

На правах рукописи



Нурмесев Борис Кашифович

✓ **МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ
ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ОТ
СТАЦИОНАРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2006

1011 - 105-121

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте охраны атмосферного воздуха

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук
Миляев Виталий Борисович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Музалевский Анатолий Александрович,

кандидат технических наук,
доцент Милохов Владимир Васильевич

Ведущая организация

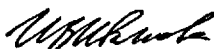
Российский государственный гидрометеорологический университет

Защита состоится 26 сентября 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.244.01 в Северо-Западном государственном заочном техническом университете по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д.5, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Северо-Западного государственного заочного технического университета.

Автореферат разослан 25 августа 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Иванова И.В.

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Топливо-энергетический сектор экономики является одновременно крупнейшим потребителем минеральных природных ресурсов и одним из главных загрязнителей природной среды. Под влиянием антропогенных энергетических источников происходит истощение и загрязнение геосферных оболочек Земли. Проблема эффективного использования топливно-энергетических ресурсов относится к числу ключевых в геоэкологии и играет особенно важную роль в области охраны атмосферного воздуха.

Выбросы в атмосферу основных загрязняющих вредных веществ и парниковых газов на 80 – 90% обусловлены процессами сжигания органического топлива. Продукты сгорания органического топлива поступают в атмосферный воздух от энергетических источников, в числе которых тепловые электрические станции, промышленные и коммунальные котельные, различные бытовые устройства, использующие органическое топливо для выработки тепловой, механической и электрической энергии. Из-за неэффективного использования вырабатываемой энергии более половины топлива сгорает впустую, при этом создаются неоправданно высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха.

На городском и региональном уровнях осуществляется управление качеством атмосферного воздуха. В том числе принимаются решения по выбору методов регулирования выбросов, поступающих в атмосферу от энергетических источников с продуктами сгорания органического топлива. При этом ресурсы энергосбережения часто выпадают из системы экологических мероприятий, предпринимаемых службами охраны окружающей среды на промышленных предприятиях, и остаются вне поля зрения государственных природоохранных структур. Между тем, на основе целостного системного анализа потенциала энергосбережения для всей совокупности производящих и потребляющих энергию объектов можно не только повысить эффективность энергоснабжения, но и существенно расширить возможности охраны атмосферного воздуха. Энергосберегающие мероприятия (ЭСМ), в первую очередь, в сфере потребления, способны обеспечить экономное расходование ископаемого топлива; пропорционально достигнутой экономии топлива сокращаются выбросы вредных продуктов сгорания в атмосферу.

Чтобы организовать эффективную систему регулирования выбросов, необходимо включать методы энергосбережения в число рассматриваемых мер по улучшению качества атмосферного воздуха. Для этого должна быть обеспечена возможность их сравнения в сопоставимых величинах с другими известными методами сокращения выбросов. Оценка экологического эффекта, получаемого в результате роста эффективности энергоснабжения, в том числе при реализации ЭСМ, позволит оптимизировать процедуру выбора средств защиты воздушного бассейна от загрязнения.

Основная идея работы состоит в том, что система регулирования выбросов в атмосферу от стационарных энергетических источников должна включать в себя не только методы прямого воздействия на качество топлива, режим горения, физико-технические параметры отходящих газов и их очистку, но и методы, повышающие эффективность выработки, передачи и конечного использования производимой энергии.

Объект исследования: загрязнение атмосферного воздуха продуктами сгорания органического топлива, поступающими от стационарных энергетических источников.

Предмет исследования: роль энергосбережения в сокращении промышленных выбросов и улучшении качества атмосферного воздуха.

Цель диссертационной работы: разработка метода сравнительной экологической оценки мероприятий по регулированию выбросов в атмосферу продуктов сгорания органического топлива от стационарных энергетических источников, включая энергосберегающие мероприятия, и оценка возможностей использования энергосбережения в управлении качеством атмосферного воздуха.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие основные задачи исследования:

1. Изучить и проанализировать геоэкологические воздействия, обусловленные процессами выработки и использования энергии органического топлива, влияющие на качество атмосферного воздуха. Определить структурные составляющие системы, в рамках которой может осуществляться экологическая оценка мероприятий по регулированию выбросов от стационарных энергетических источников.
2. Систематизировать методы регулирования выбросов в атмосферу от стационарных энергетических источников, в том числе методы повышения энергоэффективности и энергосбережения; определить их роль и место в организации долгосрочного и оперативного регулирования выбросов.
3. Предложить аналитическую модель эколого-энергетического планирования развития территории, города, отдельных предприятий, в которой определяется тенденция изменения количества потребляемого топлива и выбросов продуктов сгорания.
4. Предложить новые способы регулирования выбросов на основе системного экологического подхода к топочным процессам в стационарных энергетических установках.
5. Разработать метод сравнительной экологической оценки
 - процессов сжигания топлива в стационарных энергетических устройствах;
 - мероприятий по сокращению выбросов в атмосферу от стационарных энергетических источников, включая энергосберегающие мероприятия.

