

 На правах рукописи

**Кузовкин
Владимир Валерьевич**

**ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И НАКОПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОПЛИВНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ, НЕ СВЯЗАННОМ С ПРОЦЕССАМИ
СЖИГАНИЯ**

25.00.36 – Геоэкология

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва 2013

Работа выполнена в Федеральном Государственном Бюджетном Учреждении «Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук»

Научный руководитель:

кандидат географических наук

Гинзбург Вероника Александровна

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор **Бабурин Вячеслав Леонидович**

кандидат географических наук,

Ильин Илья Сергеевич

Ведущая организация:

Институт географии РАН

Защита состоится «14» февраля 2013 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета

Д 002.049.01 в ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН» по адресу:

РФ, 107258 Москва, ул. Глебовская, д. 20-Б

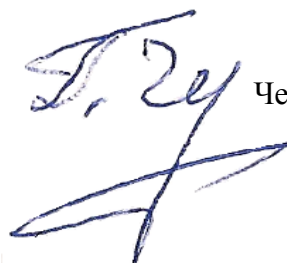
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке

ФБГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

Автореферат разослан «9» января 2013 г.

Ученый секретарь совета

доктор географических наук, профессор



Черногаева Г.М.

Актуальность темы. Один из главных источников поступления углекислого газа в атмосферу связан со сжиганием первичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – угля, нефти, газа и продуктов их переработки (бензин, кокс, мазут и т. д.). Этим определяется большая часть антропогенной эмиссии углекислого газа (CO₂) в атмосферу. Целью такого использования ТЭР является, обычно, получение энергии – тепловой, электрической, механической. Поэтому такое использование обозначается общим термином «энергетическое использование». Однако, помимо сжигания, существует также иное использование ТЭР, не связанное с процессом сжигания. Так, ТЭР используются в промышленном производстве в некоторых технологических процессах, в частности в качестве сырья в химической, нефтехимической и металлургической промышленности и в качестве конечного продукта, т.е. без выработки энергии. Такое использование обозначается общим термином «неэнергетическое использование». При таком использовании углерод частично окисляется, частично консервируется в конечных продуктах. Неокисленный, законсервированный таким образом, углерод в данной работе называется накопленным углеродом (перевод английского термина «storage carbon»). В данной работе рассматриваются процессы, приводящие к эмиссиям CO₂ и временному накоплению углерода при неэнергетическом использовании угля, нефти, газа и продуктов их переработки.

Цель работы состоит в оценке эмиссии CO₂ и накопления углерода в Российской Федерации при хозяйственном использовании топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), не связанном с процессами сжигания (т.е. при неэнергетическом использовании).

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Выполнить аналитический обзор существующих подходов к оценке эмиссии углекислого газа и накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР.
2. Выполнить анализ структуры неэнергетического использования ТЭР в экономике России.
3. Разработать методологические подходы к расчету эмиссий углекислого газа и накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР с учетом российских условий.
4. Создать базу данных, необходимых для расчета эмиссии углекислого газа и накопления углерода в РФ при неэнергетическом использовании ТЭР.
5. Рассчитать для России коэффициенты накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР.

Объект исследования. Неэнергетическое использование угля, нефти и газа в Российской Федерации в 1997 - 2009 гг. и связанные с этим процессы эмиссии CO₂ и накопления углерода.

Научная новизна работы. Впервые проанализирована структура использования в России угля, нефти, природного газа и продуктов их переработки в неэнергетических целях, рассчитаны эмиссии CO₂ и накопление углерода в соответствующих хозяйственных процессах в России, в 1997 – 2009 гг. Оценены коэффициенты накопления углерода, характерные для российских условий.

Соискатель выносит на защиту:

1. Структуру неэнергетического использования ТЭР и в период 1997 – 2009 гг. в России.
2. Адаптированную к российским условиям модель для расчета эмиссий углекислого газа при неэнергетическом использовании ТЭР.
3. Рассчитанные с помощью построенных модельных средств значения эмиссии и накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР в 1997 – 2009 гг.
4. Характерные для России современные значения коэффициентов накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР.

Внедрение. Результаты работы используются для совершенствования российской системы расчетов эмиссий и стоков парниковых газов, которая применяется при составлении кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. Соответствующий документ ежегодно представляется в органы Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) и Киотского протокола в качестве отчетности России о выполнении принятых международных обязательств.

Публикации. Основные результаты диссертации были опубликованы в 7 научных трудах соискателя. Из опубликованных работ – 3 в рекомендованных ВАК научных журналах и изданиях.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были представлены на следующих научных конференциях и семинарах:

- 1) II Международная заочная научно-практическая конференция "Информационное пространство современной науки" (18 сентября 2010 г., г. Чебоксары);
- 2) Всероссийская заочная научно-практическая конференция с международным участием "Наука и практика: проблемы, идеи, инновации" (г. Екатеринбург, 25 сентября 2010 г.);
- 3) Всероссийская заочная научно-практическая конференция с международным участием "Ключевые аспекты научной деятельности" (г. Екатеринбург, 23 августа 2010 г.);
- 4) V Международная научно-практическая конференция "Наука и современность - 2010" (г. Новосибирск, 4 октября 2010 г.);

- 5) Участие в проверке кадастра эмиссий и абсорбции парниковых газов РФ группой экспертов МГЭИК, сентябрь 2010 г. (27 сентября - 2 октября 2010 г.);
- 6) Конференция, посвященная 100-летию Е.Г.Федорова, 16 - 18 ноября 2009 г., Москва;
- 7) Конференция молодых ученых, посвященная 55-летию Института прикладной геофизики им. Академика Федорова Е. К. 16 - 18 февраля 2011, Москва;
- 8) Экспертная встреча "Учет эмиссий парниковых газов в России: проблемы и решения" (Москва, 30 - 31 марта 2011 г.);
- 9) Конференция молодых ученых ГУ ИГКЭ, (Москва, 7 декабря 2011 г.).

Личный вклад соискателя. Все основные результаты диссертации получены лично соискателем. Автором проведен анализ структуры и баланса использования ТЭР в промышленности РФ, составлены карты-схемы потоков энергетического и неэнергетического использования ТЭР с анализом эмиссий углекислого газа и накопления углерода. Адаптирована и усовершенствована модель расчетов эмиссий при неэнергетическом использовании ТЭР к российским условиям. Разработаны национальные коэффициенты накопления углерода при неэнергетическом использовании химических продуктов и применении ТЭР в качестве сырья. Проведена работа по систематизации и анализу статистических данных. Разработана методика оценки недостающих данных по использованию ТЭР в качестве сырья на основе регионального распределения предприятий перерабатывающей промышленности. Выполнены расчеты эмиссий углекислого газа при неэнергетическом использовании ТЭР в РФ за период с 1990 по 2009 годы.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 95 страниц. При написании диссертации было использовано 102 литературных источника.

Введение обосновывает актуальность выбранной темы исследования и содержит необходимые сведения о данной работе, в том числе о ее целях, задачах, новизне, практической значимости, выносимых на защиту положениях, апробации исследования и основных публикациях автора по теме диссертации.

Глава 1. Неэнергетическое использование топливно-энергетических ресурсов и связанные с ним эмиссии углекислого газа

Глава представляет собой обзор литературных источников, посвященных проблеме эмиссий углекислого газа в окружающую среду при неэнергетическом применении топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – угля, нефти, природного газа¹ и продуктов их переработки. Несмотря на то, что большая часть антропогенной эмиссии углекислого газа в атмосферу обусловлена сжиганием ТЭР, тем не менее эмиссии CO₂ происходят также и при процессах производства продукции из топливно-энергетических ресурсов, а также дальнейшем использованием этой продукции. По данным национального кадастра

¹ В данной работе, если не оговорено иное, термином «газ» обозначается природный газ.

выбросов парниковых газов [Национальный кадастр, 2012] данные эмиссии происходят в основном при производстве химической и металлургической продукции и могут достигать 5-6% от общих эмиссий CO_2 , связанных с использованием ТЭР.

Распределение потребляемых в России угля, нефти и природного газа по видам использования представлено на рис. 1. Частично они сжигаются с целью получения энергии – электрической и тепловой, а частично перерабатывается во вторичные продукты (кокс, бензин, керосин и т.д.) и используется как с энергетическими, так и с неэнергетическими целями [Patel, 2003]. Уголь, нефть и природный газ, как и продукты их переработки, используются, например, в качестве сырья в обрабатывающей промышленности. Полученная конечная продукция после использования утилизируется. Однако, рассмотрение процессов утилизации и происходящих при этом эмиссий углекислого газа и накопления углерода не входили в цели данной работы.

