энергии Министерства энергетики США. На его сайте размещается публикация «Индикаторы энергоэффективности в США». Правда, наиболее актуальная информация в этой публикации несколько устарела и охватывает только период 1985-2004 гг. Сайт предоставляет доступ как к исходным данным, так и к результатам расчетов, а также детально описывает их методологию.

Анализ охватывает пять секторов энергопотребления: жилищный сектор, сферу услуг, промышленность, транспорт и производство электроэнергии. В секторах выделяются подсектора:

- ⇒ Жилые здания с учетом разделения по 4 укрупненным территориям (национальный уровень, Северо-Восток, Средний Запад, Юг, Запад) и по типам зданий:
 - отдельно стоящие дома на одну семью;
 - сблокированные дома на одну семью;
 - передвижные дома;
 - многоквартирные дома (2-4 квартиры);
 - многоквартирные дома (более 4 квартир);
- ⇒ Нежилые здания;
- ⇒ Транспорт:
 - пассажирский:
 - дорожный – автобусы, личные автомобили (легковые, грузовые);
 - воздушный – чартеры и регулярные рейсы;
 - железнодорожный – городские (пригородные, легкорельсовые, рельсовые) и междугородние поезда;



- грузовой:
 - воздушный;
 - водный;
 - железнодорожный;
 - трубопроводный – нефть, природный газ;
 - автомобильный (грузовики односекционные и многосекционные);
- ⇒ Промышленность:
 - пищевая и табачная;
 - текстильная;
 - одежда, кожаные изделия и аксессуары;
 - деревообрабатывающая;
 - производство бумаги;
 - типографская;
 - добыча нефти и угля;
 - химическая;
 - производство пластмасс и резины;
 - строительные материалы;
 - выплавка металлов;
 - производство металлических изделий;
 - производство оборудования;
 - производство электроники и компьютерной техники;
 - производство электрооборудования и бытовых приборов;
 - производство транспортного оборудования;
 - производство мебели и сопутствующих товаров;
 - прочее промышленное производство;
- ⇒ Производство электроэнергии:
 - ТЭЦ на ископаемом топливе (уголь, нефть, природный и другие газы);
 - ТЭЦ на возобновляемых источниках энергии (древесина, отходы);
 - прочие электростанции на ископаемом топливе (уголь, нефть, природный и другие газы);
 - электростанции на возобновляемых источниках энергии (древесина, отходы, солнечная, геотермальная, ветровая энергия).

Способ учета потребления энергии: первичная энергия и подведенная энергия. Используемый метод декомпозиции – мультипликативный LMDI (то есть рассматривающий относительные изменения показателей). Анализируется влияние на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

- ⇒ изменение индикаторов экономической активности;
- ⇒ структурный фактор – для зданий в нем выделяются фактор изменения региональной структуры потребления (по четырем регионам), фактор изменения типа жилища; для промышленности и других секторов по перечисленным выше подсекторам);
- ⇒ фактор размера домохозяйства;
- ⇒ влияние погоды;
- ⇒ влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических факторов;
- ⇒ другое.



В промышленности США в 1985-2004 гг. энергоёмкость снизилась на 32%, но за счет технологических факторов – только на 19%³⁵, остальное снижение пришлось на структурный фактор. Напротив, на транспорте энергоёмкость снизилась только на 8,2%, а за счет технологических факторов – на 15,2%. То есть структурный фактор ускорял снижение энергоёмкости в промышленности и тормозил на транспорте.

5.4. Австралия

Изучением тенденций в области энергоэффективности в Австралии занимается Австралийское бюро экономики сельского хозяйства и ресурсов. Последняя публикация «Интенсивность использования конечной энергии в экономике Австралии» (сентябрь 2010, 49 стр.) охватывает период с 1989/1990-2007/2008 гг.³⁶

В анализе отражается три сектора энергопотребления: жилищный сектор, промышленность и транспорт. В этих секторах выделяются следующие подсектора:

⇒ Жилищный сектор:

- кондиционирование и отопление помещений;
- горячее водоснабжение;
- освещение;
- приготовление пищи;
- бытовые приборы (10 видов);
- бассейны, СПА;
- потребление энергии приборами в режиме ожидания;

⇒ транспорт:

○ пассажирский:

- автомобильный (легковые автомобили, мотоциклы, автобусы);
- воздушный;
- железнодорожный (легкорельсовый, рельсовый);
- водный (паромы, прибрежные суда);

○ грузовой:

- автомобильный (лёгкие коммерческие автомобили, грузовики – односекционные, многосекционные);
- воздушный;
- водный;
- железнодорожный (легкорельсовый, рельсовый);

⇒ Промышленность, строительство, услуги и сельское хозяйство:

○ производство и строительство;

- цветная металлургия;
- черная металлургия;
- прочие металлы;
- химическая промышленность;
- деревообработка;
- строительные материалы;
- машиностроение;
- текстильная промышленность;

³⁵ По другим расчетам, реальная энергоёмкость снизилась на 22,3%, или снижалась в среднем на 1,3% в год. Ki-H. Choi and B.W. Ang. Attribution of changes in Divisia real energy intensity index – An extension of index decomposition analysis. *Energy Economics*. 34 (2012) 171-176.

³⁶ R. Petchey. End use energy intensity in the Australian economy. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics – Bureau of Rural Sciences. September 2010.



- пищевая промышленность;
- прочее;
- строительство;
- добывающая промышленность;
- услуги:
 - оптовая и розничная торговля;
 - гостиницы;
 - образование;
 - финансы;
 - правительство и оборона;
 - связь;
 - водоснабжение;
- сельское хозяйство (включая лесную промышленность и рыболовство).

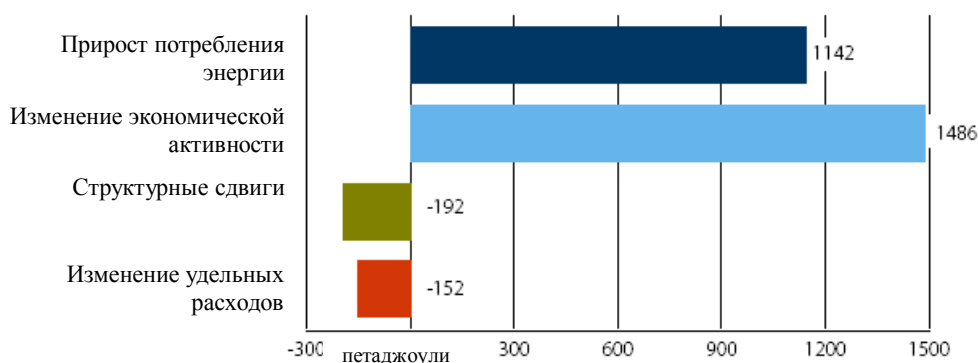
Способ учета потребления энергии: конечная энергия. Используемый метод декомпозиции – мультипликативный LMDI (то есть рассматривающий относительные изменения показателей).

Анализируется влияние на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

- ⇒ изменение индикаторов экономической активности;
- ⇒ структурный фактор – для зданий в нем выделяются фактор изменения региональной структуры потребления (по четырем регионам), фактор изменения типа жилища, для промышленности и других секторов по перечисленным выше подсекторам);
- ⇒ влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических факторов.

За рассматриваемый период времени потребление энергии в Австралии за счет роста экономической активности возросло бы на 54,9%. Этот рост частично нейтрализован за счет технологических факторов (снижение на 5,6%) и изменений в структуре экономики (еще на 4,7%). Поэтому потребление энергии выросло на 44,5% (рис. 5.3).

Рисунок 5.3 – Вклад отдельных факторов в изменение потребления конечной энергии в Австралии в 1990-2008 гг.

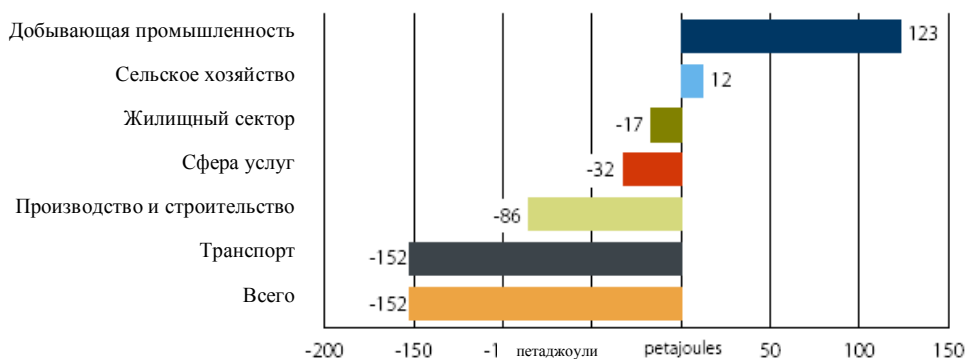


Источник: R. Petchey. End use energy intensity in the Australian economy. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics – Bureau of Rural Sciences. September 2010.

В 1990-2008 гг. энергоемкость ВВП снизилась на 20%, а индекс энергоэффективности – только на 6%. Влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических

факторов на торможение роста спроса на энергию оказалось наиболее значимым для транспорта и строительства, но в сельском хозяйстве и добывающей промышленности технического прогресса в повышении энергоэффективности не было (рис. 5.4).

Рисунок 5.4 – Вклад фактора повышения энергоэффективности в изменение потребления конечной энергии в отдельных секторах в Австралии в 1990-2008 гг.



Источник: R. Petchey. End use energy intensity in the Australian economy. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics – Bureau of Rural Sciences. September 2010.

Вклад структурного фактора был особенно существенным в промышленности, сельском хозяйстве и услугах. Согласно оценкам Австралийского бюро экономики сельского хозяйства и ресурсов, индекс энергоэффективности в этом секторе не снизился. Однако ограниченный набор факторов, который бюро использует в расчетах, не позволяет выявить именно роль технического фактора, который маскируется отчасти такими факторами, как изменение цен, рост обеспеченности объектов сферы услуг энергопотребляющим оборудованием, погодные условия, изменение уровня загрузки производственных мощностей. Объединение в один сектор промышленности, сельского хозяйства и услуг существенно искажает картину в промышленности.

Австралийское бюро экономики сельского хозяйства и ресурсов также оценивает долю расходов домохозяйств на приобретение энергоносителей. Она колеблется в пределах 2,5-3% и в этом плане подтверждает универсальность данной пропорции в разных странах мира³⁷.

5.5. Международное энергетическое агентство

МЭА в отчете о мировых тенденциях в области эффективного использования энергии (94 стр.), который опубликован в 2008 г., описывает изменения в мировом энергопотреблении с 1990 по 2005 гг.³⁸ В анализе отражается пять секторов энергопотребления: жилищный сектор, услуги, транспорт, производство электроэнергии и промышленность. В этих секторах выделяются следующие подсектора:

- ⇒ Жилищный сектор:
 - по цели потребления энергии:
 - отопление помещений;

³⁷ I. Bashmakov. Three Laws of Energy Transitions. Energy policy. July 2007; И. Башмаков. Показатель дисциплины платежей – интегральный параметр успеха российской реформы ЖКХ. Реформа ЖКХ. №2. 2005. Новости теплоснабжения.

³⁸ Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency. Key Insights from IEA Indicator Analysis. OCDE/IEA, 2008.



- бытовые приборы;
- холодильники;
- морозильные камеры;
- стиральные машины;
- посудомоечные машины;
- телевизоры;
- горячее водоснабжение;
- освещение;
- приготовление пищи;
- по источнику энергии:
 - мазут;
 - природный газ;
 - уголь;
 - возобновляемые источники;
 - централизованное тепло;
 - электроэнергия;
- ⇒ Услуги:
 - по цели потребления энергии:
 - образование;
 - здравоохранение;
 - торговля;
 - питание;
 - офисы;
 - прочие;
 - по источнику энергии:
 - мазут;
 - природный газ;
 - уголь;
 - возобновляемые источники;
 - централизованное тепло;
 - электроэнергия;
- ⇒ Транспорт:
 - дорожный;
 - железнодорожный;
 - воздушный;
 - водный;
 - пассажирский:
 - автомобильный;
 - автобусный;
 - воздушный;
 - железнодорожный;
 - водный;
 - грузовой:
 - грузовики;
 - водный;
 - железнодорожный (легкорельсовый, рельсовый);
- ⇒ Производство электроэнергии:
 - по источнику энергии:
 - нефть;
 - природный газ;
 - уголь;



- ⇒ Промышленность:
 - черная металлургия;
 - цементная;
 - целлюлозно-бумажная;
 - химическая;
 - производство алюминия.

Анализируется влияние на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

- ⇒ изменение индикаторов экономической активности;
- ⇒ структурный фактор;
- ⇒ влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических факторов.

Для жилищного сектора выделяются также такие факторы, как обеспеченность отопляемой площадью, средний размер жилища, уровень заселенности жилья, структура используемых энергоносителей (эффективность преобразования энергии), технический фактор. Производство промышленной продукции измеряется в натуральных единицах.

По оценкам для 16 стран МЭА, вклад структурного фактора на уровне экономики в целом в 1990-2005 гг. оказался практически незначимым. Он был существенно больше для промышленности. За счет этого фактора энергоемкость промышленности снижалась примерно на 0,5% в год. В сфере услуг структурный фактор тормозил снижение энергоемкости за счет роста доли более энергоемких видов услуг.

В работах МЭА используется еще один индекс энергоэффективности (ИЭНЭФ) для оценки степени реализации потенциала повышения энергоэффективности в отраслях промышленности. Он определяется как отношение объема потребления энергии на производство фактического набора промышленных продуктов при допущении, что удельные расходы энергии соответствуют лучшим мировым технологиям, к объему энергии, использованной на производство этого набора промышленных продуктов при фактических удельных расходах энергии. Для сложных продуктовых комплексов ИЭНЭФ позволяет элиминировать структурный фактор и показывает, какая часть потенциала повышения энергоэффективности реализована на данный момент времени. Например, по оценкам ЦЭНЭФ, индекс энергоэффективности в нефтепереработке в 2000-2008 гг. повысился с 43% до 51%, то есть потенциал энергосбережения в нефтепереработке составляет 49%.

5.6. ЕС - ODYSSEE

Тренды повышения энергоэффективности для 27 стран Европейского Союза, Норвегии и Хорватии оцениваются в рамках проекта ODYSSEE MURE, который координируется АДЭМЭ и поддерживается программой Европейского Союза Intelligent Energy Europe. В проекте участвуют энергетические агентства из всех охваченных проектом 29 стран, которые являются поставщиками информации для базы данных ODYSSEE. Эта база данных служит основой для оценки трендов повышения энергоэффективности. Оценки оформляются в виде публикаций как по экономике в целом³⁹, так и по отдельным секторам потребления энергии, включая жилищный сектор, транспорт, промышленность и услуги. Последний доклад по экономике в целом выпущен в 2009 г. Аналитические расчеты по отдельным секторам энергопотребления выполняются и уточняются регулярно, и последние данные, опубликованные в январе 2012 г., доступны за 2009 г.

³⁹ Overall Energy Efficiency Trends and Policies in the EU 27. ADEME Editions, Paris 2009. 62 p.



Расчеты ведутся по первичной и конечной энергии. Вклад структурных сдвигов оценивается только по конечной энергии. Для отражения прогресса технологического повышения энергоэффективности используется индекс энергоэффективности ODEX (ODYSSEE energy efficiency index). Его расчет показан в разделе 3. ODEX рассчитывается как трехлетняя скользящая средняя, чтобы избежать влияния колебаний климата, бизнес-циклов, поведенческих факторов, а также неточностей статистики. Однако такой подход сглаживает колебания индекса и затрудняет оценку степени влияния факторов на его динамику. При оценке индекса ODEX используется информация по следующим секторам и подсекторам:

⇒ Жилищный сектор:

- отопление;
- горячее водоснабжение;
- приготовление пищи;
- освещение и бытовые приборы:
 - холодильники;
 - морозильники;
 - стиральные машины;
 - посудомоечные машины;
 - сушилки;
 - телевизоры;
 - освещение;

⇒ Промышленность:

- металлургическая;
- химическая;
- деревообрабатывающая;
- целлюлозно-бумажная;
- строительные материалы;
- машиностроение;
- текстильная промышленность;
- пищевая промышленность;
- прочее;

⇒ Транспорт:

- легковые автомобили;
- грузовые автомобили;
- автобусы;
- мотоциклы;
- воздушный;
- железнодорожный;
- водный;

⇒ Услуги:

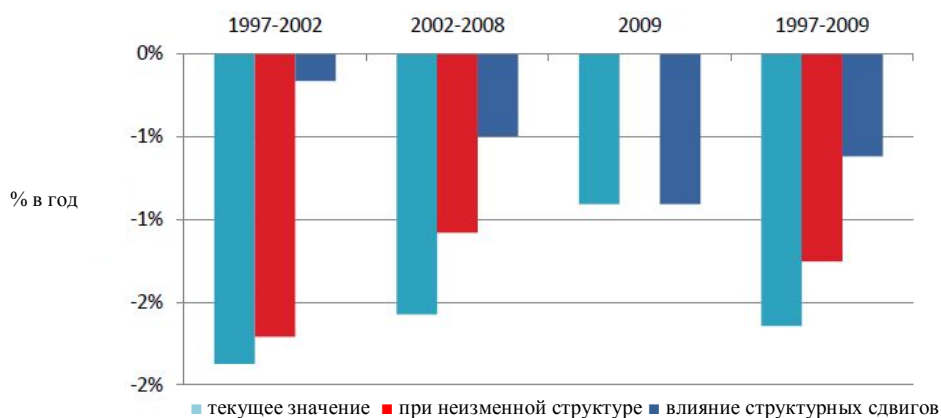
- образование;
- здравоохранение;
- торговля;
- гостиницы и рестораны;
- административные услуги;
- офисы;
- прочие.

Анализируется влияние на энергопотребление и изменение энергоэффективности следующих факторов:

- ⇒ изменение индикаторов экономической активности;
- ⇒ структурный фактор;
- ⇒ влияние климата;
- ⇒ уровень благоустройства жилья (доля централизованного теплоснабжения);
- ⇒ средний размер домохозяйства;
- ⇒ влияние изменения удельных расходов энергии за счет технических факторов;
- ⇒ другое.

По оценкам проекта ODYSSEE MURE, в 1997-2009 гг. на долю структурных сдвигов пришлось около 40% снижения энергоемкости стран ЕС. В кризисном 2009 г. только они и определяли снижение энергоемкости (рис. 5.5).

Рисунок 5.5 – Вклад структурного фактора в изменение энергоемкости (по конечной энергии) в Европейском Союзе



Источник: <http://www.odyssee-indicators.org/reports/macro/overall20.pdf>

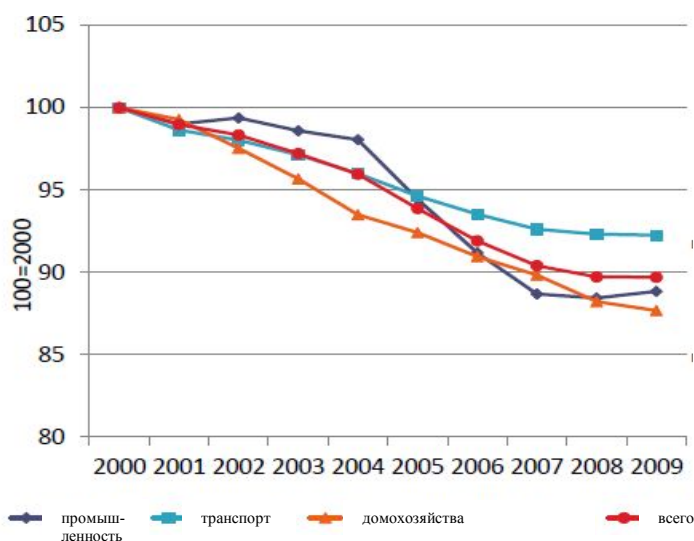
Снижение интегрального индекса составило в 2000-2009 гг. 10%. То есть за счет технологических факторов энергоемкость снижалась в среднем на 1,2% в год (рис. 5.6). Этот процесс происходил быстрее в жилищном секторе и медленнее – на транспорте.