Научная новизна работы:

- Разработана классификация методов регулирования выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания от стационарных энергетических источников.
- Выявлены особенности влияния энергосбережения на поступление в атмосферный воздух и распространение вблизи земной поверхности продуктов сгорания от стационарных энергетических источников при долгосрочном и оперативном регулировании выбросов.
- Установлены закономерности изменения совокупной токсичности загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания основных видов органического топлива, в зависимости от тепловой мощности энергетических установок.
- Обоснован экологический принцип перераспределения региональных топливных потоков в качестве метода регулирования выбросов и с целью защиты воздушного бассейна урбанизированной территории.
- Предложен способ управления подачей воздуха на горение топлива, заключающийся в формировании корректирующего сигнала по сумме сигналов от датчиков содержания загрязняющих веществ в отходящих газах, в соответствии с заданным критерием экологически оптимального режима горения.
- Предложен способ оперативного регулирования выбросов стационарного энергетического источника при пониженных нагрузках, заключающийся в кратковременном увеличении эффективной высоты выброса за счет использования резервной мощности энергетического оборудования для усиления динамических характеристик дымового факела.

Методы исследования

Общей методологической основой выполняемой работы является системный подход, включающий анализ и обобщение опыта работ в области контроля источников загрязнения атмосферы продуктами сгорания, расчетов рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и реализации методов, обеспечивающих эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Для решения поставленных задач производилась обработка отчетных материалов государственного и производственного экологического контроля промышленных предприятий, данных об испытаниях стационарных энергетических топливосжигающих установок и их влиянии на загрязнение атмосферного воздуха.

Практическая значимость работы

Результаты данной работы могут быть использованы органами местной власти, государственными природоохранными структурами и руководством промышленных предприятий:

а) при выборе мероприятий по сокращению выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания органического топлива от стационарных энергетических источников;

б) при прогнозировании тенденции загрязнения атмосферы, разработке программ снижения вредного воздействия на атмосферный воздух и обосновании стратегии воздухоохранной деятельности;

в) при подготовке концепций экономического развития в условиях экологических и ресурсных ограничений;

г) при разработке региональных энергетических программ.

Основные защищаемые научные положения:

1. Методический подход, предусматривающий систематизацию и сравнительную экологическую оценку мероприятий по регулированию выбросов продуктов сгорания от энергетических источников, включая в число этих мероприятий реализацию экологически обусловленных методов повышения энергоэффективности и энергосбережения, позволяет улучшить управление качеством атмосферного воздуха.
2. Уровень защиты воздушного бассейна урбанизированной территории от загрязнения можно повысить, если перераспределить городские и региональные топливные потоки на основе результатов сравнительного экологического анализа стационарных энергетических установок различной мощности и назначения.
3. При пониженных нагрузках стационарного энергетического источника могут возникать ситуации, неблагоприятные для рассеивания выбросов в атмосферном воздухе. В таких случаях для увеличения эффективной высоты выбросов, с целью снижения наземной концентрации вредных веществ, могут быть использованы тягодутьевые устройства резервных энергетических установок.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинарах и заседаниях научно-технического совета НИИ охраны атмосферного воздуха (Санкт-Петербург, 2001 – 2005 гг.), на Научно-практической конференции «Развитие и совершенствование научно-методической и нормативно-правовой деятельности в обеспечении реализации статей Федерального закона «Об охране окружающей среды»» (Санкт-Петербург, 4-5 июня 2002 г.), на IV Международной конференции «"Воздух'2004" Научно-технические, социальные и экономические проблемы воздушной среды» (Санкт-Петербург, 9-11 июня 2004 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований автором опубликовано десять научных работ, в том числе два авторских свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст изложен на 120 страницах, включает 11 таблиц и 12 рисунков. Список литературы содержит 124 наименования.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность проблемы, формулируются цель и задачи исследования, показаны научная новизна, методологическая основа и практическая значимость диссертационной работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе анализируются существующие концепции и направления исследований в области энергосбережения. Отмечается недостаточное внимание в большинстве научных публикаций к экологическим аспектам энергосбережения. На основании проведенного анализа геоэкологических воздействий, обусловленных применением органического топлива и оказывающих влияние на качество атмосферного воздуха, определены структурные составляющие системы, в рамках которой может осуществляться экологическая оценка мероприятий по регулированию выбросов от стационарных энергетических источников. Для решения поставленной задачи в систему должны быть включены следующие структурные звенья: *атмосферный воздух – ископаемое топливо – энергетические источники – передача энергии – энергопотребление* (рис. 1).

Изображенные на рис. 1 потоки вещества представляют собой: добычу и доставку ископаемого топлива к энергетическим установкам, подачу воздуха для горения, выбросы продуктов сгорания в атмосферу. От энергетических источников потребителям поставляется электрическая и тепловая энергия; при этом происходит рассеивание энергии в окружающей среде. Навстречу этим потокам направлены управляющие воздействия, обусловленные изменением количества потребляемой энергии.