Основным методологическим руководством по расчету эмиссий углекислого газа, используемым в настоящее время «Пересмотренные руководящие принципы национальной инвентаризации парниковых газов, МГЭИК, 1997». Расчеты эмиссий CO_2 разделены на несколько разделов (секторов) – «Энергетика», «Промышленные процессы», «Использование растворителей и другой продукции», «Отходы», «Сельское хозяйство», «Землепользование, изменение в землепользовании, лесное хозяйство». Эмиссии при сжигании, а также при добыче, транспортировке и переработке ТЭР оцениваются в секторе «Энергетика». Для расчета эмиссий CO_2 при сжигании ТЭР МГЭИК предложено два метода, так называемые, базовый (МГЭИК-БП) и секторный (МГЭИК-СП) подходы. Суть базового подхода состоит в расчете по видам потребляемых ТЭР в стране. Расчеты проводятся для каждого из видов ТЭР, как первичных ТЭР (нефть, уголь, газ), так и вторичных ТЭР, являющихся продуктами их переработки. По данному подходу из суммарного количества углерода, содержащегося в потребляемых в стране ТЭР, вычитается количество углерода, накопленного в результате неэнергетического использования. Расчет накопленного углерода в МГЭИК-БП основан на применении коэффициентов накопления (перевод с английского термина «storage carbon») углерода при неэнергетическом использовании ТЭР. Коэффициентом накопления называют предполагаемое отношение накопленного углерода к общему содержанию углерода в ТЭР, используемых в неэнергетических целях.

Суть секторного подхода состоит в том, что эмиссии парниковых газов оцениваются по секторам экономики на основе данных о непосредственном использовании ТЭР в

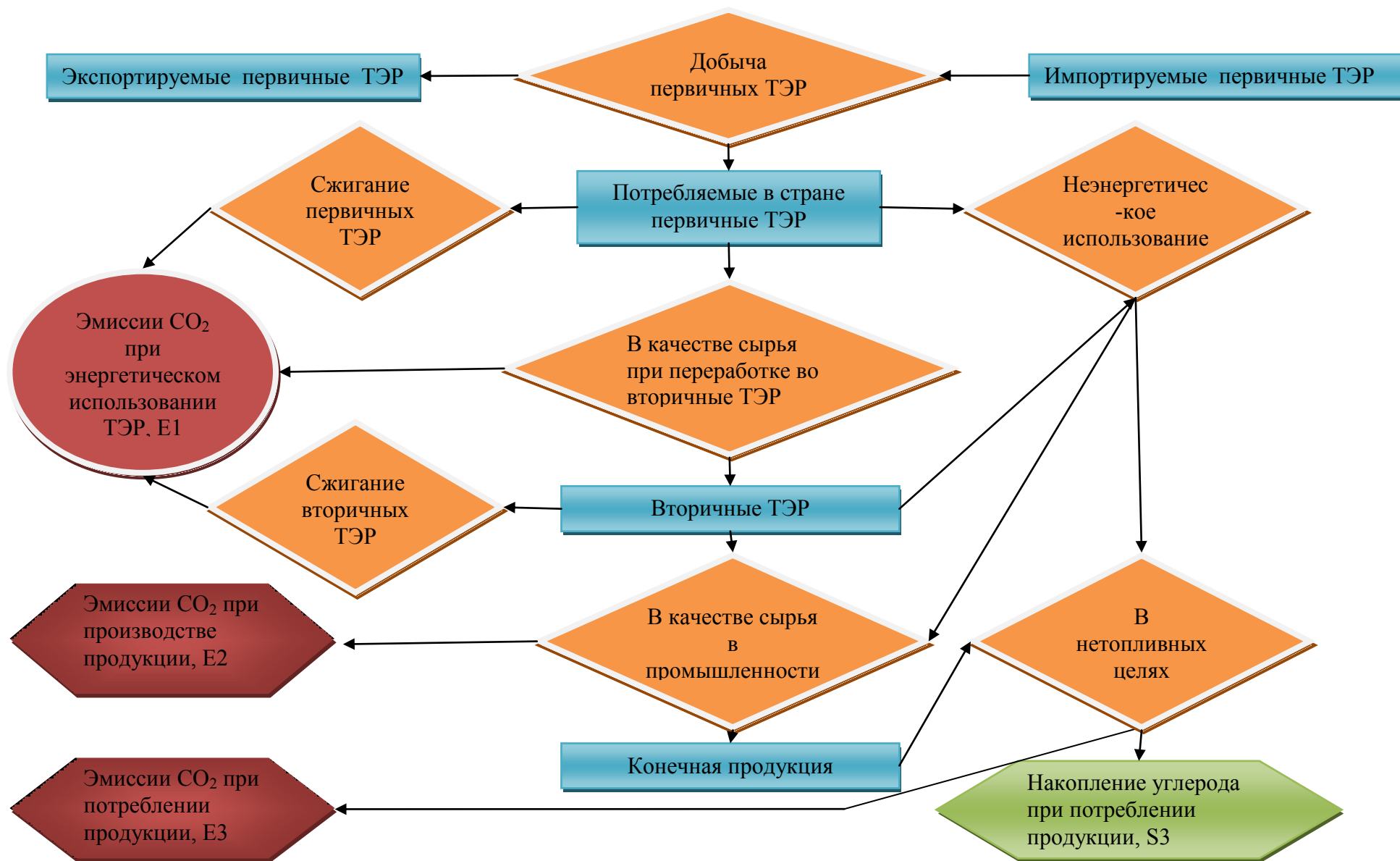


Рис.1. Схема использования ТЭР с указанием процессов, приводящих к эмиссии CO₂ и накоплению углерода

энергетических целях. Таким образом, неэнергетическое использование ТЭР уже исключено из расчетов по секторному подходу.

Расчеты эмиссий CO_2 , полученные по секторному и базовому подходам, должны быть близки. Допустимым является расхождение в 2% (в соответствии с Руководящими принципами МГЭИК) [МГЭИК, 1997]. В российском кадастре эмиссий парниковых газов отмечается систематическое завышение оценок эмиссии CO_2 , полученных с использованием базового подхода, составляющее для разных лет от 3 до 7% [Национальный доклад о кадастре, 2012]. Проблема состоит в том, что коэффициенты накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР, применяемые в базовом подходе, не учитывают национальную специфику использования ТЭР.

К эмиссиям углекислого газа при неэнергетическом использовании ТЭР по методологии МГЭИК относятся эмиссии парниковых газов при следующих процессах:

- 1) Производство неэнергетической продукции, в процессе которого ТЭР и продукты их переработки используется в качестве сырья (Е2 на рис. 1);
- 2) Потребление конечной продукции, произведенной из ТЭР (Е3 на рис. 1);

При этом при потреблении конечной продукции, произведенной из ТЭР, часть содержащегося в ней углерода окисляется до углекислого газа и выбрасывается в атмосферу, а часть консервируется в продукте, т. е. накапливается (S3 на рис. 1). Под термином «конечная продукция» понимается продукция нефте-, коксо- химической промышленности, не перерабатываемая в другие продукты (полиэтилен, пластики и т.д.)

Эмиссии углекислого газа при неэнергетическом использовании ТЭР в соответствии с методологией МГЭИК рекомендовано оценивать в 3-х секторах: «Промышленные процессы» (Е2 на рис. 1), «Использование растворителей и прочих продуктов» (Е3 на рис. 1), «Отходы» [МГЭИК, 1997]. В рамках данной работы процессы переработки и утилизации отходов не рассматривались. В секторе «Промышленные процессы» оцениваются эмиссии CO_2 при производстве продукции как с участием ТЭР в качестве сырья (производство аммиака, метанола и т.д.) так и без участия ТЭР (известняк, доломиты, сода).

Проблема оценки выбросов CO_2 в секторе «Промышленные процессы» состоит в том, что эмиссии CO_2 при производстве ряда химических продуктов (метанол, акрилонитрил и т.д.) не рассчитываются. Это связано с тем, что расчет, в используемой в настоящее время методологии не требуется [МГЭИК, 1997]. Также в национальном кадастре не рассчитываются эмиссии CO_2 при паровом крекинге, т.е. при производстве этилена. Однако, начиная с кадастра 2014 года, при разработке национального кадастра необходимо будет использовать обновленную методологию расчета эмиссий CO_2

[МГЭИК, 2006], которая предусматривает расчет эмиссий углекислого газа при производстве данных продуктов.