Для 5 стран ЕС среднегодовые темпы снижения индекса энергоэффективности составили около 2% в год, для 13 стран – более 1% в год, для 3 стран прогресса в этом плане не было.

Авторы пришли к выводу, что при снижении темпов роста ВВП до уровня ниже 2% в год энергоемкость либо повышается, либо ее снижение прерывается или резко замедляется. Отчасти это происходит из-за повышения доли потребления энергии, которая не подвержена или слабо подвержена циклическим колебаниям, например, потребление энергии в жилищном секторе; отчасти – замедлением технического прогресса в повышении энергоэффективности, которое произошло в кризисном 2009 г. На самом деле, это замедление было результатом снижения загрузки производственной мощности в фазе кризиса. Авторы проекта ODYSSEE MURE отмечают, что фактор изменения загрузки производственной мощности влияет на динамику энергоемкости, но не вводят этот фактор в анализ.



Рисунок 5.6 – Динамика индекса энергоэффективности в целом и по отдельным секторам экономики ЕС в 2000-2009 гг.



Источник: <http://www.odyssee-indicators.org/reports/macro/overall20.pdf>

Индекс энергоэффективности (ODEX) в промышленности снижался в 1990-2000 гг. в среднем на 2,4% в год, а в 2000-2008 – на 1,7% в год⁴⁰. Около 30% экономии энергии в промышленности ЕС порождено промышленными структурными сдвигами. Отрасли промышленности по-разному проходили кризис. Металлургия в 35 раз более энергоемка, чем машиностроение, а промышленность строительных материалов – в 8 раз более энергоемка. Поэтому циклические сдвиги в структуре промышленности приводили к изменению итогового показателя энергоемкости. В 10 странах, включая Германию, Австрию и Швецию, в 2009 г. за счет структурных факторов энергоемкость в промышленности выросла. Страны с более активной политикой повышения энергоэффективности в промышленности добились больших результатов.

⁴⁰ Energy Efficiency Trends and Policies in the Industrial Sector in the EU-27. September 2009. ADEME Editions. Paris 2009.

6. Использование энергии и агрегированные тренды энергоэффективности в России

6.1. Единый топливно-энергетический баланс (ЕТЭБ) Российской Федерации за 2010 г.

Единый топливно-энергетический баланс Российской Федерации за 2010 г. получается как результат интеграции в одну таблицу балансов электрической и тепловой энергии, природного газа, угля, жидкого топлива, а также прочих видов твердого топлива (дрова, торф и т.п.). ЕТЭБ дает возможность представить всю картину энергетики страны в одной таблице (табл. 6.1). Баланс рассчитан ЦЭНЭФ на основе данных форм официальной статистики Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации с использованием методики формирования энергетических балансов, применяемой Международным энергетическим агентством и адаптированной ЦЭНЭФ к особенностям российской статистики. Баланс построен по той же методике и в той же форме, что и ЕТЭБ за 2007 г., оцененный ЦЭНЭФ, согласованный им с Федеральной службой государственной статистики и приведенный в Приложении 2 к Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

Параметры ЕТЭБ оцениваются с определенной степенью точности. Она определяется качеством и полнотой статистических данных и их непротиворечивостью. К сожалению, данные по одноименным показателям из разных источников Федеральной службы государственной статистики различаются. Например, даже наиболее надежные данные по выработке электроэнергии за 2010 г. в электробалансе равны 1038 млрд. кВт-т, а в форме 6-ТП – 1035 млрд. кВт-т. Неопределенность существенно выше при оценке показателей потребления энергии автомобильным транспортом и баланса тепловой энергии. Поскольку потребление энергии в прочей промышленности и в сфере услуг формируется по остаточному принципу, точность этих оценок также недостаточно высока. Так, потребление энергии мелкими промышленными предприятиями может быть отнесено к сфере услуг.

Суммарное производство первичных топливно-энергетических ресурсов в 2010 г. составило 1771,3 млн. тут, а суммарное потребление первичной энергии – 943,3 млн. тут. То есть баланс внешней торговли энергоресурсами (в основном, углем, нефтью, нефтепродуктами и природным газом) составляет без малого половину (47%) произведенных энергоресурсов.

Потребление первичной энергии снизилось в кризисном 2009 г. Наименее уязвимыми к кризисному снижению потребления энергии в 2009 г. оказались сфера услуг и жилищный сектор, а наиболее уязвимыми – промышленность, транспорт и электроэнергетика (рис. 6.1). В 2010 г. потребление первичной энергии вышло на уровень 98% от докризисного максимума 2008 г., а потребление конечной энергии практически вышло на уровень 2008 г.



Таблица 6.1. Единый топливно-энергетический баланс Российской Федерации за 2010 год¹

(тыс. тонн условного топлива)

| | Уголь | Сырая нефть | Нефте-продукты | Природный газ | Гидро-энергия и НВИЭ ² | Атомная энергия | Прочие виды твёрдого топлива | Электро-энергия | Тепло | Всего |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|---------|------------------|
| Производство | 210 519 | 722 426 | | 744 615 | 20 772 | 64 974 | 7 968 | | | 1 771 274 |
| Импорт | 10 153 | 1 579 | 3 182 | 4 962 | | | 0 | 229 | | 20 105 |
| Экспорт | -79 340 | -358 501 | -190 476 | -205 181 | | | 0 | -2 369 | | -835 867 |
| Изменение запасов | -760 | 2 000 | 1 054 | 10 000 | | | -54 | | | 12 239 |
| Потребление первичных энергетических ресурсов | 142 092 | 363 504 | -188 348 | 534 396 | 20 772 | 64 974 | 8 023 | -2 140 | | 943 273 |
| Статистическая невязка баланса | 4 839 | 774 | -3 269 | -43 | | | | | -1 672 | 629 |
| Электростанции: всего | -86 387 | -45 | -6 873 | -212 625 | -20 772 | -64 974 | -2 708 | 127 678 | 89 070 | -177 637 |
| в т.ч. производство тепловой энергии | -23 277 | 0 | -3 176 | -69 654 | -5 | -1 456 | -2 078 | | 89 070 | -10 577 |
| Электроэнергия | -63 111 | -45 | -3 696 | -142 970 | -20 767 | -63 518 | -630 | 127 678 | | -167 060 |
| Тепловая энергия: всего | -41 675 | -1 039 | -11 351 | -156 921 | -5 | -1 456 | -5 510 | -1 271 | 200 286 | -18 943 |
| Котельные | -18 395 | -1 039 | -8 174 | -87 267 | | | -3 431 | -704 | 99 643 | -19 367 |
| Теплоутилизационные установки и электрокотельные | -3 | | -1 | | | | | -568 | 11 574 | 11 002 |
| Преобразование топлива | -479 | -355 960 | 341 438 | -2 595 | | | -545 | -2 664 | -8 278 | -29 084 |
| в т.ч. переработка нефти | -212 | -355 929 | 341 485 | -1 349 | | | -545 | -1 511 | -6 056 | -24 117 |
| переработка газа | | -31 | -44 | -1 245 | | | | -1 024 | -2 018 | -4 362 |
| переработка угля | -268 | | -4 | | | | | -129 | -204 | -605 |
| Собственные нужды | | | | | | | | -8 107 | -325 | -8 432 |
| Потери при передаче и распределении | | -7 000 | -3 112 | -8 000 | | | | -12 907 | -18 071 | -49 089 |



| | Уголь | Сырая нефть | Нефте-продукты | Природный газ | Гидро-энергия и НВИЭ ² | Атомная энергия | Прочие виды твёрдого топлива | Электро-энергия | Тепло | Всего |
|-------------------------------|---------------|-------------|----------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Конечное потребление | 41 667 | 234 | 131 661 | 223 866 | | | 1 338 | 100 589 | 171 940 | 671 295 |
| Промышленность | 35 290 | 74 | 6 476 | 50 159 | | | 348 | 53 294 | 78 875 | 224 516 |
| в т.ч. добыча нефти | | 70 | 216 | 2 849 | | | | 6 781 | 967 | 10 883 |
| добыча газа | | | 1 | 5 728 | | | | 156 | 127 | 6 012 |
| добыча угля | 10 | | 43 | | | | | 756 | 552 | 1 361 |
| руда железная товарная | 4 | | 83 | | | | | 1 089 | 118 | 1 294 |
| агломерат железорудный | 2 828 | | | 160 | | | | 310 | 78 | 3 375 |
| окатыши железорудные | | | 111 | 449 | | | | 212 | 82 | 854 |
| кокс ³ | 3 487 | | 0 | 36 | | | | 189 | 1 100 | 4 811 |
| чугун ⁴ | 25 470 | | 0 | 6 278 | | | | 197 | 237 | 32 183 |
| сталь мартеновская | | | 263 | 565 | | | | 27 | 45 | 899 |
| сталь кислородно-конвертерная | 13 | | 0 | 237 | | | | 211 | 67 | 529 |
| электросталь | 1 | | 1 | 470 | | | | 1 282 | 120 | 1 873 |
| прокат черных металлов | 1 389 | | 28 | 3 640 | | | | 904 | 521 | 6 481 |
| электроферросплавы | 633 | | 0 | 15 | | | 71 | 972 | 17 | 1 707 |
| аммиак синтетический | | | 0 | 361 | | | | 209 | 233 | 802 |
| удобрения | | | 11 | 427 | | | | 580 | 2 512 | 3 529 |
| каучук синтетический | 197 | | 207 | 406 | | | | 376 | 2 415 | 3 602 |
| целлюлоза | | | 95 | 86 | | | 29 | 509 | 2 801 | 3 521 |
| бумага | | | 0 | 37 | | | | 523 | 1 047 | 1 607 |
| картон | 2 | | 0 | 9 | | | | 226 | 811 | 1 048 |
| цемент и клинкер | 679 | | 18 | 8 091 | | | 9 | 755 | 42 | 9 594 |
| мясо | 3 | | 5 | 126 | | | 1 | 189 | 447 | 770 |
| хлеб и хлебобулочные изделия | 19 | 4 | 23 | 429 | | | 17 | 144 | 248 | 883 |
| прочие | 556 | 1 | 5 369 | 19 762 | | | 221 | 36 699 | 64 288 | 126 896 |
| Строительство | 60 | 10 | 563 | 0 | | | | 1 311 | 0 | 1 944 |



| | Уголь | Сырая нефть | Нефте-продукты | Природный газ | Гидро-энергия и НВИЭ ² | Атомная энергия | Прочие виды твёрдого топлива | Электро-энергия | Тепло | Всего |
|---|-------|-------------|----------------|---------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|--------|---------|
| Транспорт | 22 | 9 | 97 051 | 47 085 | | | 1 | 10 355 | 875 | 155 398 |
| в т.ч. железнодорожный | 22 | 0 | 3 177 | 18 | | | 1 | 5 680 | 423 | 9 320 |
| трубопроводный | | 9 | 121 | 46 677 | | | | 3 147 | 449 | 50 404 |
| автомобильный (включая личный) ⁵ | | | 83 552 | 389 | | | | | | 83 941 |
| прочий транспорт | | | 10 202 | 0 | | | | 1 528 | 3 | 11 733 |
| Сельское хозяйство | | 10 | 3 505 | 45 | | | | 1 773 | 1 316 | 6 650 |
| Коммунальное хозяйство | 3 | | 1 | 43 | | | 1 | 2 850 | 267 | 3 166 |
| Сфера оказания услуг | 2 000 | 20 | 117 | 33 864 | | | 229 | 15 373 | 18 130 | 69 733 |
| в т.ч. бюджетная сфера | 757 | 8 | 23 | 12 824 | | | | 4 659 | 17 738 | 36 010 |
| Население (жилищный фонд) | 3 128 | | 842 | 57 680 | | | 589 | 15 633 | 72 477 | 150 349 |
| в т.ч. отопление | 3 128 | | | 34 763 | | | 589 | | 52 841 | 91 321 |
| горячее водоснабжение | | | 442 | 7 973 | | | | | 19 637 | 28 052 |
| прочие нужды | | | 399 | 14 945 | | | | 15 633 | 19 637 | 50 613 |
| Неэнергетические нужды | 1 166 | 120 | 23 106 | 35 033 | | | 171 | | | 59 597 |

¹ Баланс рассчитан ЦЭНЭФ на основе данных форм официальной статистики Федеральной службы государственной статистики с использованием методики формирования энергетических балансов, применяемой Международным энергетическим агентством и адаптированной ЦЭНЭФ к особенностям российской статистики. При оценке выработки электроэнергии на атомных электростанциях и гидроэлектростанциях по замещаемому топливу суммарная оценка потребления первичной энергии в 2010 г. получается равной 970,7 млн. тонн условного топлива.

² НВИЭ включают выработку электрической и тепловой энергии на геотермальных и ветровых электростанциях.

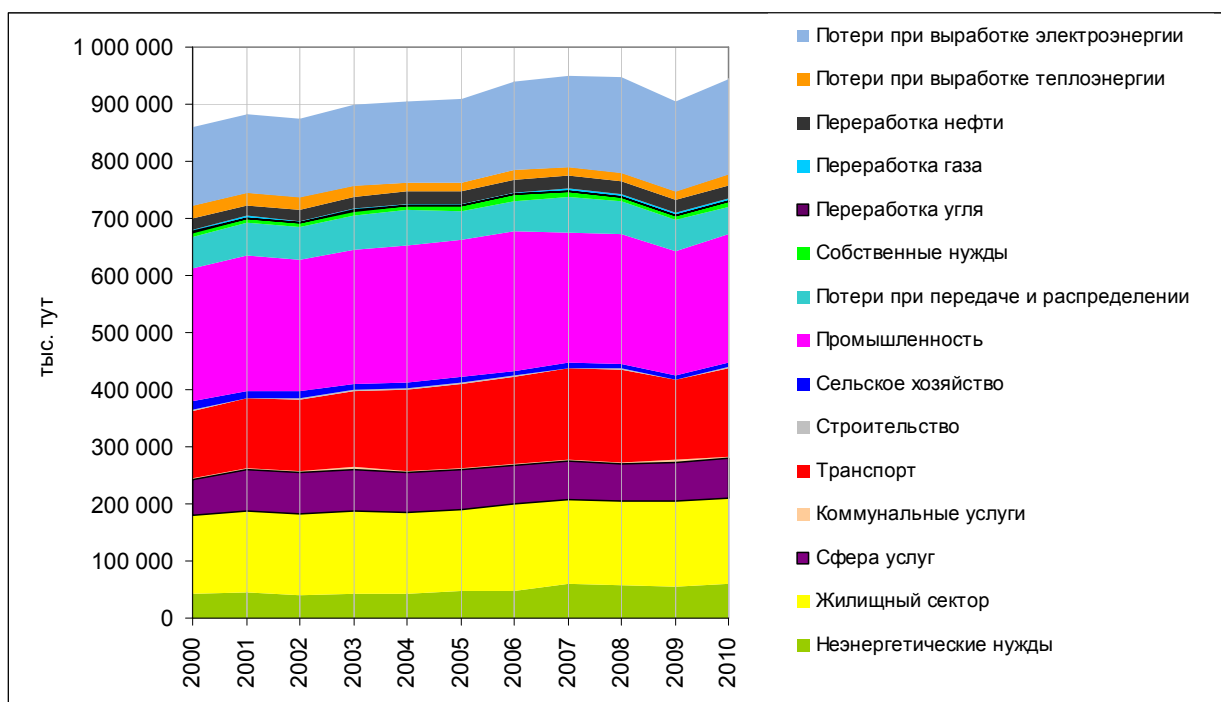
³ С учётом обогрева коксовых батарей.

⁴ С учётом расхода энергии на обогрев кауперов и на доменное дутьё.

⁵ Потребление жидкого топлива оценено на основе данных по парку автотранспортных средств. Альтернативная оценка на базе анализа рынка нефтепродуктов равна 80 657 тыс. туг.

Источник: Оценка ЦЭНЭФ

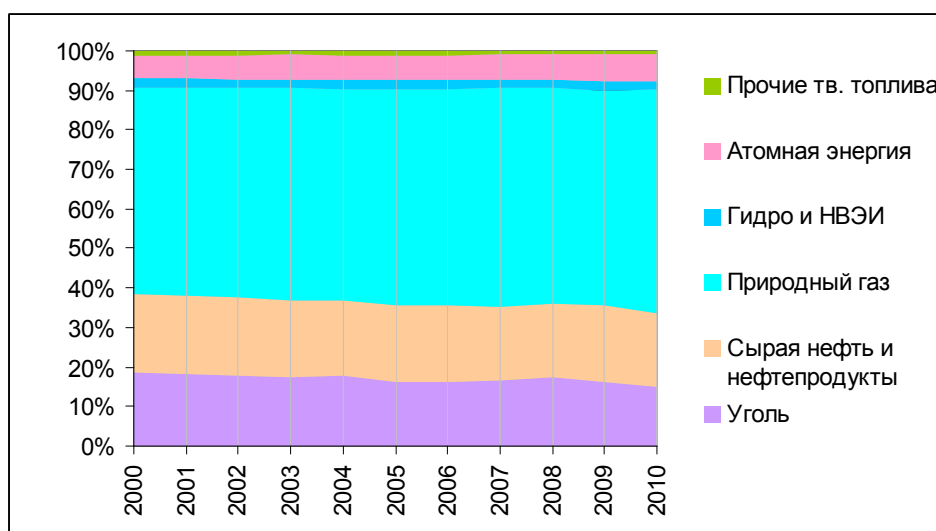
Рисунок 6.1 – Динамика потребления энергии по основным секторам экономики



Источник: ЦЭНЭФ

В структуре потребления первичной энергии доминирует природный газ, и его доля продолжает расти: в 2000 г. она была равна 52,4%, в 2005-2009 гг. была на уровне около 55% и выросла до 56,7% в 2010 г. (рис. 6.2).

Рисунок 6.2 – Динамика потребления энергии по основным видам первичной энергии



Источник: ЦЭНЭФ

Наиболее динамично потребление энергии росло в 2000-2010 гг. на транспорте (54% всего прироста). За ним следовали потери при выработке электроэнергии (за счет динамичного роста ее потребления), потребление на неэнергетические нужды, в жилищном секторе и сфере услуг. В целом ряде секторов, в т.ч. в промышленности, в эти годы потребление энергии абсолютно снижалось (рис. 6.3).



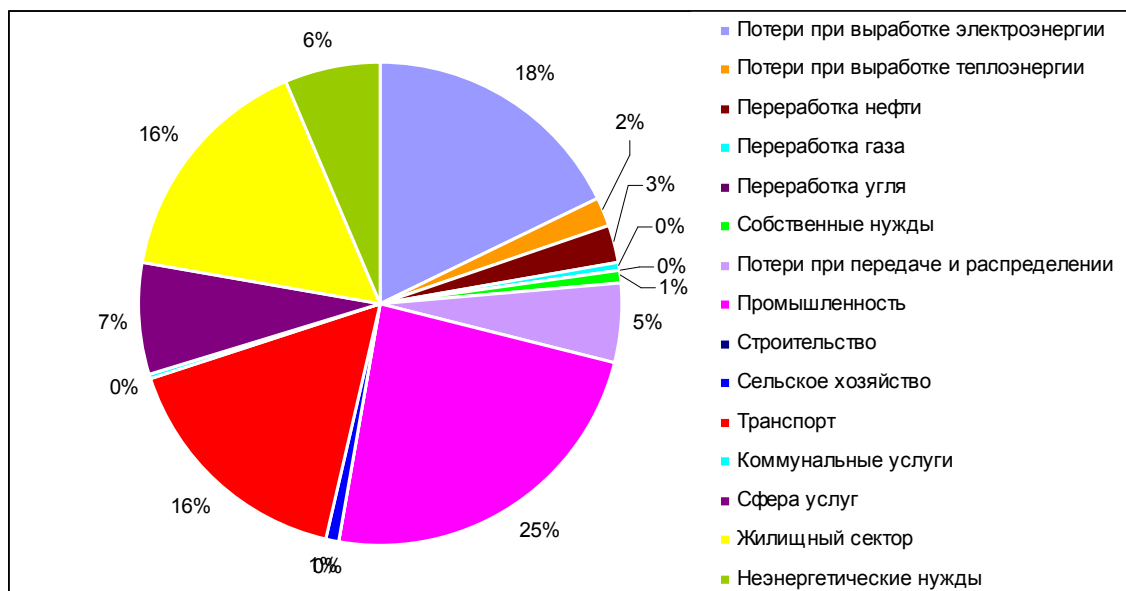
Рисунок 6.3 – Приросты потребления энергии по основным секторам экономики в 2000-2010 гг.