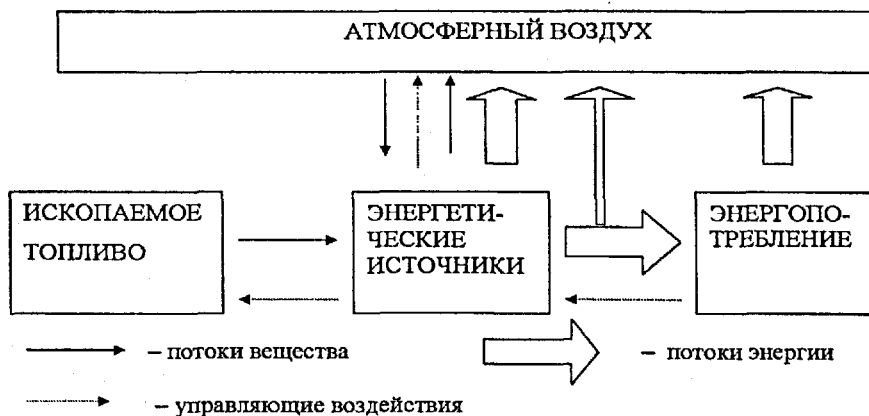


Рис. 1. Энергосбережение как инструмент регулирования выбросов: основные потоки вещества и энергии; управляющие воздействия.

Во второй главе произведена систематизация методов регулирования выбросов, поступающих в атмосферу от энергетического источника с продуктами сгорания органического топлива. В зависимости от оказываемого влияния на основные параметры выбросов, все методы разделены на три направления. Первое направление ставит своей целью снижение концентрации отдельных загрязняющих веществ в уходящих газах (подготовка топлива перед сжиганием, воздействие на топочные процессы, применение средств газоочистки). Второе направление способствует уменьшению расхода топлива (и объемного расхода дымовых газов) за счет роста энергоэффективности и энергосбережения; пропорционально расходу топлива сокращаются выбросы всех продуктов сгорания. К третьему направлению можно отнести специальные мероприятия по изменению термодинамических характеристик дымовых газов, производимые с целью увеличения эффективной высоты выброса.

В табл.1 приведены первые два из названных направлений. Они подразделяются на группы, которые различаются по своей принадлежности к различным стадиям использования топлива (левая колонка) или вырабатываемой энергии (правая колонка).

Таблица 1. Методы сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических источников

Снижение удельного содержания вредного вещества в дымовых газах (методы первой категории)		Снижение расхода топлива и объемного расхода дымовых газов (методы второй категории)	
A	Предварительная подготовка топлива перед сжиганием	E	Повышение КПД энергетического источника
B	Замена или перераспределение используемого топлива	F	Снижение потерь при передаче энергии
C	Режимные и технологические методы воздействия на процесс горения	G	Эффективное использование энергии потребителями
D	Очистка отходящих газов	H	Замещение ископаемого топлива альтернативными источниками энергии
I	Перераспределение нагрузки в энергосистеме в соответствии с экологическим/ энергетическим критерием эффективности		

Все перечисленные методы различаются по уровню (масштабу) воздействия и по целевым показателям. Существенно различаются их роль и значение в условиях долгосрочного и оперативного регулирования выбросов с целью улучшения качества атмосферного воздуха. Обобщенная классификация методов регулирования выбросов представлена на рис. 2.



Рис. 2. Классификация методов регулирования выбросов в атмосферу от энергетических источников.

Задачей долгосрочного регулирования выбросов является заблаговременное принятие мер по защите атмосферного воздуха города в условиях роста промышленного потенциала, развития жилищно-коммунального сектора и транспорта, с учетом влияния других качественных и количественных характеристик. Долгосрочное регулирование в системе управления качеством атмосферного воздуха предусматривает прогнозирование тенденции загрязнения атмосферы и планирование воздухоохраных мероприятий.

С целью выработки адекватной воздухоохранной стратегии и для использования в ходе планирования экономического развития территории, города, отдельных предприятий, диссертантом предлагается аналитическая модель, построенная на основе балансовых уравнений потоков энергии в сфере потребления, с учетом существующей взаимосвязи энергетических и экологических факторов.

Количество подведенной к потребителям (конечной) энергии E_k обеспечивается в общем случае суммой: $E_k = E_T + E_3$,

где E_T – топливная составляющая (доля) подведенной энергии, полученная за счет использования органического топлива в процессах выработки тепловой, механической и электрической энергии; E_3 – топливозамещающая доля подведенной энергии, полученная от энергоустановок и электростанций (атомные и гидроэлектростанции, нетрадиционные возобновляемые источники энергии), замещающих эквивалентное количество органического топлива. Соответственно изменение количества подведенной энергии:

$$\Delta E_k = \Delta E_T + \Delta E_3 \quad (1)$$

Внутренние составляющие E_k : полезно используемая доля $E_{\text{ПИ}}$ и потери, обусловленные несовершенством использования подведенной энергии. Потери в приемниках энергии обычно существенно превышают величину $E_{\text{ПИ}}$ и представляют собой область специальных исследований для выявления потенциала энергосбережения и реализации ЭСМ.

Изменение количества подведенной энергии (если не превышены возможности энергосистемы) обусловлено внутренними факторами энергопотребления:

$$\Delta E_k = \Delta E_{\text{ПИ}} - \Delta E_{\text{ПЭ}}, \quad (2)$$

где $\Delta E_{\text{ПИ}}$ – изменение потребляемой полезной энергии; $\Delta E_{\text{ПЭ}}$ – использование потенциала энергосбережения.