Аналогичная ситуация и в секторе «Использование растворителей», в которой в настоящее время не оцениваются эмиссии углекислого газа в связи с отсутствием типовой методики расчета в руководстве МГЭИК, 1997. Методология расчета эмиссий МГЭИК, 2006 учитывает лишь эмиссии CO₂ при использовании парафинов и смазочных масел. Однако, как будет показано в главе 5, предварительные оценки показывают, что эмиссии в этом секторе составляют весьма существенную часть суммарной эмиссии CO₂ при неэнергетическом использовании ТЭР.

Итак, основные проблемы расчета эмиссий углекислого газа при неэнергетическом использовании ТЭР заключаются в следующем:

- 1) В секторе «Промышленные процессы» не рассчитываются эмиссии углекислого газа при производстве метанола, технического углерода, акрилонитрила, а так же при паровом крекинге нефтепродуктов. Это связано с отсутствием требования расчета в действующей в настоящее время методологии МГЭИК;
- 2) В секторе «Использование растворителей» не оцениваются эмиссии углекислого газа в связи с отсутствием типовой методики расчета;
- 3) В секторе «Энергетика» расчет накопленного углерода при неэнергетическом использовании ТЭР проводится с применением стандартных коэффициентов накопления, не соответствующих российским условиям. Это ведет к расхождению оценок эмиссий углекислого газа, сделанных с использованием базового и секторного подходов.

Задача настоящей работы обусловлена необходимостью усовершенствования национального кадастра. Эта задача решается в данной работе с использованием балансового метода расчета углерода, содержащегося в ТЭР, используемых в экономике РФ в энергетических и неэнергетических целях.

Глава 2. Структура неэнергетического использования топливно-энергетических ресурсов в экономике России.

Глава посвящена анализу неэнергетического использования ТЭР в экономике России и структурно состоит из трех частей: использование твердых ТЭР (угля и продуктов его переработки), жидких ТЭР (нефти и продуктов ее переработки) и природного газа.

Неэнергетическое использование в промышленности ископаемых твердых углеродосодержащих веществ ТЭР относится, в основном, к каменному углю [Соколов, 2003]. В российской статистике к каменному углю относится антрацит, уголь для

коксования и, собственно, каменный уголь. Основное неэнергетическое использование каменного угля происходит при высокотемпературном пиролизе (коксовании). На это уходит до 30% общего объема добычи исходного каменного угля [Соколов, 2003, ТЭБ]. На рис. 2 показана структура использования угля при коксовании с определением среднего количества углерода (выраженного в эквиваленте CO_2) содержащегося в угле на каждом из этапов использования. При коксовании уголь разлагается на сухой остаток – кокс (75% по массе) и необработанный коксовый газ (25% по массе). Неэнергетическое использование кокса определяется применением его в качестве восстановителя и сырья для производства электродов в черной и цветной металлургии. Сырой коксовый газ перерабатывается с целью получения коксового газа, каменноугольной смолы и аммиака. Сухой коксовый газ затем сжигается для поддержания температуры пиролиза (т.е. сырой коксовый газ используется в энергетических целях (E1)). Смола в свою очередь служит сырьем для получения бензола, толуола и прочих продуктов коксохимии (производимых в количестве более 400 видов), а также каменноугольного пека, применяемого затем для производства электродов, используемых в цветной металлургии.

Эмиссии CO_2 , относящиеся к неэнергетическому использованию угля, происходят при этом при следующих процессах:

- 1) использование электродов из каменноугольного пека в металлургии;
- 2) производство чугуна и стали;
- 3) нетопливное использование бензола, толуола и других продуктов коксохимии.

Накопление углерода происходит при следующих процессах:

- 1) использование кокса в качестве восстановителя при металлургических процессах;
- 2) нетопливное использование бензола, толуола и других продуктов коксохимии.

Структура использования природного газа представлена на рис 3. Его неэнергетическое использование состоит из 3 частей:

- 1) Использование в качестве сырья в химической промышленности для производства синтез-газа с целью дальнейшего получения аммиака, метанола, формальдегида и ряда других продуктов химической промышленности;
- 2) Использование природного газа для поддержания давления при нефтяной добыче,
- 3) Использование в качестве восстановителя в металлургической промышленности при производстве губчатого железа.

При этом эмиссии CO_2 происходят при следующих процессах:

- 1) При производстве химической продукции;
- 2) При нетопливном использовании химической продукции;
- 3) При производстве стали

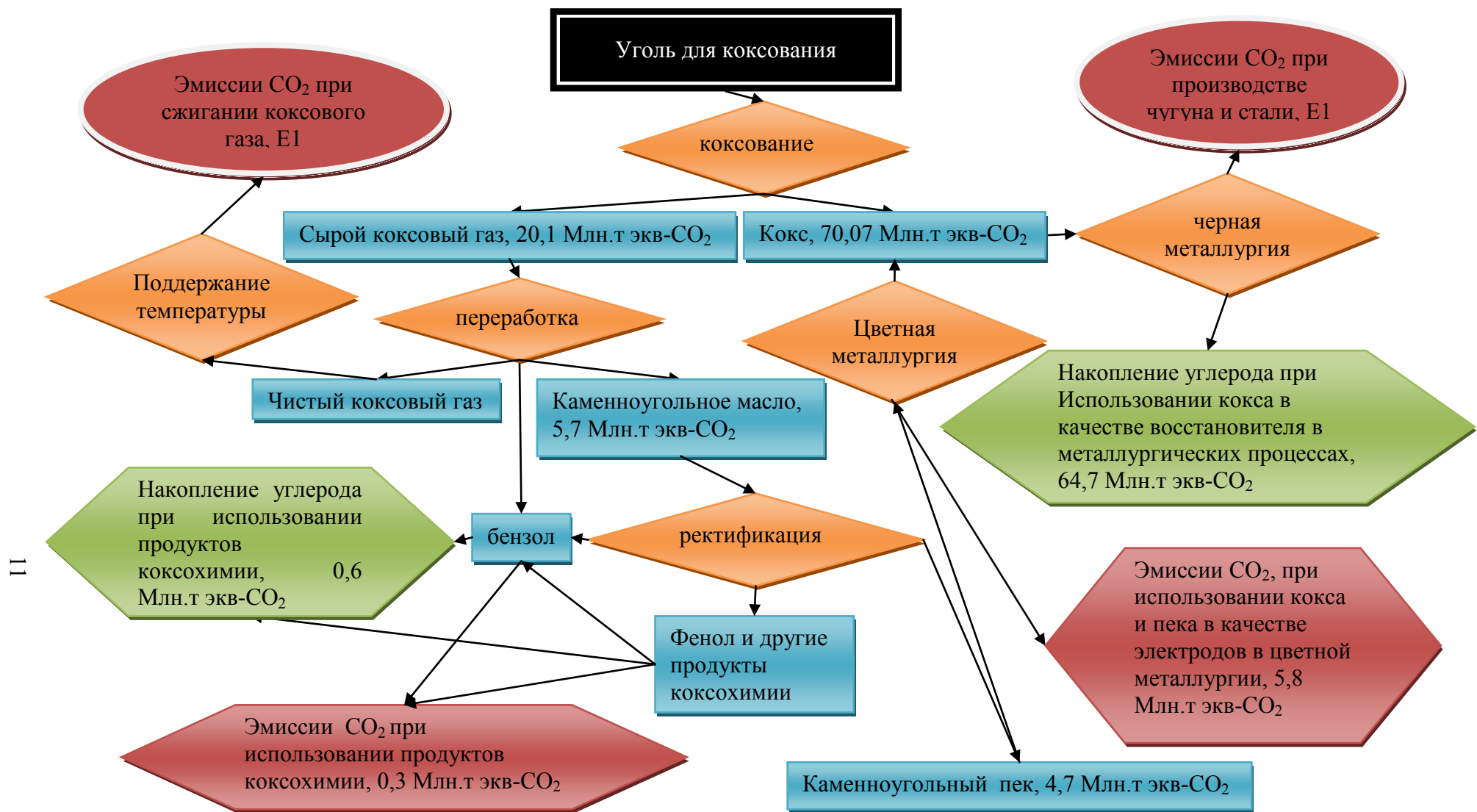


Рис.2. Структура использования угля при коксовании с определением среднего за период 1997-2009 гг количества углерода (выраженного в эквиваленте CO₂) содержащегося в угле на каждом из этапов использования.