Источник: ЦЭНЭФ

На долю конечного потребления энергии (разницы первичного потребления энергии и потерь энергии при ее преобразовании, транспортировке, передаче и распределении) в 2010 г. пришлось 71,2% первичного потребления энергии. То есть в процессах переработки и преобразования топлива и энергии теряется почти 29% всей используемой первичной энергии. Эта доля остается довольно устойчивой на всем периоде 2000-2010 гг., варьируя в узком диапазоне 69,7-72,7%.

Рисунок 6.4 – Структура потребления первичной энергии в 2010 г.

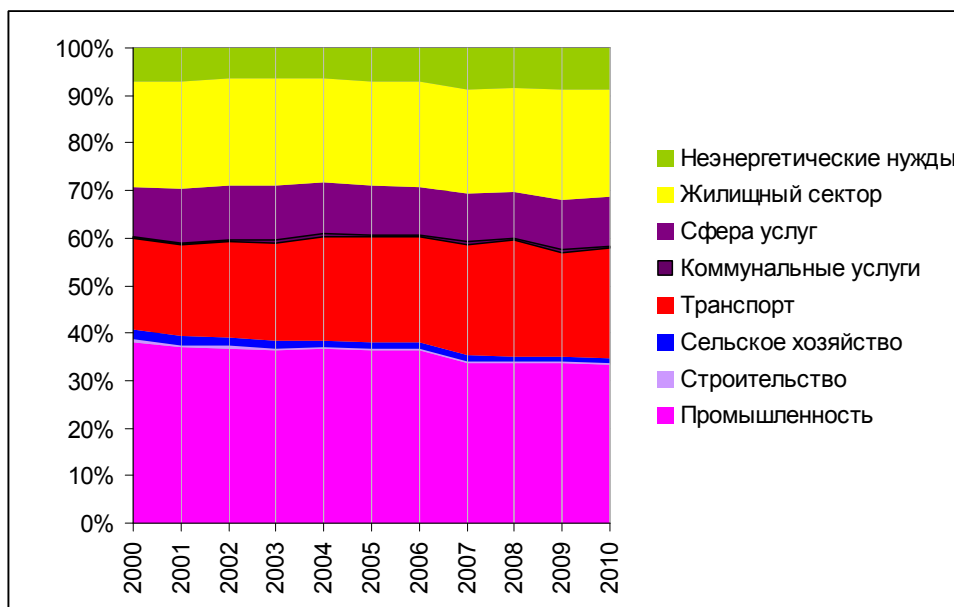


Источник: ЦЭНЭФ

В структуре конечного потребления энергии растет доля транспорта (рост почти на 4% в 2000-2010 гг.) и использования топлива на неэнергетические нужды, а снижается доля

промышленности (снижение почти на 5% в 2000-2010 гг.). Последняя все еще остается довольно значительной (рис. 6.5).

Рисунок 6.5 – Изменение структуры потребления конечной энергии по секторам потребления в 2000-2010 гг.



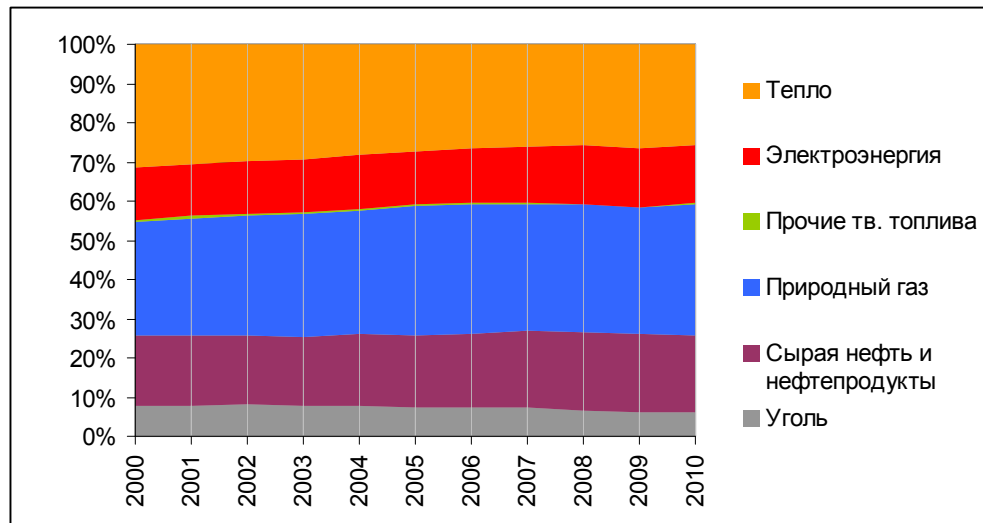
Источник: ЦЭНЭФ

На долю промышленности в 2010 г. пришлось 33,4% потребления конечной энергии (42,3% при учете неэнергетических нужд), на долю строительства – 0,3%, сельского хозяйства – 1%, транспорта – 23,1% (в т.ч. автомобильного – 12,5%), комбыта (водоснабжение и уличное освещение) – 0,5%, сферы услуг – 10,4%, жилищного сектора – 22,4%, неэнергетических нужд – 8,9%. На все здания, включая жилые, сферы услуг и промышленные, пришлось около 40% потребления конечной энергии.

В структуре потребления конечной энергии по видам энергоносителей на смену тепловой энергии, которая доминировала в 2000 г., пришел природный газ (рис. 6.6). Доля электроэнергии также выросла с 13,5% в 2000 г. до 15% в 2010 г.



Рисунок 6.6 – Изменение структуры потребления конечной энергии по видам энергоносителей в 2000-2010 гг.

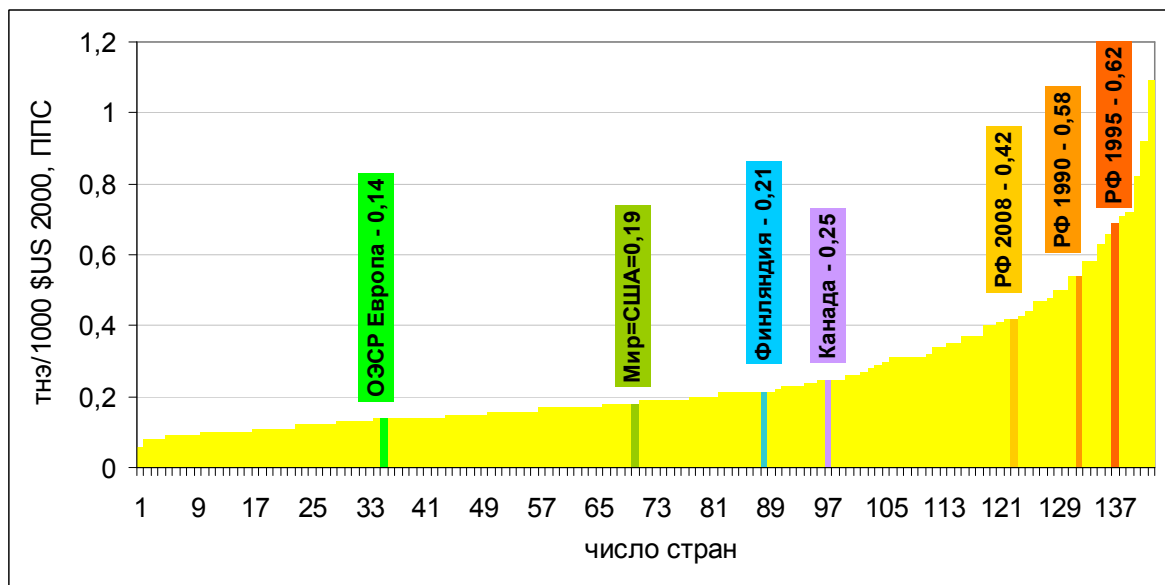


Источник: ЦЭНЭФ

6.2. Место России по уровню энергоёмкости ВВП

Несмотря на заметный прогресс в повышении энергоэффективности, в 2008 г. Россия все еще находилась на 121-м месте из 138 стран по уровню энергоёмкости ВВП (рис. 6.7). По этому показателю Россия в 2,2 раза превышала среднемировой уровень и уровень США и в 3 раза – европейский уровень. Она также превышала уровни энергоёмкости других стран БРИКС: в 2,1 раза Китая, в 3 раза Индии, в 2,8 раза Бразилии и на 68% – Южной Африки.

Рисунок 6.7 - Положение Российской Федерации по уровню энергоёмкости ВВП (2008 г.)

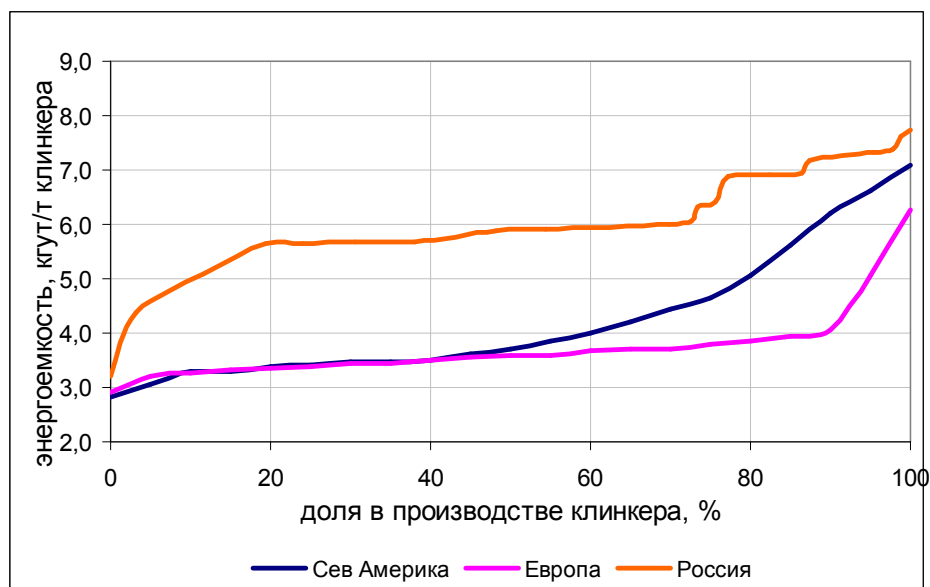


Источник: I. Bashmakov. Energy efficiency policies and developments in Russia. Подготовлено для ОЭСР по контракту № JA00069287. Оценено на основе данных МЭА из публикации 2010 Key World Energy Statistics. OECD/IEA. 2010.

Различия в энергоёмкости отчасти объясняются различиями в структуре экономики, климатом, разной степенью совершенства применяемых технологий. Энергоёмкость ВВП Канады равна 60% от российского уровня. Именно из этого сопоставления растут корни задачи по снижению энергоёмкости ВВП России до 2020 г. на 40%. Сравнение со странами со схожим климатом – Финляндией и Канадой – показывает, что потенциал экономии энергии в России (при таком простом методе оценки) составляет не менее 280 млн. тнэ, или 400 млн. туг.

Значительная часть его определена использованием устаревших технологий. Это можно показать на примере производства клинкера. В России доминирует мокрый способ его производства. В Европейском Союзе и Северной Америке около 50% цемента производится по новым технологиям, поэтому их удельные расходы практически совпадают (рис. 6.8). В Северной Америке выше доля старых заводов с более высокими удельными расходами. В России вся кривая распределения объемов производства клинкера по уровню удельных расходов проходит выше, чем в Западной Европе и Северной Америке. Поэтому по уровню средних удельных расходов на производство клинкера Россия превосходит на 62% Европейский Союз, на 46% – Китай и на 33% – Северную Америку.

Рисунок 6.8 – Распределение объемов производства клинкера по уровню удельных расходов в России, Северной Америке и Западной Европе

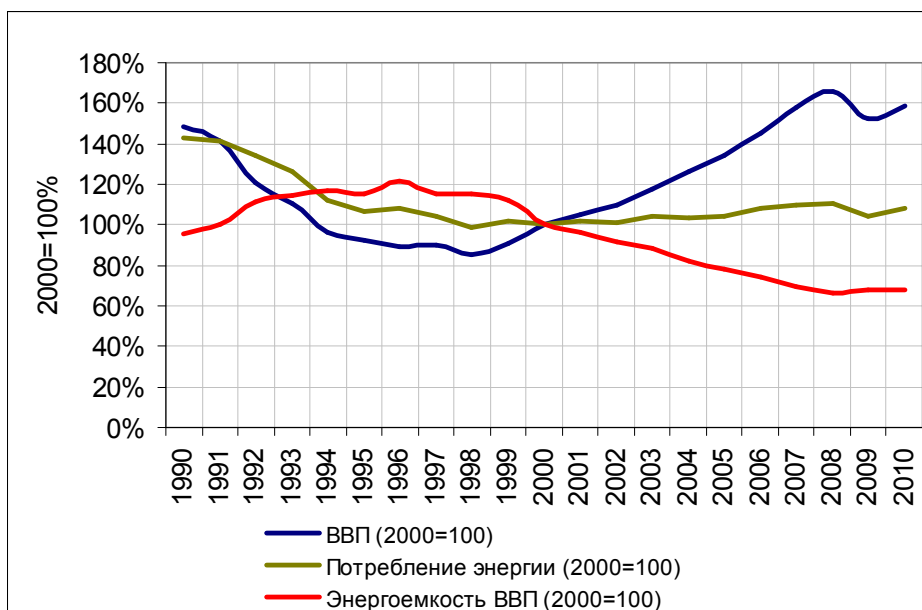


Источник: I. Bashmakov. Energy efficiency policies and developments in Russia. Подготовлено для ОЭСР по контракту № JA00069287. Оценено на основе данных МЭА из публикации 2010 Key World Energy Statistics. OECD/IEA. 2010.

6.3. Динамика энергоёмкости ВВП России

Повышение энергоэффективности сопровождается снижением энергоёмкости ВВП. Динамика энергоёмкости ВВП в 1990-2010 гг. похожа на зеркальное отражение динамики ВВП (рис. 6.9).

Рисунок 6.9 – Динамика российского ВВП, потребления первичной энергии и энергоёмкости ВВП в 1990-2010 годах



Источник: I. Bashmakov. Energy efficiency policies and developments in Russia. Подготовлено для ОЭСР по контракту № JA00069287. Данные по динамике ВВП – Росстат. Данные по потреблению первичной энергии оценены ЦЭНЭФ на основе ЕТЭБ.

Спад экономики в первой половине 90-х годов прошлого столетия сопровождался повышением энергоёмкости. Это было естественным следствием роста доли более энергоёмких сырьевых отраслей за счет потери конкурентоспособности отраслей машиностроения и легкой промышленности, снижения загрузки производственных мощностей, роста доли потребления энергии в жилищном секторе и сфере услуг.

Возрождение российской экономики и перевод ее на рыночные рельсы позволили существенно сократить разрыв с развитыми странами по уровню энергоёмкости. После кризиса 1998 г. России почти удалось разорвать связь между ростом ВВП и энергопотребления. При росте ВВП в 1998-2008 на 94% потребление первичной энергии увеличилось только на 12%. За период 1998-2010 гг. соответствующие цифры составили 86% для ВВП и 8% для потребления первичной энергии.

В 1998-2008 гг. после долгого отставания Россия вырвалась в мировые лидеры по темпам снижения энергоёмкости ВВП: этот показатель снизился на 42% и снижался в среднем более чем на 5% в год, что существенно быстрее, чем во многих странах мира. Снижение энергоёмкости ВВП в значительной степени нейтрализовало рост потребления энергии и стало главным энергетическим ресурсом экономического роста. Без прогресса в снижении энергоёмкости потребление энергии в России в 2008 г. на 73% превышало бы фактический уровень, а чистый экспорт энергоносителей снизился бы на 90%.

Новый глубокий экономический кризис 2009 г. прервал эту впечатляющую динамику. В 2009 г. энергоёмкость ВВП выросла на 2,3%, а в 2010 г. снизилась только на 0,2% (рис. 6.9). В итоге, по иронии, после принятия Указа Президента от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» и Закона № 261 «Об энергосбережении и повышении эффективности использования энергии» в 2009 г. энергоёмкость российского ВВП не снизилась, а выросла на 2,1% в 2008-2010 гг.



Таким образом, проявился парадокс российской политики повышения энергоэффективности: при отсутствии федеральной политики по повышению энергоэффективности она быстро снижалась, а после ее запуска снижаться перестала. Как министру энергетики отчитываться об успехах реализации закона № 261 и Государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»?

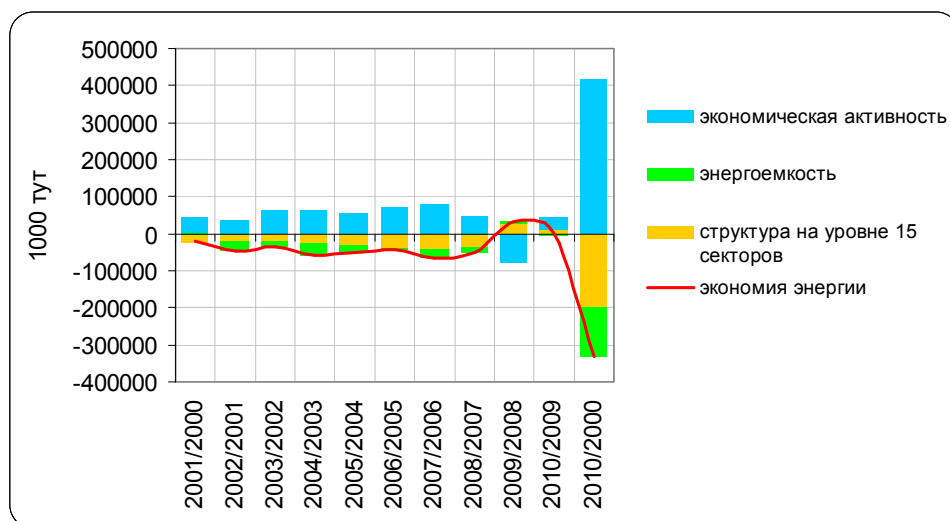
В России нет национальной системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. Поэтому не проводилась декомпозиция факторов, определявших динамику энергоемкости ВВП, и не выяснялись причины ее динамики. Теперь такая возможность появилась.

6.4. Факторы, определявшие динамику потребления энергии в 2000-2010 гг.

Снижение энергоемкости может происходить по причине совершенствования технологий (ввода нового и вывода из эксплуатации старого оборудования), изменения параметров загрузки производственного оборудования и за счет структурных сдвигов в экономике (изменения удельного веса разных по уровню энергоемкости видов экономической деятельности из-за разности в темпах их развития), изменения цен, погодных условий, роста благоустройства жилого фонда и др.