Приравняв между собой правые части выражений (1), (2) и выделив топливную составляющую ΔE_T (показатель, который отражает тенденцию загрязнения атмосферы продуктами сгорания), получим формулу для определения тенденции изменения количества потребляемого топлива в зависимости от основных энергетических факторов:

$$\Delta E_T = \Delta E_{\text{ПИ}} - (\Delta E_3 + \Delta E_{\text{ПЭ}}). \quad (3)$$

Как видно из (3), потребление топлива стабилизируется в условиях прироста полезного энергопотребления на рассматриваемом объекте или территории, если этот прирост полностью обеспечивается дополнительной

выработкой энергии на нетопливных установках и реализацией энергосберегающих мероприятий. При опережающем развитии энергосбережения и замещающих мощностей, топливная составляющая потребляемой энергии уменьшается и, соответственно, происходит уменьшение количества сжигаемого топлива на энергетических источниках и снижается поступление в атмосферный воздух продуктов сгорания.

Количественные характеристики сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов определяются при помощи удельных показателей (факторов эмиссии). Пример оценки возможного сокращения выбросов для Санкт-Петербурга на основе экспертных величин потенциала энергосбережения, представлен в табл.2.

Таблица 2. Оценка ожидаемого сокращения (предотвращения) выбросов в атмосферу продуктов сгорания органического топлива в результате осуществления энергосберегающих мероприятий и эффективного использования энергетических ресурсов в Санкт-Петербурге

Мероприятия	Доля в экономии от общего расхода		Экономия топлива, тыс. т у.т. год	Снижение выбросов, тыс. т /год	
	эл.энергии %	тепла %		NO _x	CO ₂
Реконструкция городских зданий в соответствии с нормами и стандартами теплозащиты	2	30	1900	3,8	3200
Автоматизация теплоснабжения зданий (погодное регулирование, режим отопления «ночь – день»)		5	300	0,6	500
Снижение затрат энергии на промышленный электропривод	20		1000 ¹	2,0 ¹	1700 ¹
Модернизация систем освещения	5		250 ¹	0,5 ¹	420 ¹
Усовершенствование бытовых приборов	20		1000 ¹	2,0 ¹	1700 ¹
Сокращение потерь в магистральных и распределительных сетях	5	10	850	1,7	1400

¹В региональной энергосистеме (энергетические источники расположены на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области)

Оперативное регулирование выбросов в атмосферу заключается в принятии специальных мер в сравнительно короткие периоды, когда складываются неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) для рассеивания выбросов от источников определенного типа (отличающихся по высоте, мощности и температуре выбросов). Чтобы предотвратить опасное загрязнение воздуха в жилых районах, выбираются мероприятия, способные обеспечить необходимое снижение концентрации загрязняющих веществ у земной поверхности в течение прогнозируемого периода.

Стационарные энергетические источники характеризуются высокими нагретыми выбросами, для них неблагоприятной метеорологической ситуацией является интенсивный вертикальный турбулентный обмен в приземном слое атмосферы, в сочетании с «опасной» скоростью ветра. Чтобы организовать регулирование выбросов в периоды НМУ, необходимо проанализировать характер воздействия описываемых выше методов на загрязнение атмосферного воздуха у земной поверхности.

Методы первой категории изменяют концентрацию загрязняющих веществ в дымовых газах. Поскольку при этом не оказывается существенного влияния на физико-технические параметры выбросов (температуру, скорость и объемный расход), то пропорционально произведенному действию изменяется вклад в приземные концентрации этих же веществ.

Иначе выглядит ситуация с методами второй категории. В результате снижения энергетической нагрузки и сокращения количества потребляемого топлива энергетическим источником снижается объемный расход дымовых газов, а скорость истечения газов из дымовой трубы замедляется. Это приводит к уменьшению начального подъема ΔH дымовой струи над источником H_0 и, таким образом, снижается эффективная высота выброса: $H = H_0 + \Delta H$.

Распространение дымового факела в атмосфере от источников различного типа при разных характеристиках среды описывается уравнениями турбулентной диффузии. В диссертационной работе использовались формулы М.Е. Берлянда для определения высоты начального подъема примеси над источником и для расчета максимальной приземной концентрации примеси от выбросов источника.

$$\Delta H = \frac{3,75w_0R_0}{u_{10}} + \frac{1,6gV(T - T_a)}{T_a(u_{10})^3}, \quad (4)$$

где $V = \pi(R_0)^2 w_0$ – объемный расход дымовых газов, m^3/c ; R_0 – радиус устья источника, m ; w_0 – скорость выхода дымовой струи, m/c ; T_a – температура наружного воздуха, $^{\circ}K$; T – температура примеси, $^{\circ}K$; u_{10} – скорость ветра на высоте флюгера, m/c ; $g = 9,81 m/c^2$.

Приближенная зависимость максимальной концентрации примеси у земной поверхности от параметров выброса и метеорологических условий (для стандартных значений высоты приземного слоя при неустойчивой стратификации $h = 100 m$ и параметра шероховатости $z_0 = 0,01 m$):

$$q_m = 0,3 \frac{Mk_1}{(u_1)^2 d_0} H^{-2,4} \quad (5)$$

где M – массовый выброс примеси, г/с; k_1 – коэффициент обмена, м/с; u_1 – скорость ветра, м/с, на высоте $z = 1$ м; d_0 – дисперсия направления ветра.