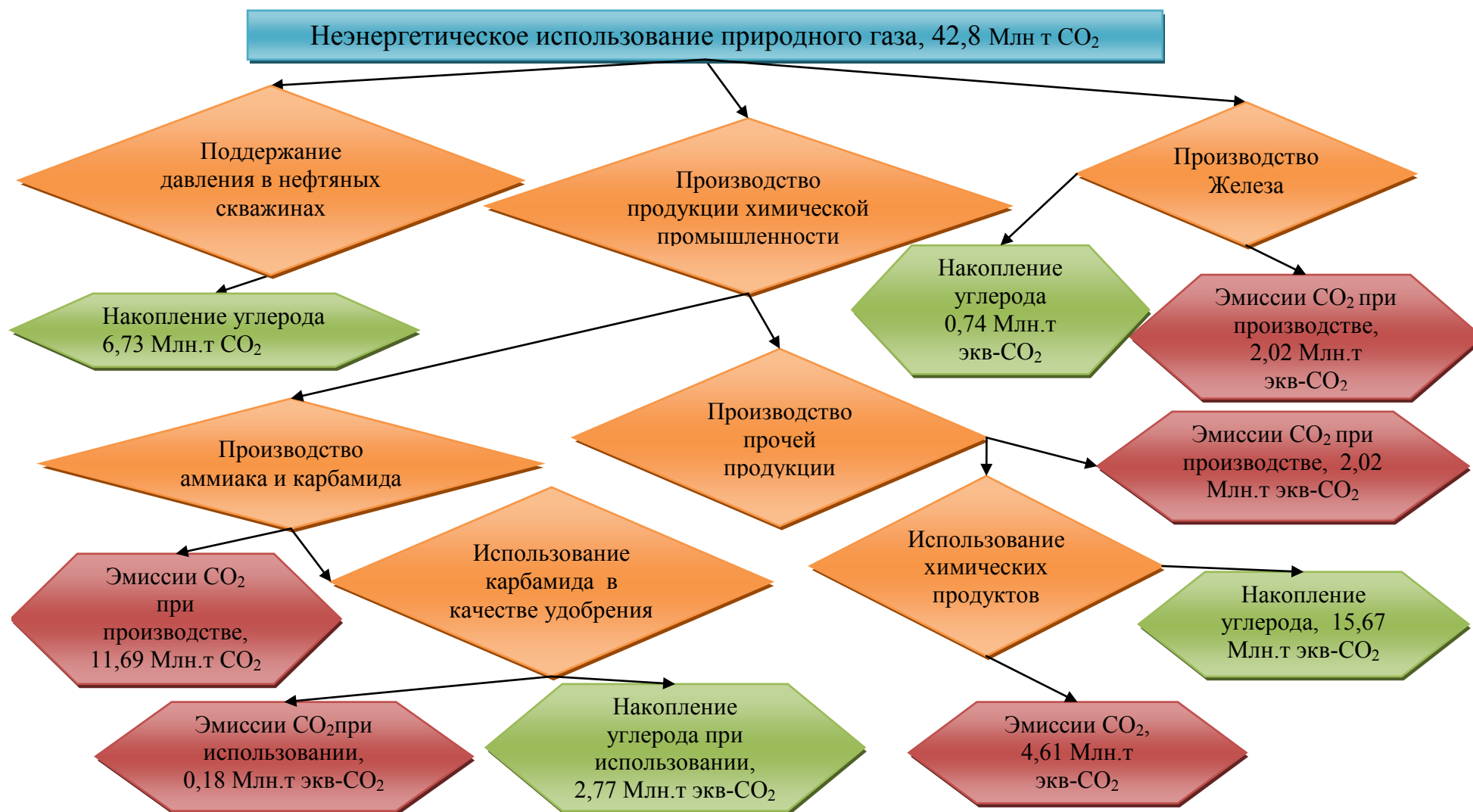


Рис.3 Структура использования природного газа в РФ с определением среднего за период 1997-2009 гг количества углерода (выраженного в эквиваленте CO₂) содержащегося в природном газе на каждом из этапов использования.

Накопление углерода происходит при следующих процессах:

- 1) Поддержание давления в нефтяных скважинах;
- 2) При нетопливном использовании химической продукции;
- 3) При использовании природного газа в качестве восстановителя в «Мидрекс» процессе

На рис. 4 представлена структура неэнергетического использования нефти в РФ в 1997-2009 гг. В настоящее время большая часть добываемой нефти подвергается переработке с целью получения вторичных нефтепродуктов [Мановян, 2001], которые либо являются конечными продуктами, либо используются в качестве сырья при дальнейшем производстве. Исходя из мнений различных авторов - [Мановян, 2001], [Гальцева, 2007] - неэнергетическое использование нефти в РФ составляет около 10 - 20% (средневзвешенная оценка за период 1997-2009 гг., как будет показано ниже, составляет 12,3%) от общего использования нефти в стране и состоит из следующих частей:

- 1) Производство нефтяных масел, в том числе смазочных (моторных, трансмиссионных, промышленных, энергетических) и несмазочных (используемых в качестве рабочих жидкостей в тормозных системах);
- 2) Производство углеродных и вяжущих материалов (нефтяные коксы, нефтебитумы, нефтяные пеки);
- 3) Производство нефтехимического сырья, в том числе ароматических углеводородов (бензол, толуол, ксилолы и т. д.), сырья для пиролиза (попутные нефтяные газы, прямогонные бензиновые фракции) и парафинов и церезинов;
- 4) Производство нефтепродуктов специального назначения (термогазойль, присадки к маслам).

Эмиссии CO_2 , относящиеся при неэнергетическому использованию нефти и ее производных, происходят при следующих процессах:

- 1) Производство нефтехимической продукции (при крекинге);
- 2) Использование электродов из нефтяного кокса в металлургии;
- 3) Нетопливное использование нефтяных масел и прочей продукции;

Накопление углерода при неэнергетическом использовании нефти и ее производных, происходит при следующих процессах:

- 1) Использование битума и асфальта в дорожном строительстве;
- 2) Нетопливное использование нефтяных масел и прочей продукции.