Для выявления вклада этих факторов проводится декомпозиционный анализ. Анализ проводился на двух уровнях агрегирования для 15 секторов экономики и с выделением промышленных продуктов, видов транспорта, процессов отопления и ГВС в жилищном секторе, что увеличило число секторов до 44. На первом этапе анализа выделено только 15 секторов и только два фактора. Результаты декомпозиционного анализа по такой упрощенной схеме показывают, что главными факторами снижения энергоемкости ВВП в 2000-2010 гг. были структурные сдвиги. На их долю пришлось 60% экономии энергии (рис. 6.10).

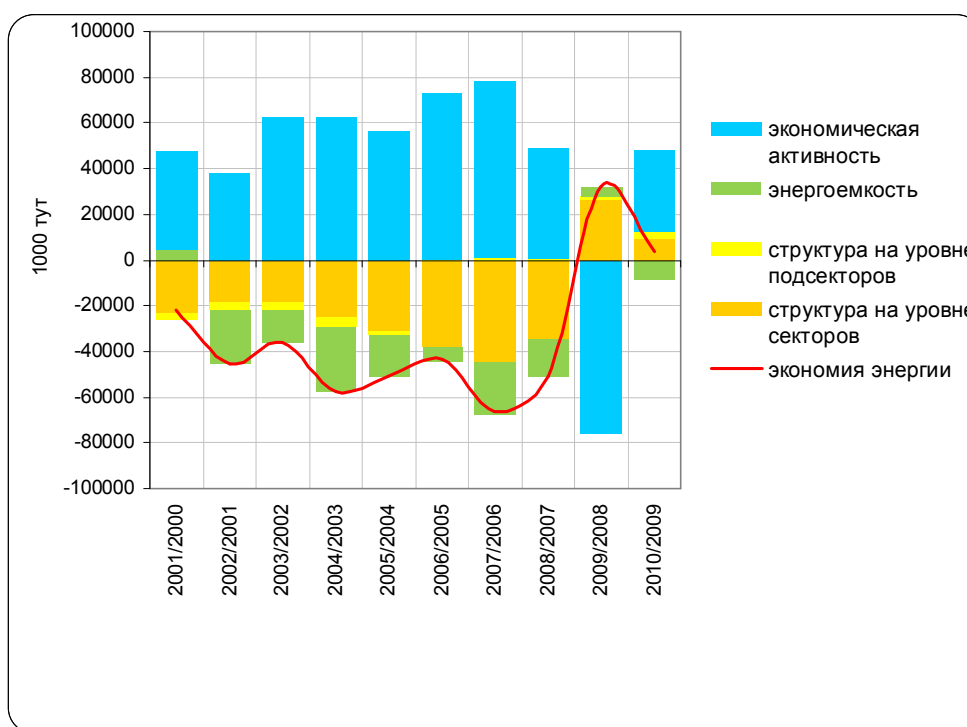
Рисунок 6.10 – Вклад отдельных факторов в динамику потребления первичной энергии в 2000-2010 гг. (анализ по 15 секторам)



Источник: ЦЭНЭФ

Результаты декомпозиционного анализа на уровне 44 секторов экономики позволяют выявить также вклад фактора структурных сдвигов в отдельных секторах энергопотребления: промышленности, транспорте и жилищном секторе. За счет фактора структурных сдвигов в отдельных секторах снижается вклад фактора «энергоёмкость». То есть часть снижения энергоёмкости в секторах, которые рассматриваются более детально, порождена не совершенствованием технологий, а изменением сочетания разных видов экономической активности в границах этих секторов. Вклад фактора структурных сдвигов в отдельных секторах энергопотребления оказался сравнительно небольшим (рис. 6.11).

Рисунок 6.11 – Вклад отдельных факторов в динамику потребления первичной энергии в 2000-2010 гг. (анализ по 44 секторам и подсекторам)



Источник: ЦЭНЭФ

Если в 2000-2008 гг. рост экономической активности вел к повышению потребления энергии, а структурные факторы и фактор снижения энергоёмкости его сдерживал, то в 2009 г. картина радикально изменилась. Кризисное падение ВВП в 2009 г. на 7,8% увлекло спрос на энергию вниз, а структурные факторы тормозили падение потребления энергии. Фактор энергоёмкости также впервые после 2001 г. работал не на снижение, а на рост потребления энергии. Из-за этих факторов процесс экономии энергии остановился, и экономия энергии, которая наблюдалась с 2000 г., превратилась в ее перерасход.

В 2010 г., несмотря на частичное восстановление экономики после кризиса, структурные сдвиги все еще работали против экономии энергии. Повышение энергоэффективности оказалось не способно перекрыть их действие. В результате 2010 г. оказался вторым подряд годом с перерасходом энергии. На самом деле, в 2010 г. энергоёмкость ВВП снизилась на 0,2% если объем потребления энергии оценивать как разность между производством первичной энергии, сальдо внешней торговли и изменения запасов. Суммирование потребления энергии по секторам никогда не дает точного совпадения с полученной таким образом оценкой. Разница называется статистической невязкой. В 2010 г. статистическая невязка оказалась невелика (табл. 6.1), но в 2009 г. она была более значительной. Этого несовпадения в динамике потребления первичной энергии после



коррекции на статистическую невязку хватило для того, чтобы изменить снижение энергоемкости ВВП на 0,2% на ее рост на 0,4% в 2010 г.

Очевидно, что главной движущей силой повышения энергоемкости ВВП в 2009 г. и ее практической стабилизации в 2010 г. оказались структурные сдвиги в экономике, порожденные кризисом. Деловая активность при производстве и распределении электроэнергии, тепловой энергии, переработке нефти, газа и угля, сельском и коммунальном хозяйстве, секторе услуг и в жилищном секторе снизилась в 2009 г. намного меньше, чем ВВП. В 2010 г. положительный вклад структурных сдвигов в рост потребления энергии определялся опережающим рост ВВП наращиванием производства электроэнергии, переработки нефти, промышленности, транспорта и использованием топлива на неэнергетические нужды.

Оценка экономии энергии за счет снижения энергоемкости в 2000-2010 гг. при анализе по 44 секторам и подсекторам дает разные результаты при использовании различных методик, применяемых в зарубежных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии (табл. 6.2).

Таблица 6.2 Оценка экономии энергии за счет снижения энергоемкости при анализе по 44 секторам и подсекторам по методикам, используемым в зарубежных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии (тыс. тут)

| | Данная работа | Австралия | Канада | Новая Зеландия | МЭА | Европейский Союз |
|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|------------------|
| Метод расчета | LMDI-I | LMDI-I | LMDI-I | LMDI-II | По индексу Ласпейреса | индекс ODEX |
| 2001/2000 | -4047 | -4047 | -4047 | -4043 | -4254 | -3907 |
| 2002/2001 | 23244 | 23244 | 23244 | 23247 | 23297 | 23622 |
| 2003/2002 | 14107 | 14107 | 14107 | 14111 | 13795 | 15101 |
| 2004/2003 | 28628 | 28628 | 28628 | 28633 | 28886 | 29460 |
| 2005/2004 | 18543 | 18543 | 18543 | 18552 | 18553 | 19027 |
| 2006/2005 | 6036 | 6036 | 6036 | 6043 | 5869 | 6454 |
| 2007/2006 | 22470 | 22470 | 22470 | 22508 | 21590 | 24328 |
| 2008/2007 | 16174 | 16174 | 16174 | 16180 | 15993 | 16599 |
| 2009/2008 | -4105 | -4105 | -4105 | -4135 | -5353 | -2805 |
| 2010/2009 | 8655 | 8655 | 8655 | 8673 | 8294 | 9520 |
| 2010/2000 | 126440 | 126440 | 126440 | 127094 | 132691 | 154293 |

Источник: ЦЭНЭФ

Использование метода LMDI-1 дает такой же или близкий результат, как и применение его же или основанных на нем расчетных методик в системах Австралии, Канады и Новой Зеландии. Применение расчетных методик МЭА Европейского союза (ODEX) дает завышенные оценки экономии энергии за счет вклада фактора снижения энергоемкости. Это характерно для этих методик и не является особенностью их применения для анализа данных по России⁴¹. Важно, что все методики дают одинаковую динамику вклада фактора энергоемкости (одинаково описывают все точки перегиба).

Обращает на себя внимание тот факт, что объемы экономии энергии за счет фактора «энергоемкость» в 2010 г. оказались существенно ниже, чем в 2002-2008 гг., а в 2009 г., как уже отмечалось, этот фактор сработал на рост энергоемкости. То есть вычленение

⁴¹ Ang, B.W., A.R. Mu and P. Zhou. 2010. Accounting framework for tracking energy efficiency trends. Energy Economics. 2010. 32, pp. 1209-1219.



структурных факторов не проясняет причин проявления парадокса российской политики – повышения энергоемкости после активизации деятельности в сфере энергоэффективности.

Требуется дальнейшая декомпозиция факторов, определивших динамику энергоемкости. На уровне детального представления структуры экономики показатель «энергоемкость» все еще отражает воздействие факторов, не отражающих совершенствование технологической структуры экономики. Среди них выделены четыре:

- ⇒ изменение уровня загрузки производственных мощностей. При росте загрузки энергоемкость снижается в силу сокращения отношения условно-постоянных расходов энергии (на освещение, отопление, вентиляцию производственных помещений, на работу оборудования на холостом ходу и т.п.) к объему производства продукции. Напротив, при снижении загрузки удельный расход энергии растет;
- ⇒ изменение цен на энергоносители относительно цен на готовую продукцию, услуги, работы в каждом секторе или относительно индекса цен потребительских товаров для жилищного сектора⁴²;
- ⇒ изменение погодных условий, выраженного показателем градусосутки отопительного сезона⁴³. При росте этого показателя растут расходы на отопление жилых и общественных зданий, а также производственных помещений;
- ⇒ благоустройство жилищного фонда и обеспеченность населения бытовыми приборами. Отнесение потребления энергии в жилищном секторе к площади жилых домов или к числу проживающих в качестве показателя удельного расхода энергии искажает оценку вклада технического фактора, поскольку может расти доля отапливаемых площадей, и (или) доля населения, оснащенного системами горячего водоснабжения, и (или) число и мощность электробытовых приборов на единицу жилой площади, на одно домохозяйство или на одного проживающего.

Результаты анализа с результатами выделения этих факторов представлены в таблице 6.3 и на рисунке 6.12. Вклад снижения энергоемкости в экономию энергии в 2000-2010 гг. снизился с 134,5 млн. тут при анализе 15 секторов до 126,4 млн. тут при анализе 44 секторов и подсекторов и до 83,5 млн. тут при учете факторов изменения уровня загрузки производственных мощностей, цен на энергоносители, климата, а также благоустройства и обеспеченности. Из всех факторов, которые в 2000-2010 гг. работали на экономию энергии, на долю сдвигов в отраслевой структуре пришлось 55%, сдвигов в структуре на уровне подсекторов – 2%, на изменение загрузки производственных мощностей – 15%, на рост цен – 5%, а на совершенствование оборудования и технологий – 23%, или немногим менее четверти.

⁴² Для потребителей важна не столько динамика цен на энергоносители, сколько динамика доли расходов на их приобретение в доходе. См. И.А. Башмаков. Пороговые значения способности и готовности населения оплачивать жилищно-коммунальные услуги. «Вопросы экономики» №4, 2004; I. Bashmakov. Three Laws of Energy Transitions. Energy Policy. July 2007.

⁴³ Нормирование удельных расходов энергии на отопление ведется в последние годы в расчете на 1 м² на градусосутки отопительного периода. Градусосутки отопительного периода для Российской Федерации в целом оценены как средняя величина по 20 регионам России.



Таблица 6.3 Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления первичной энергии в 2000-2010 гг. по 44 секторам и подсекторам и по 8 факторам (тыс. тут)

| Годы | структура на уровне секторов | структура на уровне подсекторов | энергоёмкость оборудования | производство | климат | загрузка ПМ | благоустройство и обеспеченность | цены | всего |
|------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| 2001/2000 | -23492 | -2179 | -3425 | 43230 | 7783 | -1600 | 1787 | -500 | 21604 |
| 2002/2001 | -18679 | -3257 | -19848 | 38014 | -1155 | -1534 | 1524 | -2229 | -7163 |
| 2003/2002 | -18726 | -3197 | -2868 | 62499 | -554 | -10574 | 2294 | -2412 | 26461 |
| 2004/2003 | -25104 | -4173 | -17176 | 62586 | -464 | -12187 | 1984 | -789 | 4678 |
| 2005/2004 | -31620 | -710 | -6957 | 56119 | -4742 | -9663 | 3350 | -538 | 5240 |
| 2006/2005 | -37872 | 440 | -1582 | 72509 | 7683 | -13014 | 2414 | -1540 | 29038 |
| 2007/2006 | -44885 | 847 | 265 | 77365 | -6511 | -17095 | 2241 | -1406 | 10822 |
| 2008/2007 | -34951 | 196 | -9913 | 48499 | -7827 | 611 | 1168 | -232 | -2449 |
| 2009/2008 | 26361 | 1512 | -31397 | -76055 | 11962 | 27366 | 733 | -4514 | -44032 |
| 2010/2009 | 8932 | 3289 | 6981 | 36229 | 5560 | -18432 | 1135 | -3907 | 39789 |
| 2010/2000 | -197841 | -7552 | -83513 | 416317 | 11539 | -55041 | 17757 | -17678 | 83988 |

Источник: ЦЭНЭФ

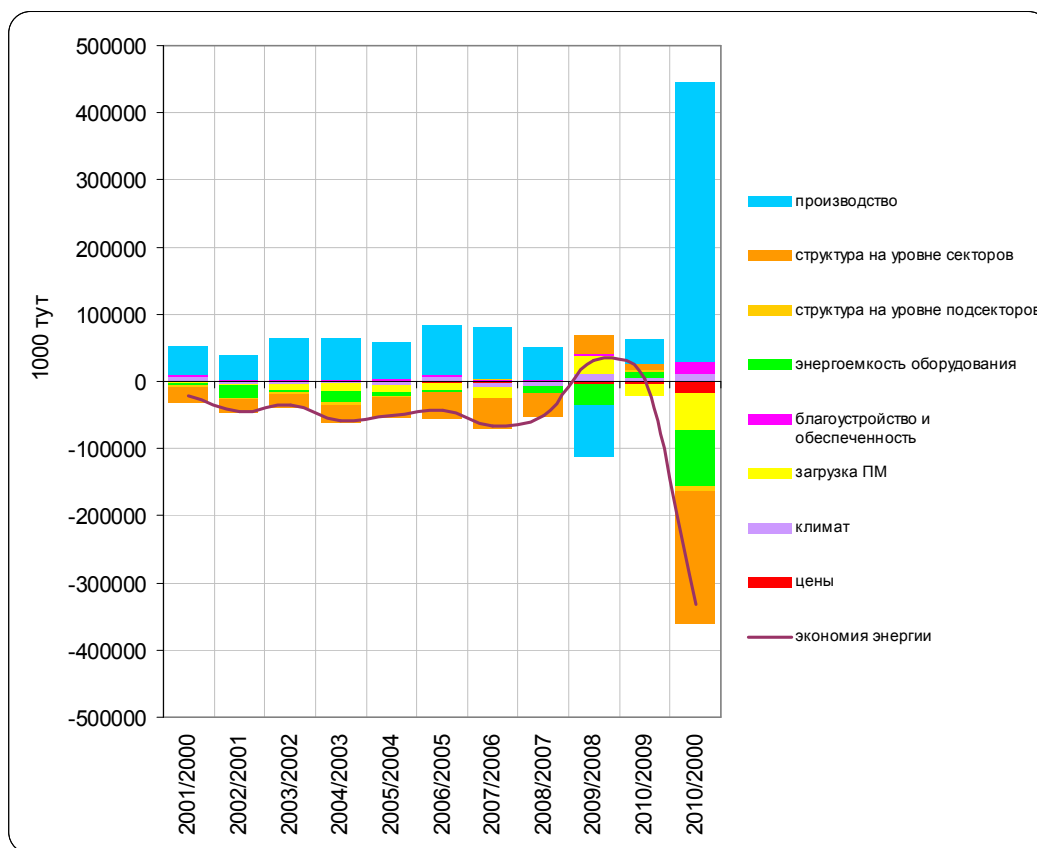
Вывод о том, то в 2009 г. энергоэффективность оборудования снижалась, как следует из анализа, вычлняющего только структурные факторы (рис. 6.10 и 6.11), оказался неверным. Напротив, она повышалась (рис. 6.12). При этом вклад в экономию энергии за счет совершенствования технологий по величине оказался самым большим с 2000 г. Отчасти это произошло за счет отказа от использования самых устаревших технологий. Снижение загрузки производственных мощностей и более холодная погода маскировали этот факт и искажали влияние технологического фактора.

В 2010 г. число градусосуток отопительного периода было еще выше, чем в 2009 г. Это способствовало росту потребления энергии. Восстановление экономического роста шло в основном за счет повышения загрузки производственных мощностей, что, напротив, тормозило рост спроса на энергию. Роль технологического фактора в 2010 г. оказалась негативной. Рост относительных цен на энергоносители, как и в 2009 г., сдерживал рост потребления энергии. Рост благоустройства жилья и обеспеченности бытовыми приборами породил прирост потребления энергии на всем временном интервале анализа.

Таким образом:

- ⇒ главными факторами роста энергоёмкости в 2009 г. стали: порожденные кризисом структурные сдвиги в экономике и снижение загрузки производственных мощностей, а также более холодная, чем в 2008 г., погода при ускорении снижения технологической энергоэффективности;
- ⇒ главными факторами стабилизации энергоёмкости в 2010 г. стали: структурные сдвиги в экономике, рост энергоёмкости, а также еще более холодная чем, в 2009 г. погода, которые в значительной мере были нейтрализованы ростом загрузки производственных мощностей при выходе из кризиса.

Рисунок 6.12 – Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления первичной энергии в 2000-2010 гг., по 44 секторам и подсекторам и по 8 факторам



Источник: ЦЭНЭФ

6.5. Динамика индексов энергоэффективности в 2000-2010 гг.

Динамика потребления первичной энергии, ВВП и энергоёмкости ВВП, а также индексов энергоэффективности, показана на рисунке 6.13 и в таблице 6.4. В 2000-2010 гг. энергоёмкость ВВП снизилась на 32%, или в среднем в год снижалась на 3,8% (табл. 6.4). Однако, как было показано выше, существенная часть этого эффекта определялась структурными сдвигами в экономике, которые работали в направлении понижения энергоёмкости в 2000-2008 гг. и в противоположном направлении – в 2009-2010 гг.

Исключение влияния структурных факторов позволяет оценить динамику индекса энергоэффективности (ИЭНЭФ).⁴⁴ Степень детализации структуры секторов потребления энергии влияет на результат такой оценки. Получается, что за счет снижения энергоёмкостей по отдельным видам деятельности ИЭНЭФ-15 в 2000-2010 гг. снизился на 14%, или на 1,5% в год, а ИЭНЭФ-44 снизился на 13%, или на 1,4% в год. Таким образом, структурные сдвиги в экономике были основным драйвером снижения энергоёмкости ВВП в 2000-2010 гг.