Для дальнейшего анализа вынесем за скобки параметр V в формуле (4):

$$\Delta H = \left(\frac{3,75}{u_{10} \pi R_0} + \frac{1,6g\Delta T}{T_a (u_{10})^3} \right) V = UV \quad (6)$$

Начальный подъем дымовой струи над источником при заданных метеоусловиях пропорционален величине объемного расхода дымовых газов.

Из выражений (5), (6) с учетом $M = Vc_i$ получаем:

$$q_m = 0,3 \frac{Vc_i k_1}{(u_1)^2 d_0} (H_0 + UV)^{-2,4} \quad (7)$$

Максимальная приземная концентрация q_m линейно зависит от концентрации примеси в дымовых газах (c_i). Зависимость q_m от объемного расхода дымовых газов (V) имеет сложный характер. Воспользуемся далее частной производной выражения (7), полученной с учетом независимости от V концентрации c_i и метеопараметров

$$\frac{\partial q_m}{\partial V} = 0,3 \frac{c_i k_1}{(u_1)^2 d_0} (H_0 - 1,4UV)(H_0 + UV)^{-3,4} \quad (8)$$

Из анализа уравнения (8) получаем соотношения, пригодные в качестве ориентиров для принятия решений о способе регулирования выбросов энергетического источника:

1. Сокращение объемного расхода дымовых газов, поступающих в атмосферу из устья источника, приводит к уменьшению максимальной наземной концентрации газообразной примеси при соотношении $\Delta H < 0,7 H_0$.

2. Наибольшее значение q_m соответствует $\Delta H = 0,7 H_0$.

3. При $\Delta H > 0,7 H_0$ максимальная наземная концентрация примеси уменьшается с ростом объемного расхода дымовых газов.

Неоднозначность результатов регулирования наземной концентрации является следствием того, что на величину ΔH одновременно влияют скорость ветра и объемный расход дымовых газов, который пропорционален энергетической нагрузке источника.

В условиях интенсивного турбулентного обмена при неустойчивой стратификации атмосферы каждому значению энергетической нагрузки источника соответствует своя величина «опасной» скорости ветра. При их сочетании максимальные наземные концентрации примеси достигают наибольших для данной нагрузки значений.

Если при анализе плотности распределения скоростей ветра и рабочего диапазона тепловой мощности источника выявляется обширная область «опасных» сочетаний при пониженных энергетических нагрузках, то в этом

случае можно прибегнуть к организации специальных мер, повышающих эффективную высоту выброса H_3 при прогнозируемом наступлении НМУ.

Для усиления динамического напора дымового факела в периоды НМУ может быть использован резерв производительности дутьевых вентиляторов и дымососов, образующийся в результате долговременной частичной разгрузки мощности энергетического источника, например, после реализации ЭСМ. В основание дымовой трубы вводится присадка необходимого количества подогретого воздуха. Вследствие увеличения эффективной высоты выброса и прямого разбавления дымовых газов тем самым достигается снижение приземных концентраций загрязняющих веществ от выбросов данного источника. Регулирующее воздействие можно варьировать, изменяя объем вводимой присадки воздуха.

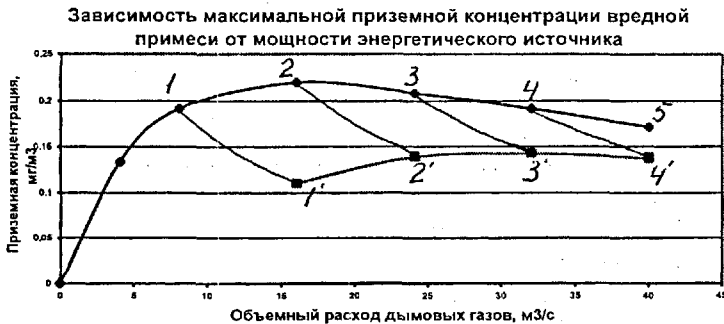


Рис. 3. Уменьшение максимальной приземной концентрации вредной примеси от выбросов котельной в результате ввода присадки подогретого воздуха в основание дымовой трубы.

На рис. 3 показана зависимость расчетной максимальной приземной концентрации вредной примеси от объемного расхода дымовых газов (пропорционального энергетической мощности) источника в условиях интенсивного вертикального турбулентного обмена при слабом ветре. Источник выбросов — дымовая труба котельной, высотой 60 метров с радиусом устья — 1 метр. К источнику подключены пять котлов одинаковой мощности, каждый с объемным расходом дымовых газов $8 \text{ м}^3/\text{с}$. Концентрация вредной примеси (сернистого газа) в выбросах $4,0 \text{ г}/\text{м}^3$. Температура наружного воздуха $T_a = 250\text{К}$, температура примеси $T = 350\text{К}$. Скорость ветра на высоте 10 м составляет $1,5 \text{ м}/\text{с}$.