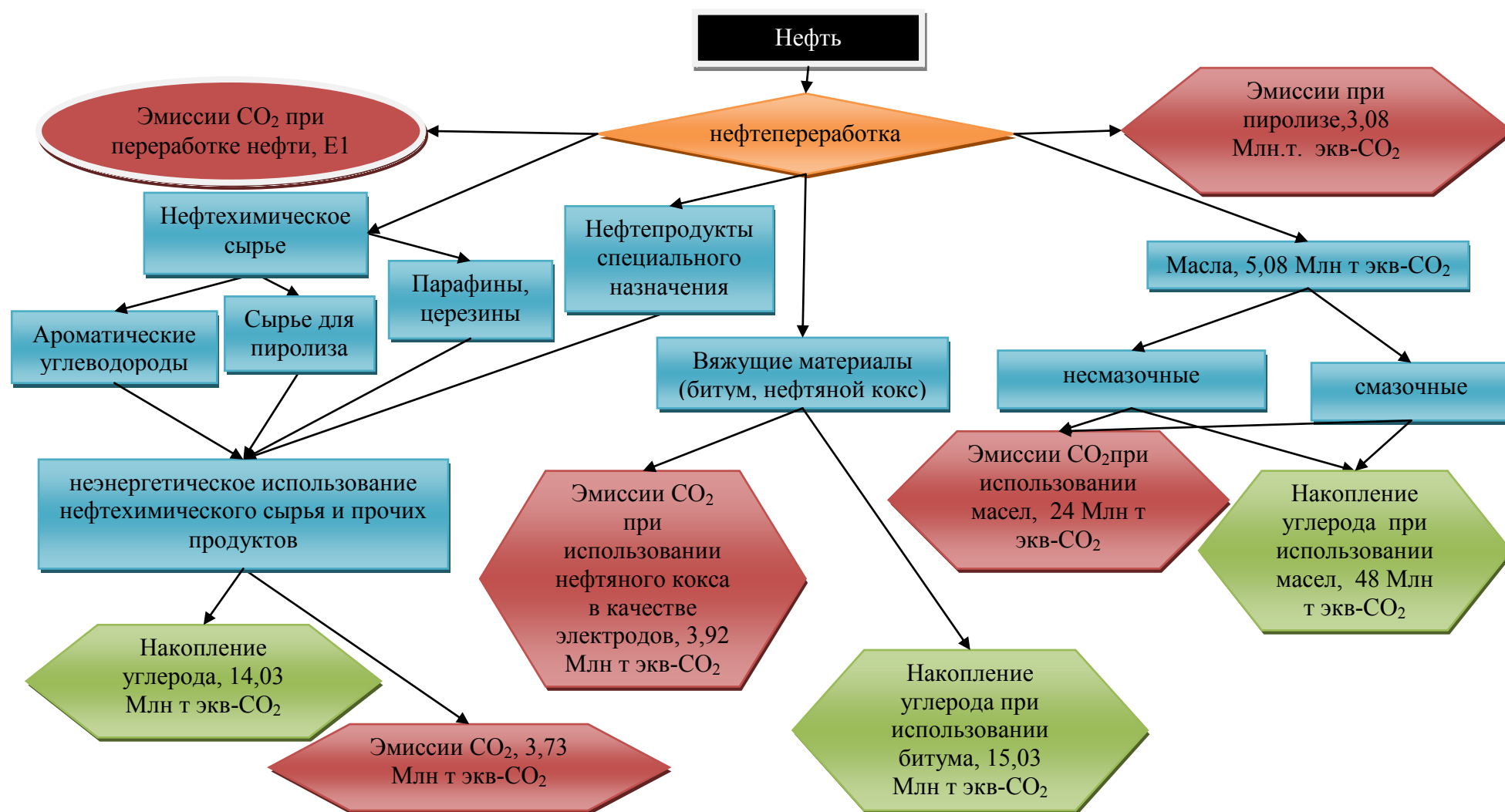


Рис. 4. Структура использования нефти в промышленности РФ за 1997-2009 год

Глава 3. Методологические подходы к расчету эмиссий углекислого газа и накопления углерода при неэнергетическом использовании топливно-энергетических ресурсов.

Глава посвящена используемым в работе методам определения эмиссий углекислого газа и накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР. В данной работе для расчетов эмиссий углекислого газа и накопления углерода используется ТРЭНИТ-модель (Таблица расчетов эмиссий при неэнергетическом использовании топлива) или по-английски NEAT-model (Non-energy use Emission Accounting Tables). ТРЭНИТ-модель была создана учеными Утрехтского университета в рамках деятельности международной сети экспертов по анализу неэнергетического использования ТЭР и связанных с этим эмиссии CO₂ [Patel,2003].

Основана ТРЭНИТ-модель на балансе углерода в промышленности изучаемой страны и состоит из трех частей:

- 1) Расчет эмиссий CO₂ и накопления углерода при производстве и использовании продукции химической, нефтехимической и металлургической промышленности;
- 2) Сравнение полученных результатов с результатами оценок, сделанных согласно методологии МГЭИК.
- 3) Расчет коэффициентов накопления ТЭР для использования их в дальнейшем при расчетах по методологии МГЭИК в секторе «Энергетика».

Принципиальное отличие ТРЭНИТ-модели от методологии МГЭИК состоит в том, что эмиссии углекислого газа рассчитываются исходя из данных о производстве продукции, а не из данных об объеме использованных ТЭР.

В первой части модели рассчитываются эмиссии углекислого газа и накопления углерода при производстве и использовании 77 наиболее важных продуктов химической промышленности, а также эмиссии углекислого газа при производстве продукции черной и цветной металлургии. Совокупность произведенных продуктов химической и металлургической промышленности, выраженной в млн. т экв-CO₂, идет на производство промежуточной и конечной продукции (например, бензол идет на производство этилбензола и каучуков), что сопровождается эмиссией диоксида углерода. Остаток углерода, содержащийся в продукции, частично окисляется при использовании, приводя к эмиссиям углекислого газа, частично накапливается.

Во второй части модели проводится проверка на полноту данных, включенных в расчет. Для этого определяются эмиссии углекислого газа при энергетическом использовании ТЭР, объем которого рассчитывается балансовым методом. Полученные значения, сравниваются с данными национального кадастра, что позволяет оценить

последовательность и законченность ТРЭНИТ-модели. Например, если результаты ТРЭНИТ-моделирования явно ниже оценки, сделанной согласно топливно-энергетическому балансу (ТЭБ), который является основным источником данных для составления кадастра эмиссий парниковых газов, это может быть признаком того, что статистические данные по производству, используемые в модели, являются неполными. С другой стороны, сравнение может помочь идентифицировать недостатки сбора данных по неэнергетическому использованию сырья в ТЭБе.

Сравнение показало, что в ТРЭНИТ-модели не учитывались 3 блока:

- 1) Расчет накопленного углерода для поддержания давления в нефтяных скважинах;
- 2) Расчет накопленного углерода при использовании кокса в качестве восстановителя в металлургических процессах;
- 3) Расчет эмиссий CO₂ при производстве акрилонитрила, оксида этилена, техуглерода и метанола, рассчитываемых согласно методологии МГЭИК 2006 года.

В данной работе для более корректного учета эмиссий CO₂ в ТРЭНИТ-модель были введены эти 3 блока.

Кроме того, коэффициент эмиссии углекислого газа при производстве аммиака, используемый в ТРЭНИТ модели не соответствует российским условиям, поэтому был применен коэффициент эмиссии CO₂, рассчитанный в национальном кадастре, исходя из данных, представляемых заводами-производителями аммиака.

Расчет коэффициента накопления углерода в третьей части ТРЭНИТ-модели производится путем определения доли накопленного углерода от общего содержания углерода в ТЭР при их неэнергетическом использовании.

Содержания углерода в ТЭР определяется по формуле:

$$V_c = V_f \cdot K \cdot 0,029 \cdot E_f, \quad (1)$$

где V_c – количество углерода, содержащегося в ТЭР, т углерода;

V_f – количество ТЭР, т или м³;

K – коэффициент перевода первичных ТЭР в тонны условного топлива, т.у.т.;

0,0293076 – коэффициент перевода условного топлива в ТДж, Тдж/т.у.т.;

E_f – коэффициент эмиссии углерода, т углерода/ТДж.

Параметры, используемые для расчета, приведены в табл. 1.

Для определения количества накопленного углерода и эмитированного углекислого газа в ТРЭНИТ-модели используются следующие формулы:

$$S = P \cdot \frac{K}{100\%} \cdot Sh \quad (2)$$

$$E = P \cdot \left(1 - \frac{K}{100\%}\right) \cdot Sh \quad (3)$$

где S – накопленный в базовых химических продуктах углерод, млн. т экв- CO_2 ;
 E – эмиссии углекислого газа при использовании и производстве химических продуктов и производстве металлургических продуктов, млн. т экв- CO_2 ;
 P – произведенная химическая продукция, млн. т экв- CO_2 ;
 K – общий коэффициент накопления базовых химических продуктов, %;
 Sh – доля использованных ТЭР в качестве сырья, %.

Таблица 1.

Коэффициенты пересчета в условное топливо (тут/ед.) [Росстат] и коэффициенты эмиссии углерода (т С/ТДж) [МГЭИК, 1997].

Вид топливно-энергетических ресурсов	Единицы измерения	Коэффициенты пересчета условного топлива по угольному эквиваленту (т.у.т./ед)	Коэффициент эмиссии углерода, т С/ТДж
Коксующийся уголь	т	0,768	25,8
Уголь бурый	т	0,467	25,8
Нефть, включая газовый конденсат	т	1,430	20,0
Газ горючий природный	тыс. м ³	1,154	15,4
Кокс металлургический	т	0,990	29,5
Мазут топочный	т	1,370	21,1
Газ сжиженный	тыс. м ³	1,570	17,2

Глава 4. Используемые данные. В главе описываются исходные данные, используемые для создания базы данных, необходимые для расчета эмиссии углекислого газа и накопления углерода в РФ при неэнергетическом использовании ТЭР.

В работе были использованы данные статистических форм отчетности предприятий, топливно-энергетический баланс РФ, а также информация, представленная в специальной литературе по технологии переработки нефти [Мановян, 2001], угля [Арюнов, 1970, Кауфман 1995, 2006] и природного газа [Соколов, 2003]. Также была использована информация о технологии производства продуктов обрабатывающей промышленности – химической [Соколов, 2003], нефтехимической [Гальцева, 2007], металлургической [Лякишев, 1988, Каблуковский 2003] и коксохимической [Скляр, 1984, Кауфман 1995, 2006].

Используемая для расчетов эмиссий углекислого газа ТРЭНИТ-модель достаточно требовательна к исходным данным, и для успешного ее применения требуются данные по производству, экспорту и импорту 77 продуктов химической и 12 продуктов металлургической промышленности. Для этого в ходе работы были использована информация Центральной Базы Статистических Данных (ЦБСД) [<http://www.gks.ru>], а также данные таможенной статистики. Так как в Росстате информация была представлена только для 60 из 77 продуктов химической промышленности (в частности, не приведена статистика

по потреблению синтез-газа, циклогексана и ряда других продуктов), то производство недостающих продуктов было оценено по количеству произведенных из них промежуточных и конечных продуктов. Оценка была проведена на основании структуры российской промышленности, при предположении сохранения баланса углерода.