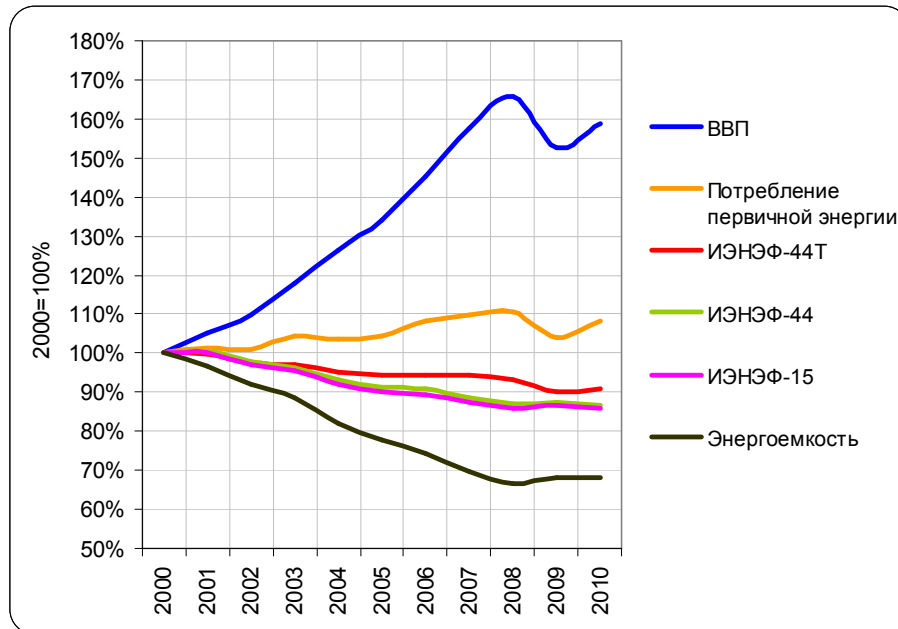
Вычленение в процессе декомпозиционного анализа влияния технологического фактора позволяет оценить динамику индекса энергоэффективности за счет совершенствования

⁴⁴ См. раздел 4.



технологической базы экономики – ИЭНЭФ-44Т. Этот индекс снизился в 2000-2010 гг. на 9%, или в среднем снижался на 0,9% в год.

Рисунок 6.13 – Динамика энергоемкости ВВП и индекса энергоэффективности (ИЭНЭФ) в 2000-2010 гг.



ИЭНЭФ-15 – индекс энергоэффективности при выделении 15 секторов экономики; ИЭНЭФ-44 – индекс энергоэффективности при выделении 44 секторов и подсекторов экономики; ИЭНЭФ-44Т – индекс энергоэффективности при выделении 44 секторов и подсекторов экономики с выделением влияния технологического фактора.

Источник: ЦЭНЭФ

Таким образом:

- ⇒ индекс энергоэффективности в 2000-2010 снизился только на 9%;
- ⇒ вклад технологического фактора в снижение энергоемкости ВВП не превысил 1% в год;
- ⇒ это примерно так же, как и в развитых странах;
- ⇒ сократить технологический разрыв с ними в уровне энергоэффективности в 2000-2010 гг. практически не удалось;
- ⇒ реализация федеральной политики повышения энергоэффективности должна быть нацелена на более динамичное сокращение индекса энергоэффективности и сокращение технологического разрыва с ведущими странами для повышения конкурентоспособности российской экономики.

Оценка динамики индекса энергоэффективности в странах, имеющих системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии, проводится по-разному. Ни в одной из них нет уровня детализации факторов, которые использовались для оценки ИЭНЭФ-44Т в данной работе. Все они, в основном, вычлениают факторы структуры и технологии. Сравнение результатов при использовании применяемых в этих системах методов оценки индексов энергоэффективности приведено в таблице 6.5. Получаются довольно близкие результаты при использовании всех методик расчета.



Таблица 6.4 Динамика энергоемкости ВВП и индексов энергоэффективности (%)

| Годы | Энергоемкость ВВП | ИЭНЭФ-15 | ИЭНЭФ-44 | ИЭНЭФ-44Т |
|--|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| ежегодные значения | | | | |
| 2001/2000 | 96,6% | 100,2% | 100,5% | 99,6% |
| 2002/2001 | 95,2% | 97,0% | 97,4% | 97,7% |
| 2003/2002 | 96,3% | 98,1% | 98,4% | 99,7% |
| 2004/2003 | 92,9% | 96,4% | 96,9% | 98,1% |
| 2005/2004 | 94,6% | 97,9% | 98,0% | 99,2% |
| 2006/2005 | 95,8% | 99,4% | 99,3% | 99,8% |
| 2007/2006 | 93,5% | 97,7% | 97,6% | 100,0% |
| 2008/2007 | 95,7% | 98,3% | 98,3% | 99,0% |
| 2009/2008 | 102,3% | 100,6% | 100,4% | 96,7% |
| 2010/2009 | 99,8% | 99,4% | 99,1% | 100,8% |
| цепные индексы | | | | |
| 2001/2000 | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 2002/2000 | 96,6% | 100,2% | 100,5% | 99,6% |
| 2003/2000 | 91,9% | 97,2% | 97,8% | 97,4% |
| 2004/2000 | 88,5% | 95,4% | 96,3% | 97,0% |
| 2005/2000 | 82,2% | 92,0% | 93,3% | 95,2% |
| 2006/2000 | 77,8% | 90,0% | 91,4% | 94,5% |
| 2007/2000 | 74,5% | 89,5% | 90,8% | 94,3% |
| 2008/2000 | 69,6% | 87,5% | 88,7% | 94,3% |
| 2009/2000 | 66,6% | 86,0% | 87,2% | 93,3% |
| 2010/2000 | 68,2% | 86,5% | 87,6% | 90,2% |
| Снижение в среднем за год в 2000-2010 гг. | -3,78% | -3,63% | -1,48% | -1,40% |

Источник: ЦЭНЭФ

Таблица 6.5 Оценка динамики индекса энергоэффективности при анализе по 44 секторам и подсекторам по методикам, используемым в зарубежных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии (%)

| | Данная работа | Австралия | Канада | Новая Зеландия | США | МЭА | ЕС |
|---------------|---------------|-----------|--------|----------------|---------|-------------------|-------------|
| Метод расчета | LMDI-I | LMDI-I | LMDI-I | LMDI-II | LMDI-II | индекс Ласпейреса | индекс ODEX |
| 2000 | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 2001 | 100,5% | 100,5% | 100,5% | 100,5% | 100,5% | 100,5% | 100,4% |
| 2002 | 97,8% | 97,8% | 97,8% | 97,9% | 97,8% | 97,9% | 97,8% |
| 2003 | 96,3% | 96,3% | 96,2% | 96,3% | 96,3% | 96,4% | 96,2% |
| 2004 | 93,3% | 93,3% | 93,2% | 93,4% | 93,3% | 93,4% | 93,2% |
| 2005 | 91,4% | 91,4% | 91,3% | 91,5% | 91,4% | 91,6% | 91,3% |
| 2006 | 90,8% | 90,8% | 90,7% | 90,9% | 90,8% | 91,0% | 90,6% |
| 2007 | 88,7% | 88,7% | 88,5% | 88,8% | 88,7% | 89,0% | 88,4% |
| 2008 | 87,2% | 87,2% | 87,0% | 87,4% | 87,2% | 87,5% | 86,8% |
| 2009 | 87,6% | 87,6% | 87,4% | 87,8% | 87,6% | 88,0% | 87,1% |
| 2010 | 86,8% | 86,8% | 86,5% | 87,0% | 86,7% | 87,2% | 86,2% |

Источник: ЦЭНЭФ

Наиболее значимой роль технологического фактора (за счет ввода новых и модернизации имевшихся мощностей) была в определении динамики энергоемкости при передаче электроэнергии, добыче и переработке угля, производстве железорудных окатышей, синтетических каучука и аммиака, целлюлозно-бумажной, пищевой и прочих отраслях промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на железнодорожном транспорте.



7. Промышленность

7.1. Потребление энергии в промышленности

Российская статистика потребления энергии в промышленности позволяет получить данные о динамике потребления энергии по большому перечню промышленных продуктов. В последние годы этот перечень расширился. Однако по многим продуктам, по которым статистическое наблюдение введено сравнительно недавно, еще нет возможности получить продолжительные динамические ряды данных для проведения декомпозиционного анализа. К сожалению, данные доступны только по потреблению энергии крупными и средними предприятиями. По мелким предприятиям, на долю которых может приходиться значительный объем производства продукции, статистическое наблюдение не ведется. В 2009 и 2010 гг. в России было добыто 494 и 505 млн. т нефти соответственно. Однако статистика по потреблению энергии в нефтедобыче отражает предприятия, которые добыли соответственно 399 и 416 млн. т нефти. Остальное пришлось на структуры, зарегистрированные как малые предприятия.

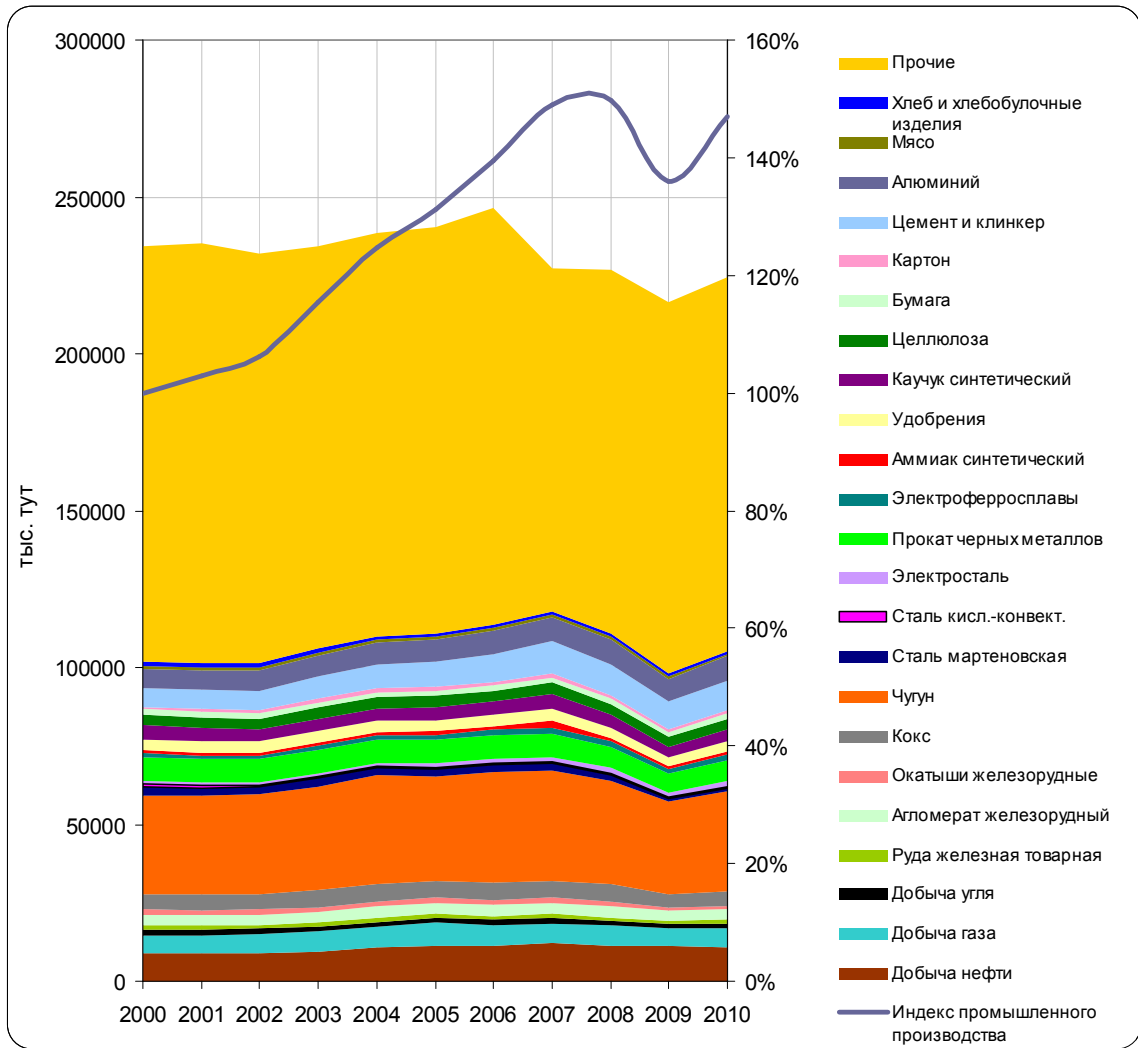
При отборе промышленных продуктов для проведения анализа использовались соображения значимости объемов потребления энергии и минимизации искажающей роли малых предприятий при производстве промышленной продукции. В итоге выделено 23 промышленных продукта, а также «прочая промышленность» как отдельный продукт. Российская статистика не детализирует потребление энергии в машиностроении, поэтому возможности детализации агрегата «прочая промышленность» крайне ограничены. В итоге, в анализе используется 24 промышленных продукта, динамика потребления энергии которыми показана на рис. 7.1. Следует отметить, что в состав промышленности не включены процессы преобразования энергии (выработка электрической энергии и тепловой энергии не только на станциях общего пользования, но и на промышленных блок-станциях и котельных), а также процессы переработки и обогащения нефти, газа и угля. Вместе с тем в состав промышленности включены процессы добычи топлива.

На долю «прочей промышленности» в 2000 г. пришлось 56,6% всего промышленного потребления конечной энергии, а в 2010 г. – 53,1%. На втором месте – производство чугуна (13,5% в 2000 г. и 14,3% в 2010 г.). За ним следуют добыча нефти (4,8% в 2010 г.), производство цемента и клинкера (4,3%), производство алюминия, электростали (4,3%), производство проката черных металлов (2,9%), добыча газа (2,3%), производство кокса (2,1%), производство удобрений, каучука синтетического, целлюлозы (по 1,6% каждый), производство агломерата железорудного (1,5%). На каждый из остальных продуктов пришлось менее 1%.

В 2000-2008 гг. практически удалось разорвать связь между ростом промышленного производства в России и динамикой энергопотребления. В 2002-2006 гг. потребление энергии в промышленности росло, а затем стало снижаться, и в 2010 г. оно было почти на 10 млн. тут ниже уровня 2000 г. Наиболее значительным оказалось снижение потребления «прочей промышленности»: 13,5 млн. тут. За ней следовали сталь мартеговская и прокат черных металлов, производство железорудных окатышей и добыча угля. Напротив, в 2000-2010 гг. потребление энергии выросло значительно при производстве цемента, алюминия, электростали и в процессах добычи нефти и газа.

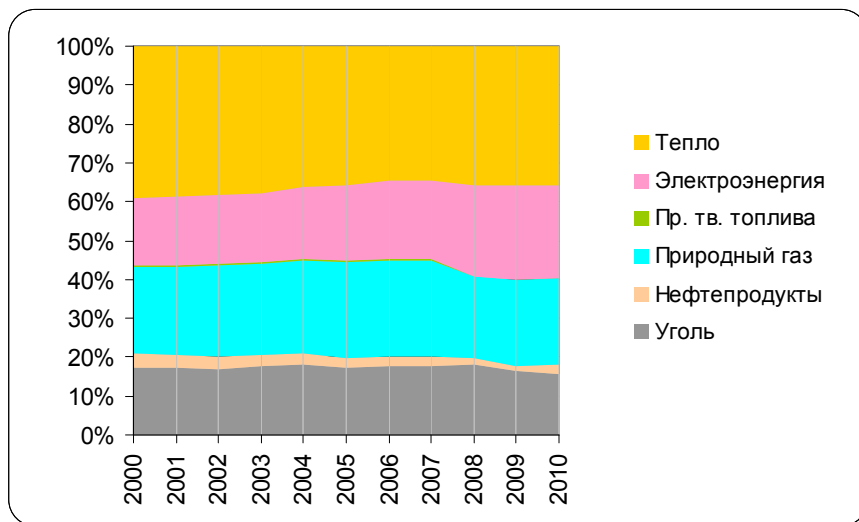


Рисунок 7.1 – Динамика потребления энергии в промышленности



Источник: ЦЭНЭФ

Рисунок 7.2 – Структура потребления энергоносителей в промышленности



Источник: ЦЭНЭФ



В структуре потребления энергоносителей в промышленности доминирует централизованное тепло. Однако его доля сократилась с 39% в 2000 г. до 35,6% в 2010 г. Доля угля также снизилась с 17,1% до 15,5%. Доля природного газа осталась практически неизменной, а доля электроэнергии выросла с 17,2% до 23,6%.

7.2. Факторы, определявшие динамику потребления энергии в промышленности в 2000-2010 гг.

Неравномерность динамики потребления энергии в промышленности порождается как неравномерностью динамики выпуска продукции, так и неравномерностью снижения удельных расходов энергии. Первый аспект отражается фактором структурных сдвигов в промышленности. Кроме того, в анализе выделяется воздействие следующих факторов: изменение технологической энергоемкости, уровня загрузки производственных мощностей, цен на энергоносители (относительно цен на готовую продукцию) и погодных условий. Результаты анализа с выделением вклада этих факторов представлены в таблице 7.1 и на рисунке 7.3.

Таблица 7.1 Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления энергии в промышленности в 2000-2010 гг. по 24 продуктам (тыс. тунт)

| Годы | Структура промышленного производства | Энергоемкость оборудования | Индекс промышленного производства | Климат | Загрузка ПМ | Цены | Всего |
|------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------|---------------|--------------|---------------|
| 2001/2000 | -2289 | -5081 | 6716 | 3676 | -1600 | -418 | 1004 |
| 2002/2001 | -2997 | -4441 | 7130 | -538 | -1534 | -1330 | -3710 |
| 2003/2002 | -146 | -5730 | 19868 | -257 | -10574 | -498 | 2663 |
| 2004/2003 | -1708 | -1159 | 18202 | -216 | -12187 | 1356 | 4289 |
| 2005/2004 | -2055 | 1526 | 11910 | -2216 | -9663 | 2065 | 1566 |
| 2006/2005 | 734 | -723 | 14860 | 3647 | -13014 | 510 | 6014 |
| 2007/2006 | -1494 | -12951 | 15549 | -2967 | -17095 | 147 | -18811 |
| 2008/2007 | -4919 | 6607 | 1358 | -3456 | 611 | -701 | -501 |
| 2009/2008 | -8612 | -10508 | -21626 | 5372 | 27366 | -2334 | -10342 |
| 2010/2009 | 4993 | 1930 | 17378 | 2491 | -18432 | -449 | 7910 |
| 2010/2000 | -16301 | -30034 | 88121 | 5317 | -55041 | -1981 | -9918 |

Источник: ЦЭНЭФ

Фактор изменения структуры промышленного производства практически все время работал на снижение потребления энергии в промышленности, кроме двух лет: 2006 г. и 2010 г. В кризисном 2009 г. этот фактор способствовал существенному снижению как энергопотребления, так и энергоемкости промышленного производства. Подъем промышленного производства за счет более энергоемких отраслей способствовал росту энергопотребления в 2010 г.