В описанных условиях опасное для рассеивания выбросов в атмосфере сочетание метеорологических и технических факторов наступает при объемном расходе дымовых газов около $16 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует одновременной работе двух котлов.

Наклонные кривые 1-1', 2-2', 3-3', 4-4' на рис. 3 показывают снижение приземной концентрации в процессе осуществления присадки подогретого

воздуха в основание дымовой трубы соответственно при работе одного, двух, трех и четырех котлов. Для забора и нагнетания атмосферного воздуха используются тягодутьевые устройства и газоходы резервного котла.

Нижняя кривая 1'-4' отражает зависимость максимальной приземной концентрации примеси от мощности источника в диапазоне энергетической нагрузки от 1 до 4 котлов при работе на номинальной нагрузке дымососов и дутьевых вентиляторов резервного котла, обеспечивающих присадку подогретого воздуха.

В третьей главе описаны методы сравнительной экологической оценки процессов сжигания топлива и мероприятий по регулированию (сокращению) выбросов в атмосферу, включая ЭСМ.

В качестве критерия экологической оценки в работе принят расчетный показатель «приведенная масса загрязняющих веществ» – условная величина, позволяющая в сопоставимом виде отразить вредность или эколого-экономическую опасность всей суммы разнообразных загрязнений, поступающих в окружающую среду от одного или различных источников. Этот показатель основан на долговременных нормативах качества атмосферного воздуха (ПДК_{сс} и ПДК_{ра}), учитывает возможное воздействие на человека и других рсципиентов, в том числе вероятность накопления вредной примеси в пищевых цепях и поступления ее в организм неингаляционным путем, а также возможную трансформацию примеси в более опасные вторичные загрязнители.

Известна формула расчета приведенной массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

$$M = \sum m_i K_{Э_i}, \quad (9)$$

где m_i – фактическая масса i -го загрязняющего вещества, поступающего в атмосферу за отчетный период;

$K_{Э_i}$ – безразмерный коэффициент относительной эколого-экономической опасности i -го загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферный воздух.

Значения $K_{Э_i}$ для загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания топлива (приняты в соответствии с «Методикой определения предотвращенного экологического ущерба» М. 1999):

Оксид углерода (CO) –	0,4	Зола каменных углей –	33,5
Сумма оксидов азота (NO _x) –	16,5	Зола мазутная (в пересчете	
Диоксид серы (SO ₂) –	20,0	на ванадий) –	330,0
Сажа –	33,5	Бенз(а)пирен –	12500

Чтобы решать поставленную задачу экологической оценки и сравнения мероприятий по сокращению выбросов в атмосферу от энергетических источников, а также сравнительного анализа процессов сжигания топлива, представим формулу (9) применительно к единому топливному эквиваленту в следующем виде:

$$M = G \sum q_i K_{zi} = GQ, \quad (10)$$

где G – расход топлива, тонн условного топлива в год (т у.т./год),

q_i – удельный выброс i -го загрязняющего вещества, кг/т у.т.

Q – удельный выброс приведенной массы загрязняющих веществ (килограмм приведенной массы на тонну условного топлива), кг/т у.т.

Показатель Q отражает степень потенциально вредного воздействия (с точки зрения охраны окружающей среды) рассматриваемых вариантов. Он характеризует экологическую эффективность процессов сжигания топлива.

Процессы сжигания органического топлива подлежат оценке и сравнению экологической эффективности по совокупной вредности поступающих в атмосферу продуктов сгорания. Для каждого вида топлива при заданной нагрузке энергетической установки показатель Q можно поддерживать режимными методами на предельно низком уровне. Такой режим горения можно характеризовать как экологически оптимальный. Один из возможных вариантов управления процессом горения осуществляется по предлагаемой ниже схеме (рис.4).

Регулятор 1 задания по нагрузке определяет задание регулятору 2 расхода воздуха в соответствии с требуемыми соотношениями топливо – воздух. Вычислитель 3 получает сигналы от датчиков 4 и 5 содержания в отходящих газах оксида углерода и оксида азота и, с учетом корреляционных связей оксида углерода с другими загрязняющими веществами, содержание которых обусловлено неполным сгоранием топлива, формирует корректирующий сигнал на регулятор 2, связанный с датчиком 6 расхода воздуха. Корректировка подачи воздуха производится в соответствии с заданным критерием экологически оптимального режима горения ($Q \rightarrow \min$).

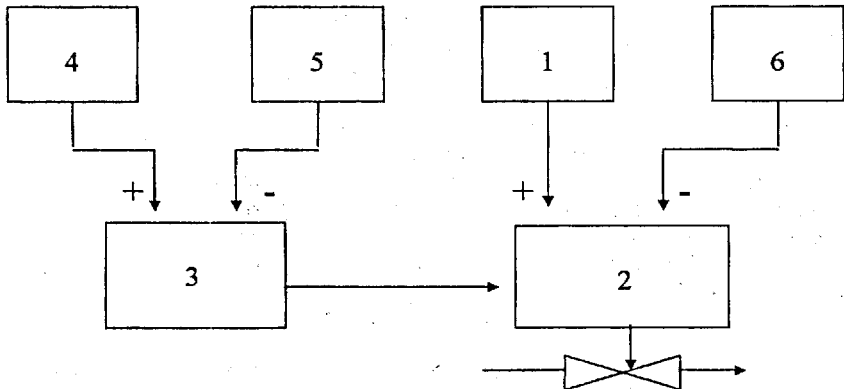


Рис. 4. Экологическая оптимизация процесса горения топлива в энергетической установке.