Во второй части ТРЭНИТ-модели проводится сравнение оценок эмиссий диоксида углерода при сжигании ТЭР, выполненных по ТРЭНИТ-модели, с оценками эмиссий диоксида углерода, сделанными в национальном кадастре по методологии МГЭИК. Для сравнения используются оценки эмиссий CO_2 при сжигании ТЭР, оцененные по базовому и секторному подходам [Национальный доклад о кадастре, 2012].

Для расчета коэффициента накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР необходима информация о сырье, из которого произведена конечная химическая продукция, т.е. о процентном соотношении различных видов исходных ТЭР, используемых для производства базовых химических продуктов. Однако эти сведения с детализацией по заводам-изготовителям недоступны, а осредненные оценки, приведенные в разных источниках, не совпадают друг с другом [RCC GROUP, 2004]. Поэтому в работе была проведена оценка процентного соотношения использования ТЭР при изготовлении продукции перерабатывающей промышленности. Для этого была разработана региональная модель расчета доли использованных ТЭР. Основная идея региональной модели состоит в том, что для расчета доли использованного ТЭР в качестве сырья выбираются те регионы, где производится базовые химические продукты (метанол, аммиак, бензол, этилен и др.). В регионах, в которых находятся заводы по производству базовой продукции перерабатывающего производства, суммируется объем ТЭР, используемых в неэнергетических целях (т.е. суммируется количество использованного в качестве сырья природного газа, нефти, кокса и других продуктов). Информация по региональному распределению использования ТЭР в качестве сырья берется из данных формы статистической отчетности Росстата - 4тер (Сведения об остатках, поступлении и расходе топливно-энергетических ресурсов, сборе и использовании отработанных нефтепродуктов). Затем общее количество ТЭР, использованных в неэнергетических целях в регионах, делится на их общее количество, используемое в стране в качестве сырья. При расчетах при этом делаются следующие допущения:

- 1) все неэнергетическое использование ТЭР приходится на химическую промышленность;
- 2) в регионе-производителе химической продукции производится только тот продукт, для которого проводится расчет.

Расчет доли используемого сырья проводится в соответствие с формулой:

$$sh_i = \frac{\sum_j Q_{i,j}}{\sum_i \sum_j Q_{i,j}} \quad (4)$$

где sh_i - доля использованного ТЭР вида i в регионе i при производстве данного химического продукта.

$Q_{i,j}$ – количество использованного ТЭР вида i в регионе j , ТДж;

Для визуализации данных расчетов использовалась программа MapInfo. Расчеты доли использованного сырья проведены для производства 5 продуктов: технического углерода, аммиака, этилена, бензола и метанола. Результаты проведенных расчетов приведены в таблице 2. Пример визуализации данных, проведенный с помощью программы MapInfo, представлен на рис. 5.

Таблица 2. Данные по использованию различных видов ТЭР в качестве сырья, рассчитанные в региональной модели и полученные из официальных отчетов

Базовые продукты	Данные, полученные в региональной модели	Данные, полученные из официальных отчетов	Доли, используемые в дальнейших расчетах по ТРЭНИТ модели
аммиак	99% природный газ, 1% уголь	более 99% природный газ	100% природный газ
бензол	50% природный газ, 30% СНГ, 20% уголь	75% Нафта, 25% каменноугольная смола	50% природный газ, 30% СНГ, 20% уголь
продукты пиролиза	60%-природный газ, 40% СНГ и прочие нефтепродукты	100% Нафта и прочие нефтепродукты	100% Нафта и прочие нефтепродукты
метанол	95% природный газ, 5% СНГ	более 90% природный газ	100% природный газ
технический углерод	100% природный газ	70% природный газ, 30% каменноугольная смола	100% природный газ

Как видно из этой таблицы, результаты оценки с использованием региональной модели достаточно хорошо соответствуют результатам коммерческих отчетов и данным Росстата. Полученные оценки доли использованных ТЭР в качестве сырья были применены для расчетов по ТРЭНИТ модели и для составления баланса использования ТЭР в экономике РФ, представленного на рис. 2–4.

В результате проведенного анализа данных статистической отчетности и дополнительных расчетов по разработанной модели была создана база данных, необходимая для расчета эмиссии углекислого газа и накопления углерода в РФ при неэнергетическом использовании ТЭР за 1997-2009 годы, содержащая данные о производстве, экспорте и импорте химических продуктов, технологии их производства, объемах ТЭР, используемых в

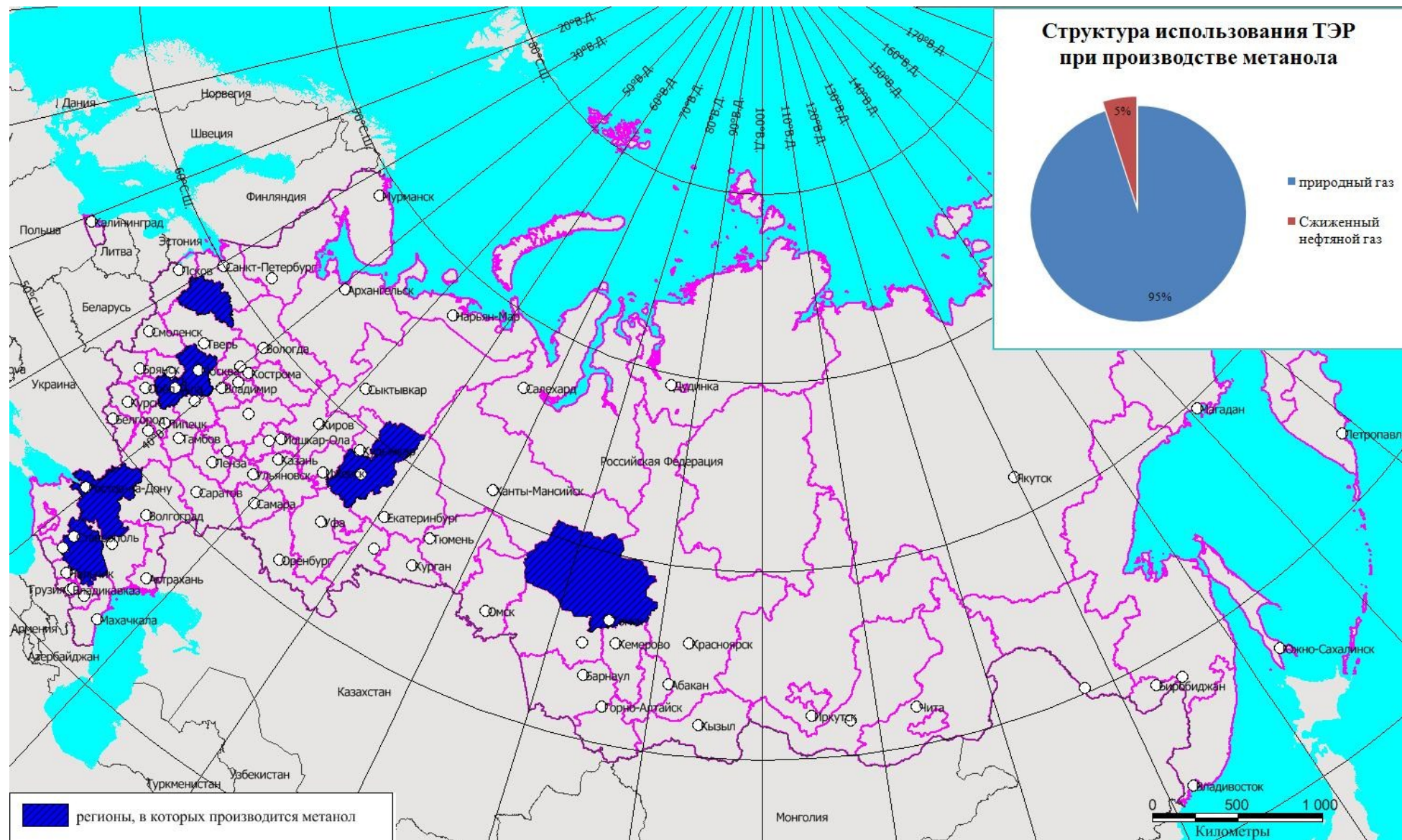


Рис. 5. Производство метанола в России и средняя для страны доля использованных ТЭР в качестве сырья при производстве метанола.

качестве сырья. В базу данных включена информация по 65 химическим и 12 металлургическим продуктам, общий объем составляет более 70 значений для каждого года и содержит информацию за период с 1997 по 2009 годы.