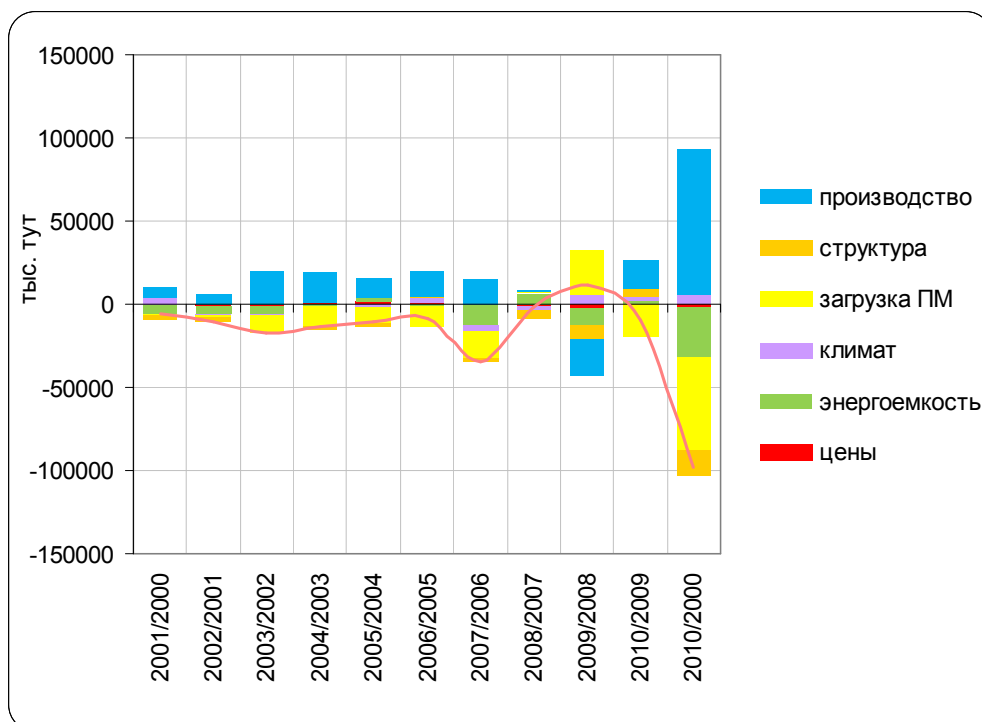
Фактор энергоемкости оборудования также внес заметный вклад в ограничение роста потребления энергии в промышленности. Однако по уровню значимости его вклад оказался ниже, чем влияние фактора изменения загрузки производственных мощностей. Три года из десяти технологии не тормозили рост спроса на энергию в промышленности: 2005 г., 2008 г. и 2010 г. В 2005 г. это стало результатом роста энергоемкости в «прочей промышленности». Следует отметить, что надежность оценок потребления энергии в «прочей промышленности» оставляет желать лучшего. Изменения системы статистического учета осложнили оценку этого показателя, начиная с 2007 г. Это



отразилось на оценке вклада данного фактора в 2007/2008 гг. Кроме того, в 2007 г. была пересмотрена статистика по энергопотреблению при производстве синтетического аммиака, цемента и клинкера.

В кризисном 2009 г. влияние технологического фактора оказалось наиболее значимым. Предприятия отказывались от использования самых устаревших технологий и консервировали или демонтировали соответствующие мощности. В 2010 г. технологический фактор вновь не сдерживал рост потребления энергии в основном за счет роста энергоемкости в «прочей промышленности». Поскольку этот показатель не дезагрегируется, выяснить причины такого роста статистически невозможно.

Рисунок 7.3 – Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления энергии в промышленности



Источник: ЦЭНЭФ

Резкое падение промышленного производства в 2009 г. на 9,3%, а в обрабатывающей промышленности – на 15,2% привело к тому, что в 2009 г. фактор динамики промышленного производства обусловил снижение спроса на энергию в промышленности почти на 22 млн. туг. В 2010 г., напротив, восстановление промышленного роста способствовало приросту потребности в энергии почти столь же значимому, как и в 2003 г. и 2004 г.

Изменение погодных условий, как правило, не ассоциируется с промышленностью. Однако на долю промышленных зданий приходится около 30-40% площади всех отапливаемых зданий. Поэтому в обрабатывающей промышленности довольно заметна доля тепловой энергии, которая используется не в технологических процессах, а на отопление и вентиляцию промышленных зданий. Эта часть потребления энергии чувствительна к климату. В теплых 2007 г. и 2008 г. мягкие зимы тормозили рост потребления энергии, а в холодных 2009 г. и 2010 г., напротив, способствовали его росту.

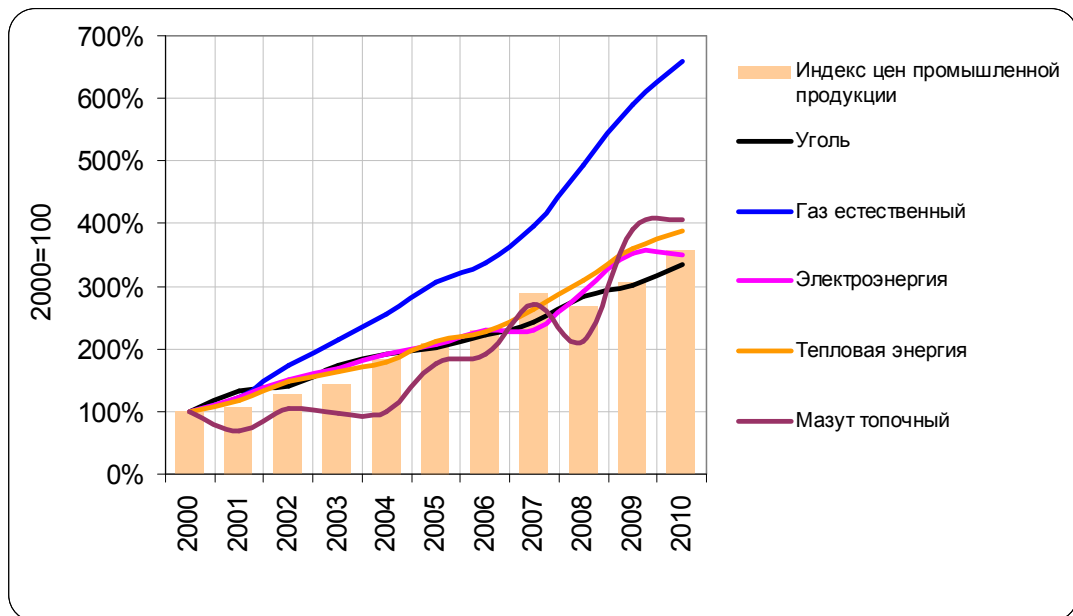
Восстановительный рост промышленности в 2000-2008 гг. проходил не столько за счет новых инвестиций в технологии, сколько за счет роста загрузки построенных ранее



производственных мощностей. Это позволяло наращивать производство промышленной продукции без существенного прироста энергопотребления и способствовало разрыву динамики индекса промышленного производства и динамики энергопотребления в промышленности (рис. 7.1).

Фактор относительных цен на энергию в одни годы тормозил рост спроса на энергию, а в другие – нет. Промышленный бум 2004-2007 гг. привел к быстрому росту цен на продукцию промышленности, от которого отставал рост на энергоносители (рис. 7.4). Естественным следствием этого стало относительное удешевление энергии и снижение внимания к экономии этой составляющей производственных затрат.

Рисунок 7.4 – Динамика цен на энергоносители для промышленности и индекса цен промышленного производства



Источник: ЦЭНЭФ

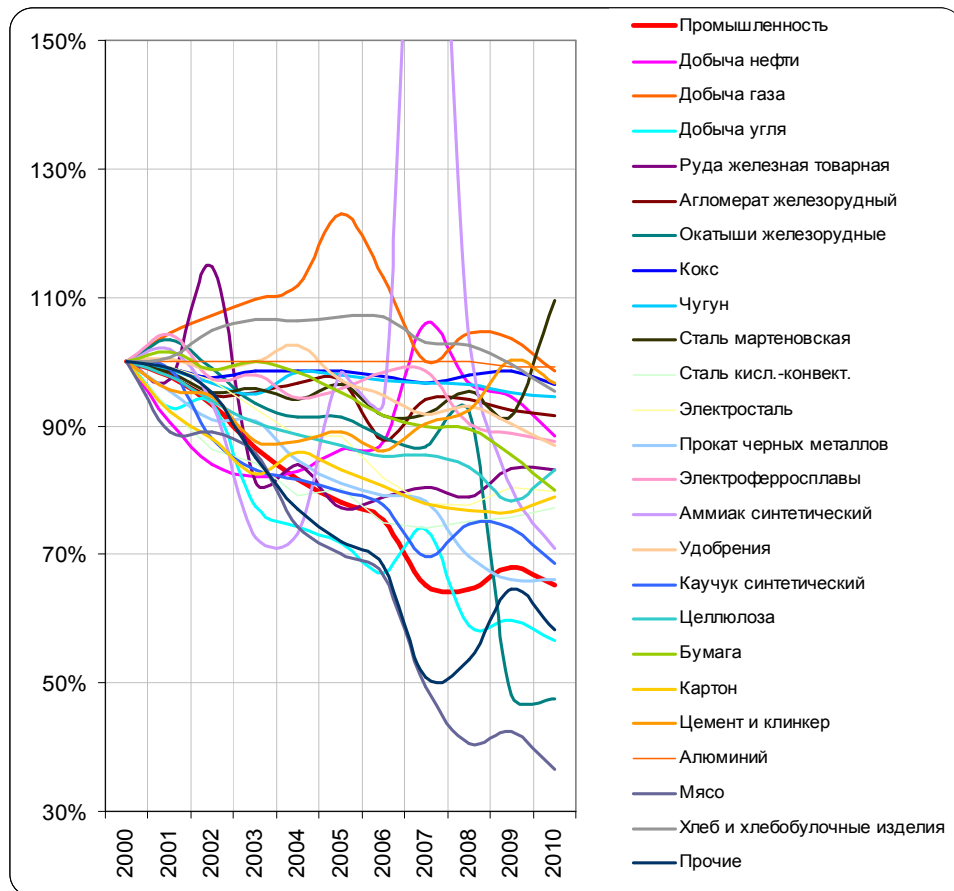
Падение цен на промышленную продукцию в кризисных 2008 г. и 2009 г. при продолжающемся росте цен на энергоносители способствовало торможению роста спроса на энергию в промышленности. Такая ситуация сохранилась и в 2010 г.

7.3. Динамика индекса энергоэффективности в промышленности

Динамика удельных расходов энергии на производство различных видов промышленной продукции напоминает клубок спутанных цветных нитей (рис. 7.5). Чтобы выявить порядок, скрытый в этом «броуновском движении», нужны интегральные индикаторы, характеризующие прогресс повышения энергоэффективности.

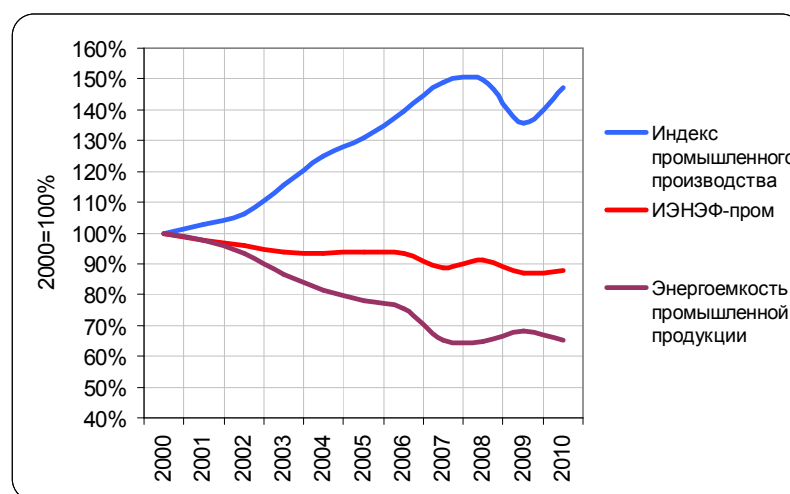


Рисунок 7.5 – Динамика энергоемкости производства отдельных видов промышленной продукции



Источник: ЦЭНЭФ

Рисунок 7.6 – Динамика энергоемкости ВВП и индекса энергоэффективности (ИЭНЭФ) в 2000-2010 гг.



ИЭНЭФ-пром – индекс энергоэффективности в промышленности при выделении 24 видов промышленной продукции и факторов уровня загрузки производственных мощностей, цен на энергоносители, а также погодных условий.

Источник: ЦЭНЭФ



В качестве индекса, отражающего динамику энергоемкости промышленности, могут использоваться энергоемкость добавленной стоимости в промышленности (этот показатель зависит от соотношения затрат и выручки в промышленности и не самым лучшим образом отражает динамику физических объемов промышленного производства); энергоемкость отгруженной промышленной продукции (этот показатель дается статистикой в текущих ценах и не может быть использован для анализа динамики энергоэффективности в промышленности); отношение потребления энергии в промышленности к индексу промышленного производства. В данной работе использован последний показатель, поскольку для анализа, в первую очередь, важна именно динамика, а не абсолютное значение показателя.

В динамике любого из перечисленных показателей существенную роль играют структурный фактор, а также факторы уровня загрузки производственных мощностей, цен на энергоносители и погодных условий. Для вычленения вклада изменения энергоемкости за счет совершенствования технологий оценивается индекс энергоэффективности для промышленности (ИЭНЭФ-пром). Его динамика показана на рис. 7.6. Если энергоемкость промышленного производства снизилась в 2000-2010 гг. на 34,8%, то есть снижалась в среднем на 4,2% в год, то индекс энергоэффективности в промышленности снизился на 22,3%, или снижался в среднем на 1,3% в год. Это ровно такое же снижение, как в США в 1985-2004 гг. и в ЕС в 2000-2009 гг., но выше, чем в Канаде (раздел 5). Таким образом, на фактор совершенствования технологической базы промышленного производства пришлось только 30% снижения энергоемкости промышленности. Напротив, в США на этот фактор пришлось 65% снижения энергоемкости в промышленности. Оставшиеся 70% пришлось на изменение структуры промышленного производства, фактор загрузки производственных мощностей, изменения цен на энергоносители и погодных условий.

Оценка динамики индекса энергоэффективности в промышленности в странах, имеющих системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии, не выделяет факторы загрузки производственных мощностей, изменения цен на энергоносители и изменения погодных условий. Они, в основном, вычленяют факторы структуры и технологий. Сравнение результатов при использовании применяемых в этих системах методов оценки индексов энергоэффективности в промышленности приведено в таблице 7.2.

Таблица 7.2 Оценка динамики индекса энергоэффективности в промышленности при расчете по методикам, используемым в зарубежных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии (%)

| | Данная работа | Австралия | Канада | Новая Зеландия | США | МЭА* | ЕС* |
|------|---------------|-----------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| 2000 | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 2001 | 97,9% | 97,9% | 97,8% | 97,9% | 97,9% | 97,6% | 98,5% |
| 2002 | 96,0% | 96,0% | 96,0% | 96,0% | 96,0% | 93,2% | 95,3% |
| 2003 | 93,7% | 93,7% | 93,6% | 93,8% | 93,7% | 86,5% | 88,5% |
| 2004 | 93,2% | 93,2% | 93,2% | 93,3% | 93,2% | 81,6% | 83,9% |
| 2005 | 93,8% | 93,8% | 93,7% | 93,9% | 93,8% | 78,1% | 81,0% |
| 2006 | 93,5% | 93,5% | 93,5% | 93,6% | 93,5% | 75,4% | 77,9% |
| 2007 | 88,6% | 88,6% | 88,5% | 88,6% | 88,6% | 65,2% | 67,5% |
| 2008 | 91,2% | 91,2% | 91,1% | 91,2% | 91,2% | 64,6% | 68,4% |
| 2009 | 87,0% | 87,0% | 86,9% | 87,0% | 87,0% | 68,0% | 74,7% |
| 2010 | 87,7% | 87,7% | 87,7% | 87,8% | 87,7% | 65,2% | 70,0% |

* учитывается только фактор структурных сдвигов в промышленности

Источник: ЦЭНЭФ



Получаются довольно близкие результаты при использовании всех методик расчета, если в расчет принимаются все факторы. В системе учета ЕС учтены только структурные сдвиги, а в системе учета МЭА даже они не учтены. Поэтому оценка динамики индекса энергоэффективности в промышленности в этих двух системах существенно завышена.

Резюмируя, следует отметить, что на фактор совершенствования технологической базы производства в промышленности пришлось только 30% снижения энергоемкости промышленной продукции, и за счет этого фактора индекс энергоэффективности в промышленности снизился в 2000-2010 гг. на 22,3%, или в среднем на 1,3% в год. В кризисном 2009 г. снижение загрузки производственных мощностей существенно затормозило падение потребления энергии в промышленности и стало важным фактором роста ее энергоемкости. В 2010 г., напротив, именно этот фактор стал основным драйвером снижения энергоемкости.



8. Транспорт

8.1. Потребление энергии на транспорте

Российская статистика потребления энергии на транспорте недостаточно развита. Она дает возможность выделить четыре вида транспорта: железнодорожный, трубопроводный, автомобильный и прочий транспорт. Потребление энергии железнодорожным транспортом не разделяется на пассажирский и грузовой, но есть возможность выделения потребления энергии на электротягу и на работу тепловозов и дизельпоездов. В трубопроводном транспорте выделяются газопроводный, нефтепроводный и нефтепродуктопроводный. На долю газопроводного транспорта приходится 94% всего потребления энергии трубопроводным транспортом, а на долю нефтепродуктопроводного – только 0,1%.

Что касается автомобильного транспорта, то статистика не дает данных о потреблении им энергии. Эти данные приходится оценивать. Используются два подхода к оценке потребления топлива автомобильным транспортом. Первый основан на скрупулезном анализе форм статистической отчетности и данных статистики по использованию жидкого топлива. Второй – на анализе динамики парка и характеристик автомобилей разного назначения, использующих разные виды жидкого топлива и природный газ. В последнем случае получается более высокая оценка потребления, но она дает меньшую статистическую невязку при формировании баланса жидкого топлива. В данной работе использовались результаты оценок, полученных при применении именно этого подхода.

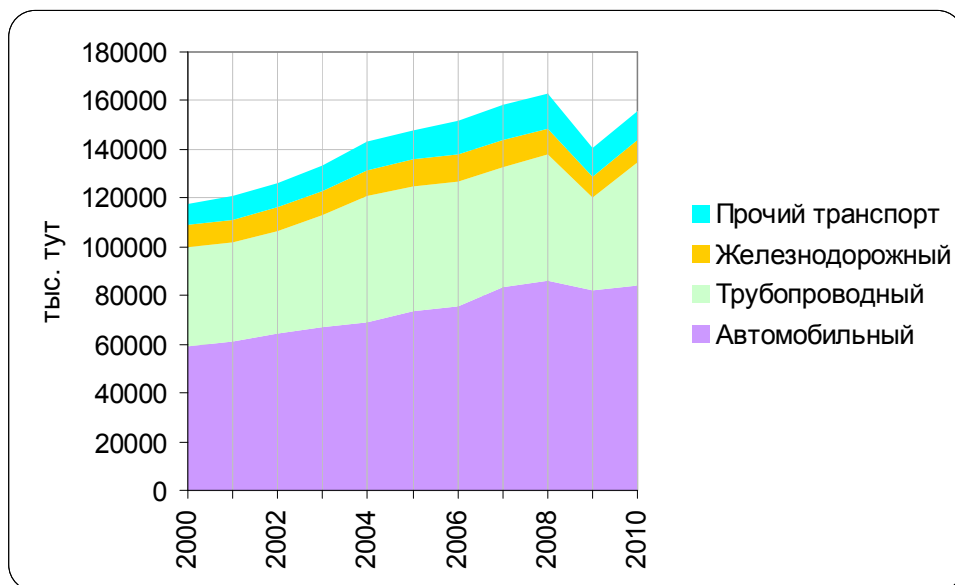
Прочий транспорт включает городской электрифицированный транспорт, водный и воздушный транспорт. Данные по потреблению энергии электрифицированным транспортом статистика дает. В отношении водного транспорта статистика дает сведения о расходе энергии на работу теплоходов морского транспортного флота (без буксирных) и на работа теплоходов речного флота. Данные по потреблению энергии воздушным транспортом оцениваются. Таким образом, потенциально в транспорте можно выделить следующие 11 видов деятельности: электротягу железнодорожных поездов; тепловозы и дизельпоезда; газопроводный, нефтепроводный и нефтепродуктопроводный транспорт; электротягу метро, трамваев и троллейбусов; теплоходы морского транспортного флота и теплоходы речного флота; воздушный транспорт. При развитии анализа нужно двигаться в этом направлении его детализации. В данной же работе выделяется только 4 вида транспорта: железнодорожный, трубопроводный, автомобильный и прочий транспорт.