В диссертационной работе обобщены многочисленные результаты контрольных проверок и испытаний топливосжигающих установок различного назначения, мощности и вида применяемого топлива.

В табл. 3 представлены усредненные значения удельных выбросов загрязняющих веществ при сжигании основных видов органического топлива q_i (кг/ т у.т.) и расчетные величины показателя Q (кг/ т у.т.) для совокупности этих значений. Данные по каждому виду топлива расположены в порядке возрастания тепловой мощности установок. Загрязняющие вещества, вклад которых в удельную приведенную массу выбросов составил менее 0,1 кг/ т у.т., исключены из рассмотрения.

Таблица 3. Экологические характеристики процессов сжигания топлива

Энергетические установки	Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу q_i (кг/ т у.т.)						Удельная приведенная масса выбросов (кг/ т у.т.)
	NO _x	SO ₂	Зола	Сажа	CO	Б[а]П	
Топливо – природный газ							
Бытовые источники тепла	0,6	-	-	-	<1,0	-	10
Мелкие (отопительные) котельные	1,0	-	-	-	<1,0	-	17
Промышленные и котельные установки	3,0	-	-	-	<1,0	-	50
Энергетические котлы	1,3*-9	-	-	-	<1,0	-	22-149
Топливо – малосернистый мазут							
Отопительные котлы	3,0	9,0	0,1**	1,0	2,0	$1 \cdot 10^{-3}$	297
Промышленные котлы	4,0	9,0	0,1**	1,0	2,0	$1 \cdot 10^{-5}$	313
Энергетические котлы	2,5*-9	9,0	0,1**	0,3	1,0	-	264-372
Топливо – каменный уголь							
Домовые печи и мелкие котельные (слоевое сжигание)	7	25	60**	10	120	$5 \cdot 10^{-3}$	3071
Промышленные установки	9	23	20	0,5	3	$3 \cdot 10^{-5}$	1297
Энергетические котлы	5* – 12	20	3	0,3	1	-	594-709

* Норматив для новых котельных установок

** При отсутствии золоуловителей

Анализ приведенных в табл. 3 данных показывает большую неоднородность экологических характеристик процессов сжигания (в первую очередь это относится к различным технологиям сжигания угля). В то же время, обнаруживаются закономерности, которые могут иметь практическое

значение (например, при формировании городских и региональных энергетических программ).

По мере возрастания мощности энергетических установок наблюдаются две разнонаправленные тенденции:

- а) увеличение выхода оксидов азота с дымовыми газами в атмосферу,
- б) снижение выхода продуктов неполного сгорания (СО, сажа, бенз(а)пирен).

Влияние указанных тенденций различно для процессов сжигания различных видов органического топлива:

1. Суммарная вредность продуктов сгорания природного газа определяется выходом оксидов азота, поэтому с увеличением мощности установок удельная приведенная масса выбросов возрастает.
2. В устройствах сжигания каменного угля преобладает тенденция уменьшения неполноты сгорания с возрастанием мощности энергетической установки.
3. В установках, использующих топочный мазут, суммарная токсичность выбросов слабо зависит от тепловой мощности, поскольку здесь влияние двух тенденций взаимно уравнивается.



Рис. 5. Иллюстрация принципа экологически обусловленного перераспределения региональных топливных потоков.

Используя на практике выявленные закономерности, можно достичь существенного повышения экологической эффективности располагаемых топливных ресурсов – за счет перераспределения потоков топлива между тепловыми источниками жилищно-коммунальной сферы и объектами большой энергетики. Схематичное изображение перераспределения потоков топлива представлено на рис. 5. Перераспределение имеет своей целью вытеснение каменного угля из жилищно-коммунальной сферы и его

сжигание в специально приспособленных котельных установках ТЭС. В свою очередь природный газ должен замещаться твердым топливом на крупных теплоэнергетических объектах и распределяться через городские сети для прямого использования населением в бытовых приборах и эффективных энергоснабжающих системах местного назначения.

Оценка и сравнение экологической эффективности мероприятий по сокращению выбросов от энергетических источников осуществляется по достигнутому снижению приведенной массы выбросов

$$\Delta M = G_0 \Delta Q + Q_0 \Delta G + \Delta Q \Delta G \quad (11)$$

Блок-схемы расчетов приведены на рис.б. Особенно важен анализ затрат (либо экономии) энергии и топлива, необходимых для получения требуемого результата. Так применение мероприятий первой категории обычно требует дополнительных энергетических затрат и/или сопровождается ухудшением процесса горения. Вследствие этого увеличивается расход топлива и возрастает количество всех поступающих в атмосферу продуктов сгорания – вплоть до получения в отдельных случаях нулевого или даже отрицательного экологического эффекта.