Глава 5. Полученные результаты

В главе приведены результаты оценки эмиссий углекислого газа и накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР в экономике России, а так же результаты расчета коэффициентов накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР в России.

В ходе работы были рассчитаны эмиссии углекислого газа при сжигании ТЭР с использованием ТРЭНИТ-модели на основе данных о производстве конечной продукции, а также при производстве и неэнергетическом использовании химических продуктов, не включенных в национальный кадастр. ТРЭНИТ модель позволяет рассчитать эмиссии при конечном использовании всех химических продуктов, данные о производстве, экспорте и импорте которых введены в модель. В результате, как показано в таблице 3, суммарная эмиссия CO₂ при использовании и производстве химической продукции, не учитываемая в настоящее время в национальном кадастре составляет в разные годы от 8 до 20 млн.т CO₂. Учет данных выбросов увеличивает суммарную эмиссию CO₂ при неэнергетическом использовании ТЭР в среднем на 16%.

В таблице 4 представлены результаты расчета эмиссий при энергетическом использовании ТЭР. Как видно из таблицы, разница между расчетами эмиссий CO₂, полученными согласно ТРЭНИТ-модели, и по методологии МГЭИК (секторный подход) составляют не более 2% (начиная с 2000 года). Таким образом, целесообразно использование ТРЭНИТ-модели в качестве альтернативного подхода для расчета эмиссий CO₂, с целью проведения дополнительных исследований, контроля качества и полноты оценок, сделанных в национальном кадастре, а так же для разработки специфических для России параметров и коэффициентов, которые в дальнейшем могут быть внедрены в расчеты по методологии МГЭИК.

В ходе работы также была проведена оценка среднего для России процентного соотношения использования ТЭР при изготовлении продукции специфицированного по видам продукции. Показано, что: 99% аммиака в стране производится из природного газа; 95% метанола так же производится из природного газа, 50% бензола производится из природного газа, 30% – из нефтепродуктов, 20% - из угля. Полученные результаты достаточно хорошо соответствуют данным коммерческих отчетов предприятий и данным Росстата.

На основе данных об эмиссиях CO_2 и накоплении углерода была проанализирована структура неэнергетического использования ТЭР в экономике РФ за период 1997 - 2009 гг.

Неэнергетическое использование угля и продуктов его переработки за период 1997–2009 состоит из – 95% кокса, 5% каменноугольного масла и продуктов его переработки. Природный газ, используемый в неэнергетических целях за период 1997-2009, на 47% идет на производство химической продукции, 34% – на производство аммиака и карбамида, на 16 % - поддержание давления в скважинах, 3% используется в качестве восстановителя при производстве железа прямого восстановления. Из нефти и продуктов ее переработки, используемых в неэнергетических целях, 65% идет на производство прочих нефтепродуктов, 17% – производство нефтебитума, 8% – производство прямогонного бензина, по 5% - производство смазочных материалов и нефтяного кокса. Данное соотношения для различных лет для угля, нефти и продуктов их переработки примерно одинаково, исключение составляет природный газ, где доля его использования для поддержания давления в скважинах непрерывно возрастает.

Проведенный анализ временных изменений показывает (рисунок 6, 7), что общее количество ТЭР, используемых в неэнергетических целях, а также доля нетопливного использования (не считая угля и продуктов его переработки), растет. Средневзвешенная доля неэнергетического использования ТЭР в суммарном потреблении составляет: для угля и продуктов переработки – 21,3%, для нефти и продуктов переработки – 12,3 %, для природного газа – 5,4%.

По результатам анализ структуры нетопливного использования ТЭР были рассчитаны коэффициенты накопления углерода для использования их в рамках базового подхода МГЭИК. Результаты этих оценок представлены в табл. 5. Также, в данной таблице представлены стандартные коэффициенты накопления, предлагаемые в методике МГЭИК, и коэффициенты накопления углерода, разработанные в США [Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2007] и Германии [Weiss et al, 2007]. Как видно из таблицы коэффициенты накопления углерода при нетопливном использовании природного газа, разработанные с учетом национальной специфики, как для США, так и для России, существенно выше коэффициентов, предлагаемых МГЭИК, для Германии – находятся на уровне средних значений, предлагаемых МГЭИК. При этом для нефтепродуктов, наоборот, полученные коэффициенты накопления углерода для условий России, так же как и в США, ниже, принятых в МГЭИК.

Используя рассчитанные коэффициенты накопления углерода, были пересчитаны эмиссии CO_2 по базовому подходу методологии МГЭИК. Как видно из таблицы, использование коэффициентов накопления, рассчитанных в данной работе, позволяет

Таблица 3. Эмиссии CO₂ при использовании растворителей и другой продукции, а также при производстве ряда химических продуктов, не рассчитываемые в рамках национального кадастра

Рассчитываемый сектор МГЭИК	Годы исследования												
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Эмиссий CO₂ при использовании продуктов с помощью ТРЭНИТ-модели, Млн. т экв-CO₂													
Сектор «Использование растворителей и другой продукции»	6,79	5,71	8,82	8,91	10,02	10,15	10,31	9,20	10,30	10,71	9,01	11,32	5,52
Эмиссии CO₂ при производстве химических продуктов, рассчитываемые с помощью ТРЭНИТ-модели и методологии МГЭИК 2006 года, Млн. т экв-CO₂													
производство метанола (ТРЭНИТ-модель)	1,01	0,79	0,95	1,27	1,42	1,52	1,93	1,95	1,97	2,12	2,36	2,35	1,57
Производство этилена (МГЭИК, 2006)	2,52	2,34	3,27	3,79	3,91	4,01	4,21	4,33	4,22	4,31	4,26	4,67	4,55
Производство этилена (ТРЭНИТ-модель)	2,30	1,10	3,00	3,50	3,60	3,75	3,90	2,10	2,40	4,00	3,80	4,30	2,20
Производство Техуглерода (ТРЭНИТ-модель)	0,83	0,77	0,91	1,12	1,29	1,38	1,61	1,75	1,79	1,64	1,74	1,65	1,40
Производство оксида этилена (МГЭИК, 2006)	0,23	0,19	0,22	0,27	0,28	0,29	0,32	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,25
Производство акрилонитрила (МГЭИК, 2006)	0,02	0,00	0,01	0,07	0,08	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
Суммарные эмиссии CO₂ при использовании и производстве химических продуктов, Млн. т экв-CO₂.													
Расчет по ТРЭНИТ модели	11,18	8,55	13,91	15,13	16,68	17,21	18,19	15,45	16,92	18,91	17,35	20,04	11,02

Таблица 4. Расчет эмиссий диоксида углерода в атмосферу согласно различным методам оценки.

Метод расчета	№	Годы исследований												
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Эмиссии углекислого газа согласно различным методам расчета, млн. т экв-СО ₂														
Национальный кадастр, сектор Энергетика, базовый подход	1	1423	1381	1402	1409	1403	1389	1422	1415	1416	1434	1427	1477	1387
Национальный кадастр, сектор Энергетика, секторный подход	2	1329	1309	1330	1354	1337	1359	1351	1344	1343	1388	1376	1425	1361
ТРЭНИТ-модель	3	1390	1351	1361	1364	1353	1364	1333	1364	1360	1375	1363	1407	1335
Базовый подход с применением рассчитанных коэффициентов накопления	4	1416	1372	1381	1381	1380	1373	1401	1397	1388	1409	1396	1449	1353
Разница эмиссий, рассчитанных различными методами, %														
Разница между секторным и базовым подходом (Национальный кадастр)	1 и 2	7,07	5,50	5,41	4,06	4,94	2,21	5,26	5,28	5,44	3,29	3,71	3,63	1,91
Разница между оценками, сделанными по ТРЭНИТ-модели, и секторным подходом (национальный кадастр, Сектор Энергетика)	3 и 2	4,59	3,21	2,30	0,74	1,22	0,43	1,33	1,52	1,31	1,02	0,93	1,32	1,84
Разница между оценками, сделанными секторному подходу(национальный кадастр, Сектор Энергетика) и базовому подходу с рассчитанными коэффициентами(Сектор Энергетика)	4 и 2	6,58	4,80	3,87	2,03	3,25	1,03	3,70	3,91	3,34	1,50	1,44	1,64	0,59

Таблица 5. Коэффициенты накопления, приведенные в методике МГЭИК, используемые в США и Германии и рассчитанные в ТРЭНИТ-модели

Вид ТЭР	Коэффициенты накопления, %			
	Германия	США	МГЭИК	Рассчитанные в ТРЭНИТ-модели
Природный газ	38-44	61	33	46-69
Нефтепродукты		50-61	80	65-84
Кокс	7		75	95-100
Смазочные материалы	74	9	57	63
Каменноугольное масло	67-74	61	75	15-25