Потребление энергии на транспорте в 2000-2010 гг. обеспечило основной прирост потребления первичной энергии в России. В 2000-2008 гг. оно выросло на 45,6 млн. тут, в т.ч. на железнодорожном транспорте на 1,3 млн. тут, на трубопроводном – на 10,7 млн. тут, на автомобильном – на 27,3 млн. тут, на прочем транспорте – на 6,3 млн. тут (рис. 8.1). То есть на долю автомобильного транспорта пришлось 60% прироста. Для периода 2000-2010 гг. эта доля повышается до 66%, или до двух третей, поскольку именно автомобильный транспорт оказался менее всего уязвимым к кризисному снижению грузооборота в 2009-2010 гг. По оценкам ЦЭНЭФ, прирост потребления топлива легковыми автомобилями составил в 2000-2010 гг. 18,8 млн. тут, или 50% всего прироста потребления энергии на транспорте. Это существенно больше прироста потребления энергии электростанциями или жилыми и общественными зданиями вместе взятыми.

Таким образом, главным источником прироста потребления на транспорте явился рост парка легковых автомобилей. За ними следуют трубопроводный транспорт и прочие автотранспортные средства (грузовики и автобусы).



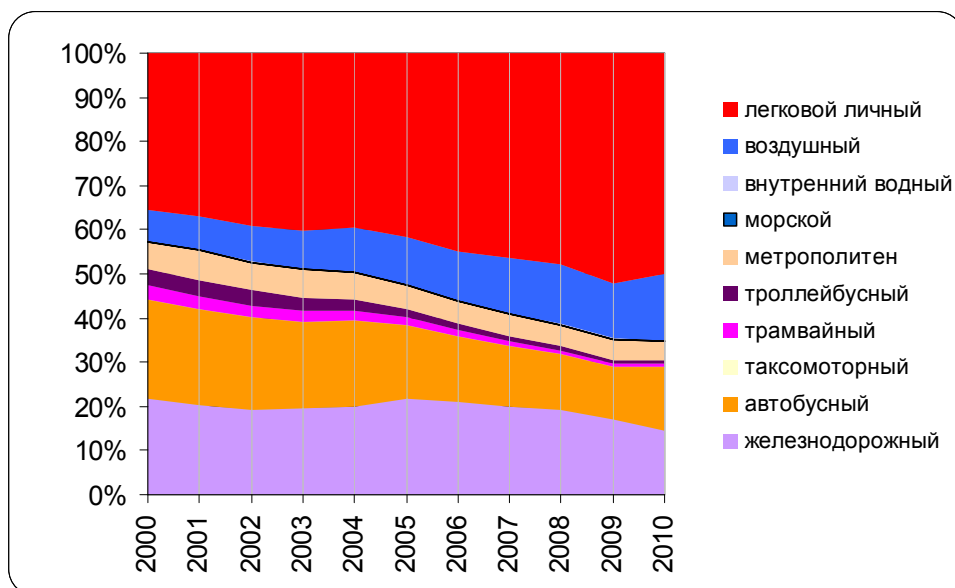
Рисунок 8.1 – Динамика потребления энергии на транспорте



Источник: ЦЭНЭФ

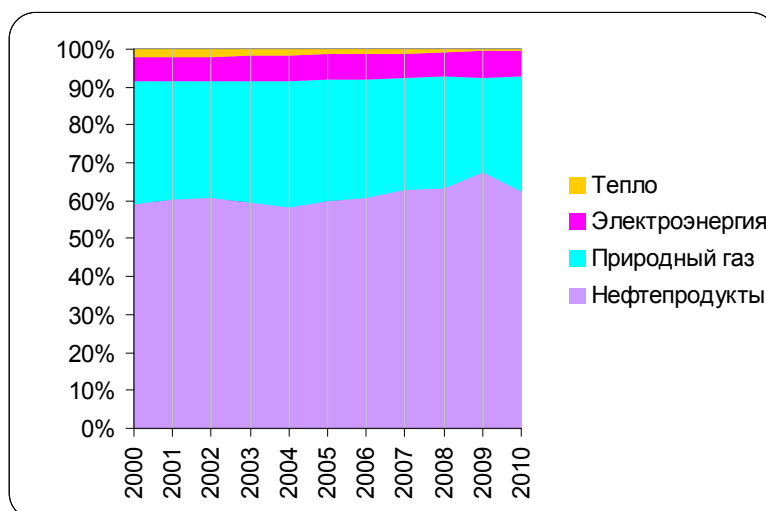
Легковой автомобильный транспорт динамично вытеснял остальные виды общественного транспорта. Если в 2000 г. на него пришлось только 35% пассажирооборота, то в 2010 г. – уже 50% (рис. 8.2). Вырос также удельный вес воздушного транспорта. То есть структура пассажирооборота менялась в направлении самых энергоемких видов транспорта.

Рисунок 8.2 – Изменение структуры пассажирооборота



Источник: данные Росстата. Пассажирооборот легкового личного транспорта – оценка ЦЭНЭФ

Доминирование автомобильного и газопроводного транспорта определило структуру потребляемых на транспорте энергоносителей (рис. 8.3). Доля нефтепродуктов выросла с 59,1% в 2000 г. до 62,5% в 2010 г. Жидкое топливо вытесняло другие энергоносители: доля природного газа снизилась с 32,5 до 30,3%, а доля электроэнергии – с 6,4% до 6,8%. Доля тепловой энергии упала с 1,9% до 0,6%.

Рисунок 8.3 – Структура потребления энергоносителей на транспорте


Источник: ЦЭНЭФ

8.2. Факторы, определявшие динамику потребления энергии на транспорте в 2000-2010 гг.

Рост транспортной работы явился главным фактором роста потребления энергии на транспорте (табл. 8.1). Неравномерность динамики потребления энергии на транспорте определена отчасти неравномерностью динамики транспортной работы по разным видам транспорта.

Таблица 8.1 Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления энергии на транспорте в 2000-2010 гг. (тыс. тунт)

| Годы | Транспортная работа | Структура транспорта | Энергоемкость транспортных средств | Цены | Всего |
|------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|-------------|---------------|
| 2001/2000 | 3371 | 635 | -1698 | 940 | 3249 |
| 2002/2001 | 6169 | 227 | -2125 | 1369 | 5638 |
| 2003/2002 | 8452 | -2543 | 1174 | 18 | 7101 |
| 2004/2003 | 7904 | -1942 | 4504 | -1037 | 9429 |
| 2005/2004 | 2734 | 1878 | 1776 | -1336 | 5051 |
| 2006/2005 | 3902 | 342 | -252 | -259 | 3732 |
| 2007/2006 | 4092 | 3056 | -432 | -170 | 6546 |
| 2008/2007 | 2254 | 5666 | -3732 | 681 | 4870 |
| 2009/2008 | -14286 | 10646 | -19579 | 469 | -22749 |
| 2010/2009 | 8614 | -1210 | 6981 | 655 | 15039 |
| 2010/2000 | 33830 | 13985 | -11264 | 1355 | 37905 |

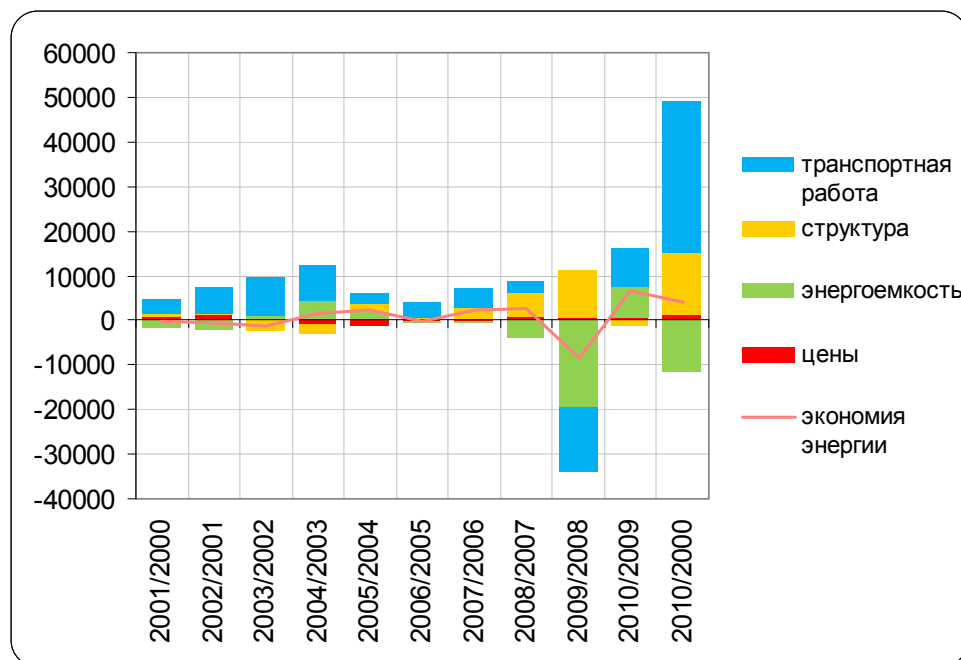
Источник: ЦЭНЭФ

Транспортная работа всего транспорта выражена суммой грузооборота и пассажирооборота. Аналогичный показатель использован для прочего транспорта, который охватил работу городского электрифицированного транспорта, водного и воздушного транспорта. Для железной дороги используется индикатор, выраженный в тыс. т-км брутто, который отражает работу как грузового, так и пассажирского

транспорта. Для трубопроводного транспорта используется приводимый Росстатом показатель грузооборота.

Разная скорость изменения показателей транспортной работы отражается оценкой вклада фактора структурных сдвигов. На протяжении 2000-2008 гг. это были сдвиги преимущественно в сторону более энергоемких видов транспорта, что и приводило к быстрому росту спроса на энергию. Особенно значимым вклад этого фактора оказался в 2009 г. за счет относительной устойчивости потребления энергии автомобильным транспортом даже в этот кризисный год (рис. 8.4).

Рисунок 8.4 – Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления энергии на транспорте



Источник: ЦЭНЭФ

Фактор энергоемкости транспортного оборудования играл на протяжении 2000-2010 гг. разнонаправленно: он то порождал дополнительный спрос на энергию, то его ограничивал.

Фактор цен на топливо сдерживал рост потребления энергии в 2004-2007 гг. Однако по причине быстрого роста цен на перевозки в последующие годы доля топлива в издержках стала снижаться, что привело к росту спроса на него.

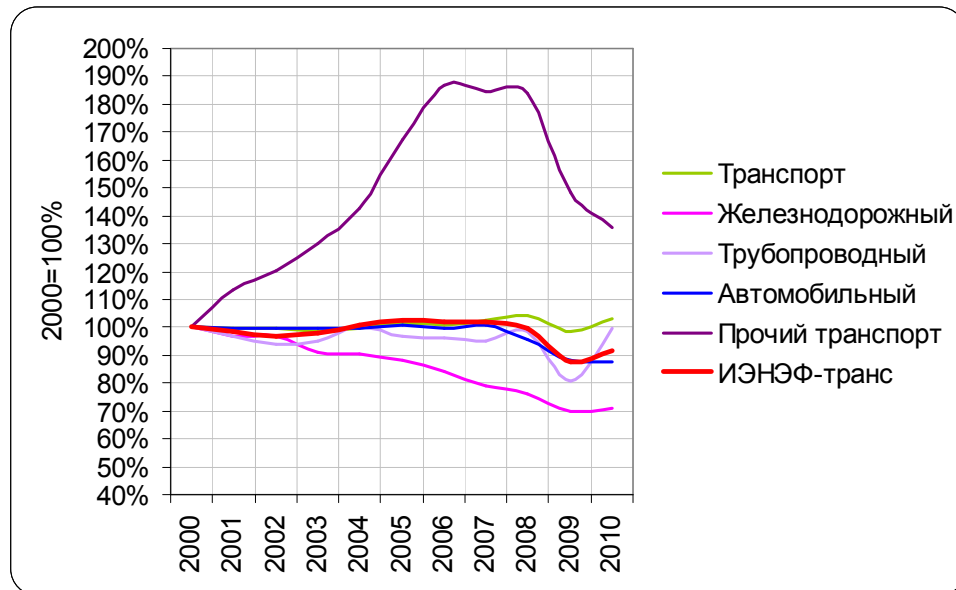
8.3. Динамика индекса энергоэффективности на транспорте

Траектория изменения удельных расходов энергии на транспорте колебалась вокруг постоянного уровня (рис. 8.5). Сравнительно устойчиво снижалась только энергоемкость железнодорожного транспорта. Для автомобильного и трубопроводного видов транспорта динамика энергоемкости была неустойчивой. Для прочих видов транспорта энергоемкость уверенно шла в гору до 2006 г., затем стабилизировалась до 2008 г. и стала снижаться после кризиса 2009 г. Рост был обусловлен снижением загрузки городского электрифицированного транспорта и ростом доли воздушного транспорта. Удельный расход на автомобильном транспорте рассчитывается на одно транспортное средство, поэтому снижение перевозок грузовиками в 2009-2010 гг. привело к снижению удельного расхода топлива.



Для вычленения результирующего по 4 видам транспорта вклада изменения энергоемкости за счет совершенствования технологий оценен индекс энергоэффективности для транспорта (ИЭНЭФ-транс). Его динамика показана на рисунке 8.5. Если энергоемкость транспорта в 2000-2010 гг. выросла на 3%, то индекс энергоэффективности снизился на 8%, т.е. снижался в среднем на 0,9% в год. Иными словами, на транспорте использовались более энергоэффективные транспортные технологии и средства. Выявить это без применения декомпозиционного анализа не удастся.

Рисунок 8.5 – Динамика энергоемкости работы отдельных видов транспорта и индекса энергоэффективности



ИЭНЭФ-транс – индекс энергоэффективности на транспорте при выделении 4 видов транспорта.

Источник: ЦЭНЭФ

Совершенствование российской статистики потребления энергии на транспорте и методов ее анализа позволит получать более надежные оценки роли энергоэффективного транспортного оборудования в сдерживании роста потребления энергии на транспорте – секторе, который обеспечил основной прирост потребления первичной энергии в России.



9. Жилые здания

9.1. Потребление энергии жилыми зданиями

Российская статистика потребления энергии не дает готовых данных о суммарном потреблении энергии жилыми зданиями. Их приходится оценивать на основе обработки данных разных форм статистической отчетности, многие из которых дают противоречивые сведения. Эти оценки сведены в ЕТЭБ (см. раздел 4).

Однако получить сводную оценку потребления энергии жилыми зданиями еще недостаточно. Значительная часть потребления энергии идет на цели отопления. Это потребление определяется размерами отапливаемой жилой площади, характеристиками теплозащиты зданий, погодными условиями, динамикой цен на энергоносители. Потребление энергии на нужды горячего водоснабжения (ГВС) определяется численностью населения, технологиями и эффективностью приборов для нагрева воды, а также ценами. Наконец, потребление энергии бытовыми приборами зависит от цели их использования, в ряде случаев – от численности потребителей, площади квартир, от насыщенности их этими приборами, от размеров (мощности), целей и продолжительности использования приборов и от других факторов.

Во многих национальных системах учета энергоэффективности и экономии энергии есть возможность довольно детального анализа потребления энергии в жилищном секторе (см. раздел 5). В России статистика не позволяет провести анализ на сопоставимом уровне детализации, поэтому ниже он проводится с выделением только трех направлений использования энергии в жилищном секторе: отопление, ГВС и бытовые приборы.

Все использование угля, прочего твердого топлива и централизованного теплоснабжения на цели отопления отнесено к отоплению. Кроме того, ЦЭНЭФ на специальной модели оценил потребление природного газа на эти цели. ЦЭНЭФ оценил потребление сжиженного и сетевого природного газа на цели ГВС. Объемы потребления централизованного теплоснабжения на эти нужды дает российская статистика.

Все прочее потребление энергии в жилищном секторе отнесено к «прочим нуждам», которые в основном отражают использование энергии бытовыми газовыми и электроприборами. В их число попадает и электроэнергия, которая используется на подогрев воды и на отопление. Однако в целях минимизации использования экспертных оценок в расчетах они учитываются в составе «прочих нужд».

Полученная таким образом динамика и структура потребления энергии в жилищном секторе показана на рисунке 9.1. Потребление энергии в этом секторе выросло в 2000-2010 гг. на 14,1 млн. тут, в т.ч. на нужды отопления на 7,7 млн. тут, а на «прочие нужды» – на 10,2 млн. тут. Потребление энергии на цели ГВС снизилось на 3,7 млн. тут, отчасти за счет снижения численности населения страны.

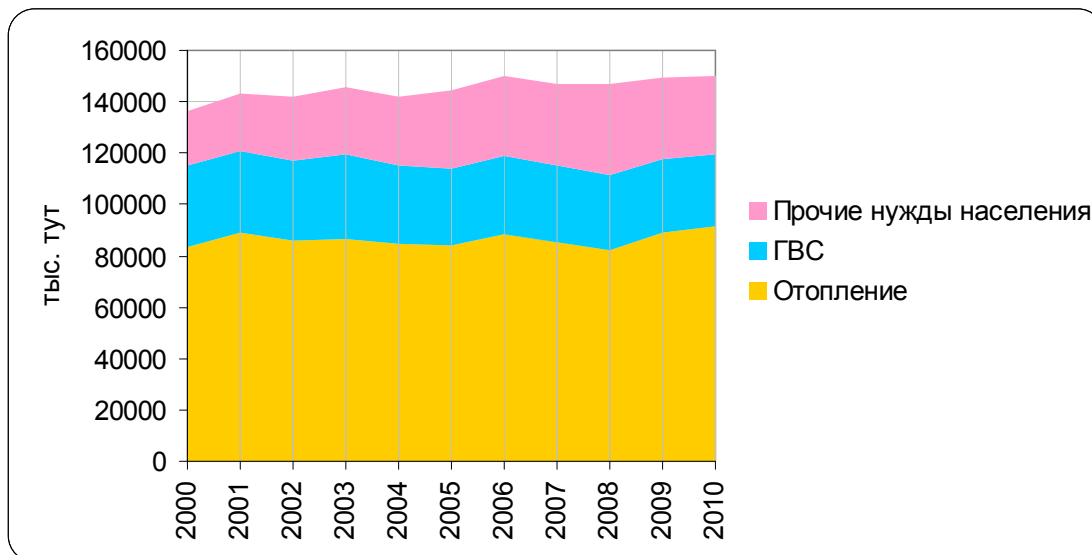
В структуре потребления конечной энергии в жилых зданиях доминирует тепловая энергия (рис. 9.2). Однако ее доля снизилась с 51,3% в 2000 г. до 48,2% в 2010 г. в основном за счет быстрого роста потребления энергии на «прочие нужды», где доминируют электроэнергия и природный газ.

В отоплении доля централизованного теплоснабжения не снизилась. Не снизилась она и в горячем водоснабжении. Доля природного газа в структуре потребления конечной энергии в жилых зданиях выросла с 34,3% до 38,4%, а доля электроэнергии – с 9,6% до



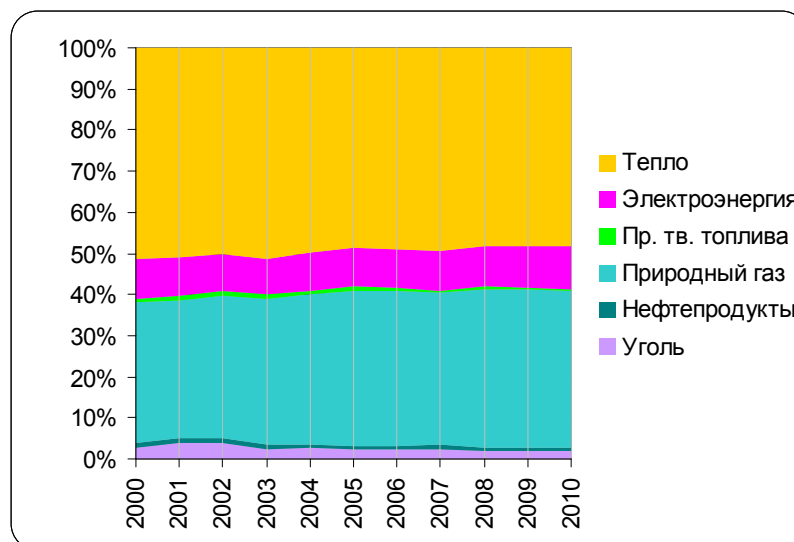
10,4%. Доля угля снизилась с 2,6% до 2,1%, жидкого топлива – с 1,2% до 0,6%, а прочих видов твердого топлива (поимущественно дров) – с 1% до 0,4%.