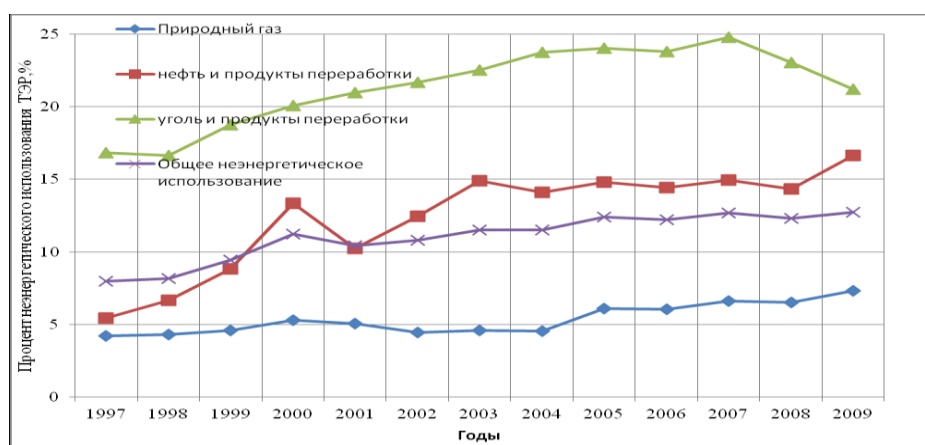


Рис.6. Изменение доли использования ТЭР в неэнергетических целях в РФ в 1997 – 2009 гг.

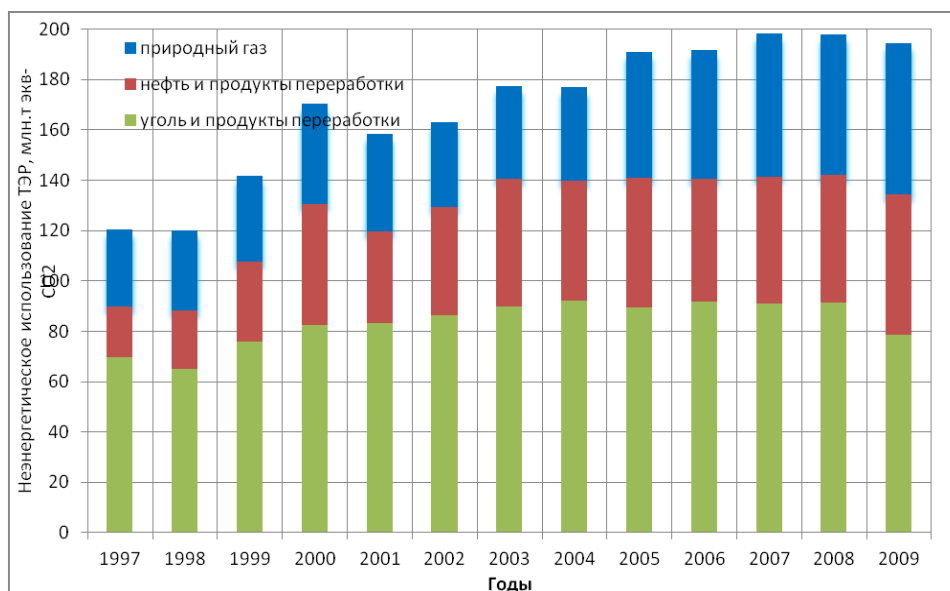


Рис.7. Количественная оценка применения различных вида ТЭР в неэнергетических целей в РФ в 1997 – 2009 гг.

сократить разницу между оценками эмиссий по секторному и базовому подходам на 2 - 3%; а для ряда лет разница не превышает требуемых МГЭИК 2%

Выводы

1. Проведенный анализ существующих методов расчета накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР показал необходимость разработки коэффициентов накопления углерода, специфических для условий РФ, а результаты предварительных оценок выбросов CO_2 при использовании ТЭР на основе данных о производстве конечной продукции показали целесообразность использования для этих целей ТРЭНИТ-модели.
2. Для проведения количественных оценок эмиссии CO_2 и накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР создана база данных, включающая информацию о производстве, экспорте и импорте химических и металлургических продуктов, а также данные по использованию ТЭР. В базу включены данные по 65 химическим и 12 металлургическим продуктам, общий объем составляет более 200 значений для каждого года и содержит информацию за период с 1997 по 2009 годы.
3. Проведена оценка среднего для России процентного соотношения использования ТЭР при изготовлении продукции специфицированного по видам продукции. Показано, что: 99% аммиака в стране производится из природного газа; 95% метанола так же производится из природного газа, 50% бензола производится из природного газа, 30% – из нефтепродуктов, 20% - из угля. Полученные результаты достаточно хорошо соответствуют данным коммерческих отчетов предприятий и данным Росстата.
4. На основе оцененной доли неэнергетического использования ТЭР в качестве сырья составлен баланс их применения в экономике России. Так, 95% неэнергетического использования угля и продуктов его переработки обусловлено производством кокса; 16 % природного газа, используемого в неэнергетических целях, закачивается в скважины для поддержания давления, 34% – идет на производство аммиака и карбамида, 47% - на производство химической продукции.
5. Показано, что доля неэнергетического использования, в общем использовании ТЭР в стране, возрастает, при этом до 2007 года увеличивается неэнергетическое использование всех видов ТЭР, а после 2007 доля неэнергетического использования твердых ТЭР уменьшается.
6. Усовершенствована и адаптирована к условиям РФ системная модель расчета эмиссий CO_2 при неэнергетическом использовании ТЭР (ТРЭНИТ модель). Разработан блок расчета накопленного углерода при коксовании и при закачке газа в скважины для поддержания давления, введены специфические для РФ коэффициенты эмиссий углекислого газа при производстве аммиака. Показано, что использование ТРЭНИТ-

модели позволяет рассчитать эмиссии CO_2 не только при использовании парафиновых свечей и смазочных масел (как предусмотрено методологией МГЭИК, 2006 в секторе «Использование растворителей и другой продукции»), но и других химических продуктов, что увеличивает суммарную эмиссию CO_2 при неэнергетическом использовании ТЭР в среднем на 16%. В дальнейшем ТРЭНИТ-модель может быть использована для расчетов эмиссий CO_2 в данном секторе национального кадастра.

7. Рассчитаны коэффициенты накопления углерода при неэнергетическом использовании ТЭР. Полученные значения коэффициентов для природного газа существенно превышают значения коэффициентов, рекомендованных МГЭИК, для нефти и продуктов ее переработки – составляют примерно те же значения, а для каменноугольного масла – существенно ниже того, что представлено в руководстве МГЭИК. Различия оценок эмиссий углекислого газа, полученных в рамках базового подхода и секторного подхода с применением российских коэффициентов накопления углерода, сократились и для ряда лет не превышали требуемых МГЭИК 2%.

Результаты данного исследования были опубликованы в основных работах автора:

- 1) Кузовкин В.В.. Расчеты выбросов CO_2 и захоронения углерода в химической и металлургической промышленности. // Материалы 2 Международной заочной научно-практической конференции «Информационное пространство науки». 18 сентября 2010 // Отв. Ред. М.В. Волкова – Чебоксары: НИИ педагогики и психологии, 2010, с. 212.
- 2) Кузовкин В.В.. Расчет использования сырья для производства аммиака с учетом регионального распределения сырья. // Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции с международным участием "Наука и практика: проблемы, идеи, инновации". Сборник научных трудов.// Мир гуманитарных наук – Екатеринбург: ИП Бирюля Н.Н., 2010, с. 128.
- 3) Кузовкин В.В.. Расчет использования сырья для производства метанола с учетом регионального распределения сырья. // Материалы V Международной научно-практической конференции "Наука и современность - 2010". – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010, с. 435
- 4) Кузовкин В.В.. Расчет эмиссий и захоронений углерода при неэнергетическом использовании топлива в промышленности. // Материалы конференции молодых ученых, посвященная 55-летию ИПГ, г. Москва 2011, с.105.
- 5) Кузовкин В.В.. Моделирование эмиссий CO_2 и захоронения углерода при неэнергетическом использовании топлива. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, январь 2011, с.53.
- 6) Кузовкин В.В.. Анализ структуры неэнергетического использования газообразного топлива в экономике РФ. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, апрель 2012, с.7.
- 7) Кузовкин В.В. . Анализ структуры использования жидких углеводородов в экономике РФ. // Нефтехимия и нефтепереработка, октябрь 2012