Рисунок 9.1 – Динамика потребления энергии жилыми зданиями по направлениям использования



Источник: ЦЭНЭФ

Рисунок 9.2 – Динамика потребления энергии жилыми зданиями по видам энергоносителей



Источник: ЦЭНЭФ



9.2. Факторы, определявшие динамику потребления энергии в жилых зданиях

Среди факторов, определявшие динамику потребления энергии в жилых зданиях в 2000-2010 гг., выделены 6 факторов:

- ⇒ рост активности (для отопления и «прочих нужд» в качестве индикатора активности используется площадь жилых зданий, а для ГВС – численность населения);
- ⇒ структурный фактор (разница в динамике площади жилых зданий и численности населения);
- ⇒ энергоэффективность зданий, систем ГВС и бытовых приборов;
- ⇒ климат (градусосутки отопительного периода в течение года);
- ⇒ благоустройство жилого фонда (доля централизованно отапливаемой площади, доля населения, обеспеченного ГВС) и обеспеченность бытовыми приборами;
- ⇒ цены на энергоносители, соотнесенные с индексом цен потребительских товаров.

Оценка их вклада в динамику потребления энергии жилыми зданиями приведена в таблице 9.1 и на рисунке 9.3.

Таблица 9.1 Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления энергии в жилых зданиях (тыс. тут)

| Годы | Индекс активности | Структура | Энерго-емкость | Климат | Благоустройство и обеспеченность | Цены | Всего |
|------------------|-------------------|--------------|----------------|-------------|----------------------------------|---------------|--------------|
| 2001/2000 | 1742 | -526 | 755 | 4107 | 1787 | -1022 | 6843 |
| 2002/2001 | 1556 | -488 | -780 | -617 | 1524 | -2267 | -1095 |
| 2003/2002 | 1603 | -508 | 2466 | -296 | 2294 | -1933 | 3623 |
| 2004/2003 | 1585 | -523 | -5463 | -249 | 1984 | -1108 | -3757 |
| 2005/2004 | 1851 | -536 | 1664 | -2526 | 3350 | -1267 | 2526 |
| 2006/2005 | 2374 | -637 | -667 | 4036 | 2414 | -1790 | 5987 |
| 2007/2006 | 2792 | -724 | -2903 | -3544 | 2241 | -1382 | -3691 |
| 2008/2007 | 2663 | -560 | 2042 | -4372 | 1168 | -212 | 550 |
| 2009/2008 | 2638 | -517 | -5124 | 6591 | 733 | -2649 | 1957 |
| 2010/2009 | 2667 | -489 | -1079 | 3069 | 1135 | -4112 | 1197 |
| 2010/2000 | 21028 | -5410 | -8580 | 6222 | 17757 | -17052 | 14140 |

Источник: ЦЭНЭФ

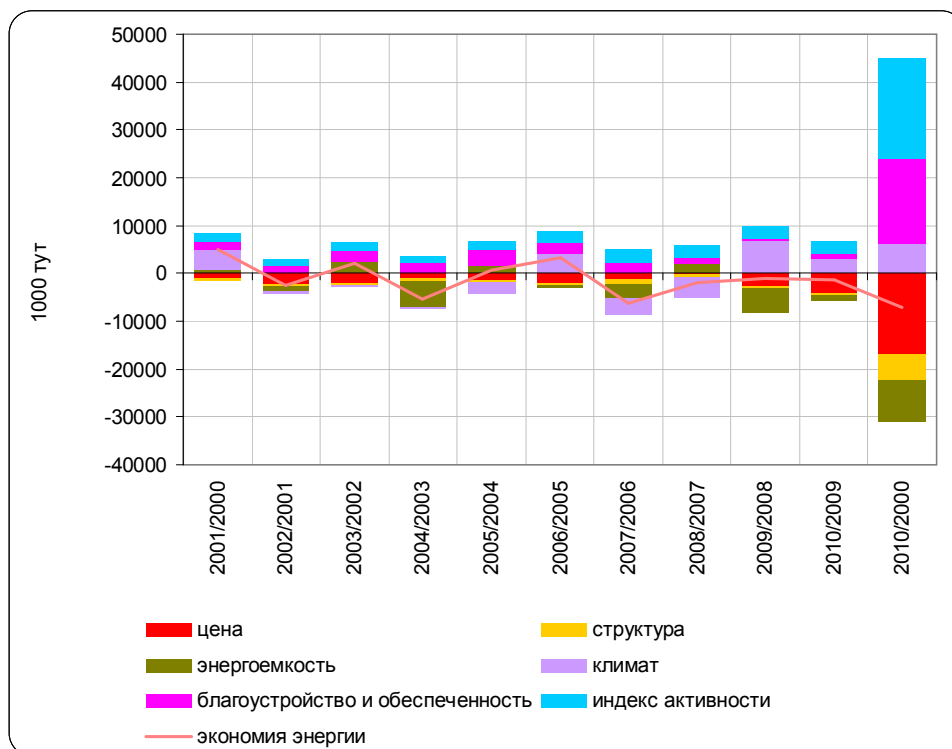
Рост жилой площади почти на 16% в 2000-2010 гг. перекрыл воздействие снижения численности населения, и в итоге индекс активности постоянно интегрально работал на рост потребления энергии в жилищном секторе. В этом же направлении все годы работал и фактор роста благоустройства жилого фонда и обеспеченности бытовыми приборами. По значимости он оказался сопоставим с влиянием фактора активности. В кризисном 2009 г. из-за резкого снижения роста реальных доходов населения повышение обеспеченности приборами затормозилось, а вклад этого фактора снизился.

Холодные 2009 г. и 2010 г. определили прирост потребности в энергии на 6,6 млн. тут и на 3,1 млн. тут соответственно. Фактор структуры тормозил рост потребления энергии за счет снижения численности населения и потребности в горячей воде.



Среди факторов, которые сдерживали рост потребности в энергии в жилищном секторе, доля технологического фактора составила 28%, еще 17% пришлось на структурный фактор и 55% – на фактор цен.

Рисунок 9.3 – Декомпозиция факторов, определявших динамику потребления энергии в жилых зданиях



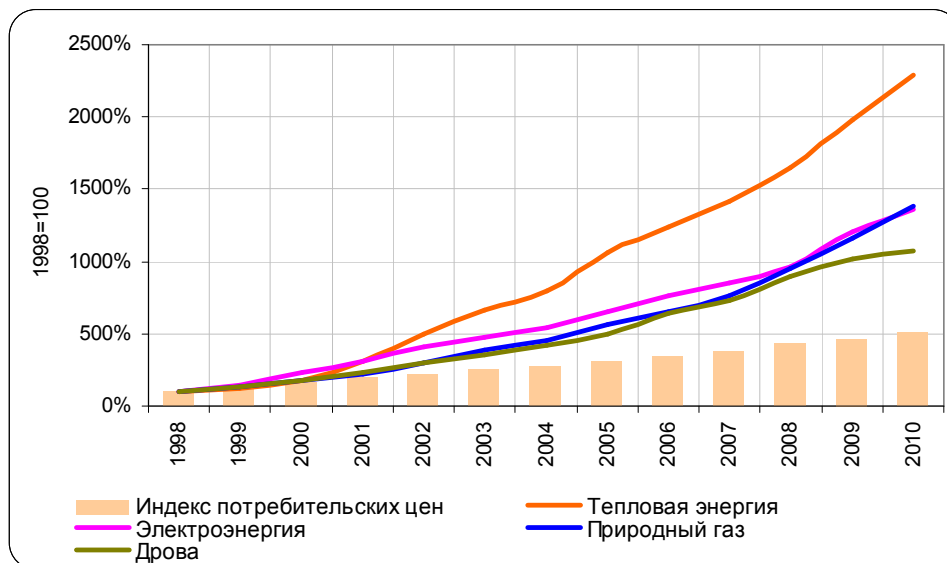
Источник: ЦЭНЭФ

Вклад снижения энергоемкости оборудования и зданий практически на всем интервале времени работал на торможение роста потребления энергии в жилищном секторе. Устойчиво сдерживал рост потребления энергии и фактор цен, которые в 2000-2010 гг. росли быстрее индекса потребительских цен (рис. 9.4).

Доля платежей населения за услуги ЖКХ и энергоресурсы в расходах вышла на пределы своих пороговых значений (рис. 9.5). Универсальный для разных стран порог составляет: в первом случае – около 7-8% (для домохозяйств со средним доходом) и 15% – для малоимущих домохозяйств. Во втором случае (для домохозяйств со средним доходом) – около 3-4%⁴⁵. При приближении к этим порогам и заступе за них эластичность спроса по цене существенно возрастает, и население довольно быстро меняет свое поведение, снижая потребление энергии.

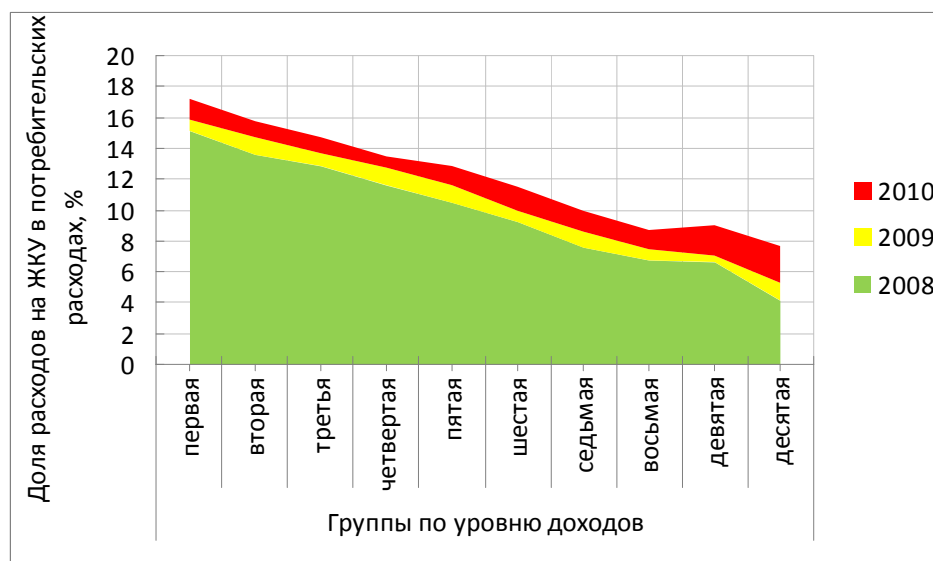
⁴⁵ I. Bashmakov. Three Laws of Energy Transitions. Energy policy. July 2007; И. Башмаков. Реформа ЖКХ: мы неправильно делаем то, что задумали, или неправильно задумали то, что делаем? «Энергосбережение» №№ 5 и 6. 2004; И. Башмаков. Пороговые значения возможности и готовности населения оплачивать жилищно-коммунальные услуги. «Вопросы экономики», № 4, 2004.

Рисунок 9.4 – Динамика цен на энергоносители в жилищном секторе и индекса потребительских цен



Источник: ЦЭНЭФ

Рисунок 9.5 – Доля расходов на ЖКУ



Источник: Оценено ЦЭНЭФ по данным Росстата

9.3. Динамика индекса энергоэффективности в жилых зданиях

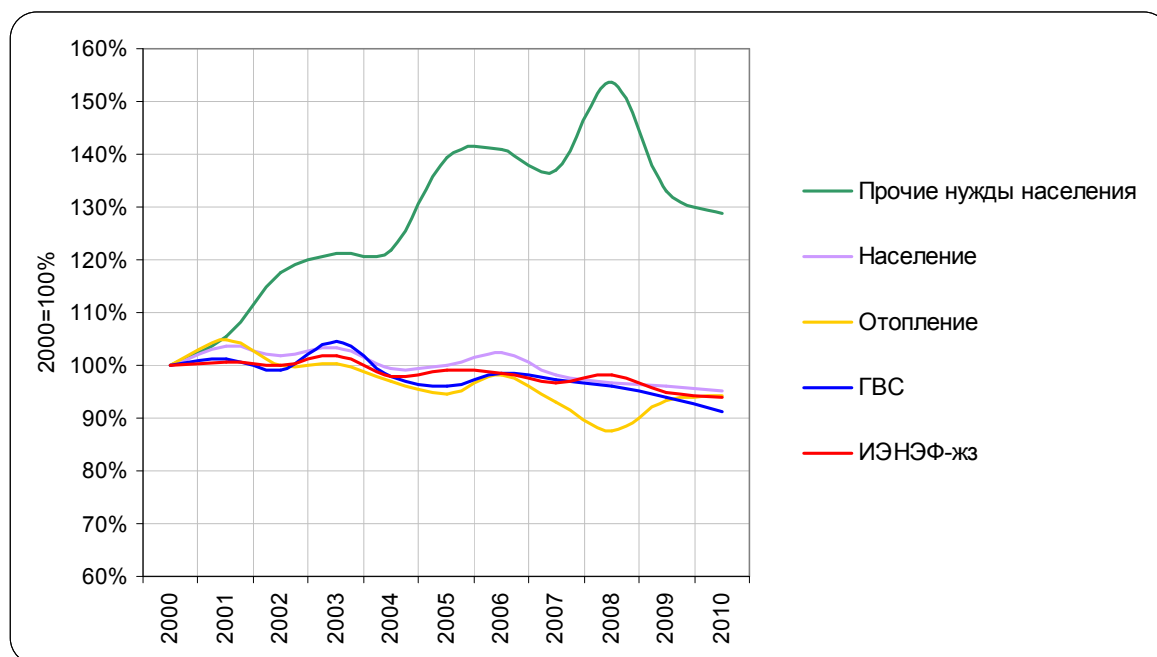
Динамика удельных расходов энергии на разные цели использования в жилых зданиях показана на рисунке 9.6. Рост удельных расходов на «прочие нужды» в значительной степени отражает рост благоустройства жилого фонда и обеспеченности населения бытовыми приборами.

Попытка вычлени динамику технологического фактора привела к существенно меньшей оценке роста удельной энергоемкости в этой сфере в 2000-2010 гг. – на 18%. Однако без большей детализации анализа адекватно оценить вклад технологического фактора сложно.



Для этого был проведен расчет на модели ЦЭНЭФ по жилому фонду, который отражал динамику средневзвешенного удельного расхода парком разных бытовых приборов. В качестве весов использовались объемы потребления ими энергии в 2000 г. Получилось, что эффективность электробытовых приборов повысилась на 12%⁴⁶, а газовых бытовых приборов – на 4,6%, что в среднем дало рост эффективности на 8,9%. Таким образом, технологическое повышение эффективности использования энергии на «прочие нужды» в 2000-2010 гг. можно оценить примерно в 9%.

Рисунок 9.6 – Динамика эффективности использования энергии в жилых зданиях на отдельные цели и индекса энергоэффективности



ИЭНЭФ-жз – индекс энергоэффективности в жилых зданиях.

Источник: ЦЭНЭФ

В отношении ГВС замена сантехники на новую, энергоэффективную и установка приборов учета привели к технологическому повышению эффективности использования энергии в 2000-2010 гг. на 8,6%, или в среднем на 0,9% в год. В Европейском Союзе прогресса с повышением энергоэффективности в 1997-2007 гг. в этом направлении не было.

В отоплении жилых зданий за счет того, что в 2010 г. примерно 20% жилого фонда пришлось на здания, построенные после 2000 г. преимущественно по новым СНиП с существенно более высокими требованиями по уровню энергоэффективности, технологическая энергоэффективность за счет применения новых технологий теплозащиты выросла в 2000-2010 гг. на 6,1%. В Европейском Союзе в 1997-2007 гг. снижение составило 12%.

Итоговый индекс энергоэффективности в жилищном секторе в 2000-2010 гг. снизился на 6,1%, то есть снижался в среднем на 0,6% в год. В Европейском Союзе в 1997-2007 гг. среднегодовое снижение составило 0,8%⁴⁷. При использовании для «прочих нужд»

⁴⁶ Это почти так же, как в Европейском Союзе.

⁴⁷ Energy Efficiency Trends and Policies in the Household & Tertiary sectors in the EU 27. November 2009. ADEME Editions, Paris 2009



индикатора, оцененного на основе средневзвешенного удельного расхода парком бытовых приборов, снижение индекса энергоэффективности составило бы 7,4%.

Сравнение результатов оценки динамики индекса энергоэффективности в жилищном секторе по разным методикам, применяемым в странах, имеющих системы учета повышения энергоэффективности и экономии энергии, приведено в таблице 9.2. Получаются довольно близкие результаты при использовании всех методик расчета, использующих методы декомпозиции LMDI. В системе учета МЭА получается менее значительная динамика индекса энергоэффективности, а в системе ЕС – еще меньшая.

Таблица 9.2 Оценка динамики индекса энергоэффективности в жилых зданиях по методикам, используемым в зарубежных системах учета повышения энергоэффективности и экономии энергии (%)

| | Данная работа | Австралия | Канада | Новая Зеландия | США | МЭА | ЕС |
|------|---------------|-----------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| 2000 | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 2001 | 100,5% | 100,5% | 100,6% | 100,5% | 100,5% | 103,7% | 104,1% |
| 2002 | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 101,8% | 102,5% |
| 2003 | 101,7% | 101,7% | 101,7% | 101,7% | 101,7% | 103,2% | 104,4% |
| 2004 | 97,9% | 97,9% | 97,9% | 97,9% | 97,9% | 99,5% | 100,9% |
| 2005 | 99,1% | 99,1% | 99,1% | 99,1% | 99,1% | 100,0% | 101,8% |
| 2006 | 98,6% | 98,6% | 98,6% | 98,6% | 98,6% | 102,4% | 104,8% |
| 2007 | 96,7% | 96,7% | 96,7% | 96,7% | 96,7% | 98,1% | 100,8% |
| 2008 | 98,1% | 98,1% | 98,1% | 98,1% | 98,1% | 96,7% | 99,7% |
| 2009 | 94,7% | 94,7% | 94,6% | 94,8% | 94,7% | 96,2% | 99,6% |
| 2010 | 94,1% | 94,1% | 94,0% | 94,1% | 94,1% | 95,3% | 99,0% |

Источник: ЦЭНЭФ

Резюмируя, следует отметить, что жилищный фонд занял третье место после транспорта и электроэнергетики по приросту потребления энергии в 2000-2010 гг. Среди факторов, которые сдерживали рост потребности в энергии в жилищном секторе, на долю технологического фактора пришлось 28%, еще 17% пришлось на структурный фактор и 55% – на фактор цен. Рост цен на энергию стал основным фактором сдерживания потребления энергии в жилищном секторе. Если в 2000 г. россияне истратили на оплату энергоснабжения своих жилищ 114 млрд. руб., то в 2010 г. – ровно в десять раз больше – 1140 млрд. руб.

Рост потребления энергии тормозился также за счет снижения численности населения и потребности в горячей воде. Рост жилой площади, а также повышение благоустройства жилого фонда и обеспеченности бытовыми приборами являлись основными факторами прироста потребности в энергии. Холодные 2009 г. и 2010 г. определили прирост потребности в энергии на 6,6 млн. тут и на 3,1 млн. тут соответственно.



Foreign & Commonwealth Office

Работа выполнена по гранту посольства Великобритании в Российской Федерации.

Мнение посольства Великобритании может не совпадать с мнением авторов работы