Потребление топлива уменьшается в результате повышения эффективности использования энергии, снижения потерь при ее передаче, а также вследствие роста энергоэффективности самого энергетического источника, обеспечивающего заданную полезную нагрузку. При этом экологические характеристики процесса сжигания (Q) не меняются существенным образом. Экологический эффект, полученный вследствие роста эффективности всей системы энергоснабжения, однозначно положительный, а его величина пропорциональна снижению расхода топлива энергетическим источником:

$$\Delta M = Q_0 \Delta G \quad (11a)$$

Объектом экономии для потребителя является приведенная от внешнего источника (конечная) энергия E_k . Чтобы дать экологическую оценку проводимым мероприятиям, необходимо определить количественную зависимость между результатами энергосбережения в сфере потребления (в условном тепловом эквиваленте – т у.т./год) и снижением расхода топлива конкретным энергетическим источником, поставляющим энергию данному потребителю.

Пересчет полученного эффекта энергосбережения в количество сэкономленного топлива ΔG в энергетическом источнике осуществляется при помощи показателей, характеризующих эффективность системы энергоснабжения: η_2 – коэффициента потерь при доставке энергии, и η_1 – удельного расхода топлива на выработку данного вида энергии (тепловой или электрической). После этого, посредством формулы (11a) определяется искомый экологический эффект, получаемый в результате проведения энергосберегающего мероприятия, который затем сравнивается с другими мероприятиями по сокращению выбросов.

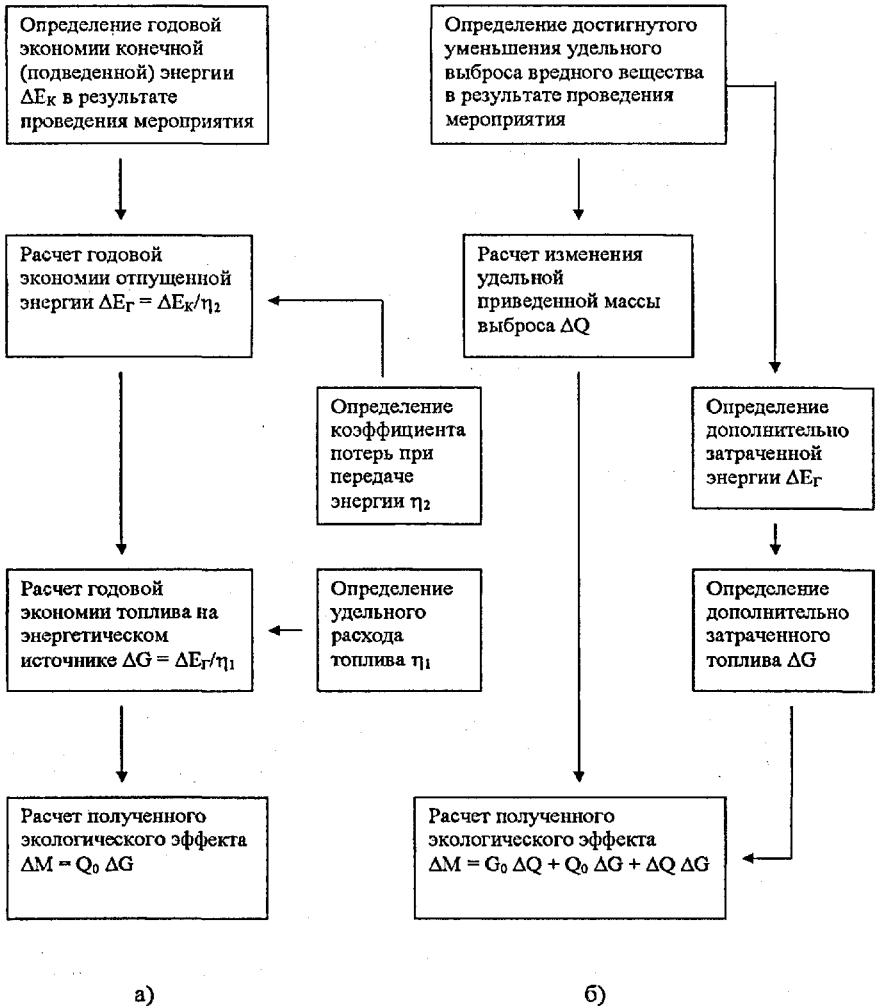


Рис. 6. Блок-схемы расчетов экологического эффекта в результате проведения мероприятий по сокращению выбросов от стационарных энергетических источников: а) энергосбережение в сфере потребления; б) снижение концентрации загрязняющего вещества в дымовых газах.

Таким образом, мы можем сопоставлять экологические результаты от применения различных мероприятий по сокращению выбросов. Описываемый метод учитывает: а) вид, количество и относительную опасность сокращаемых вредных примесей; б) возможные негативные побочные последствия, вызванные проводимым мероприятием (неуправляемый рост выбросов отдельных примесей, общее снижение эффективности энергетического источника); в) положительный экологический эффект, получаемый вследствие роста КПД или снижения нагрузки энергетического источника.

Основные результаты работы:

1. Разработан методический подход к управлению качеством атмосферного воздуха, в котором используется фактор энергосбережения наряду с другими известными методами регулирования выбросов в атмосферу продуктов сгорания органического топлива.
 - 1.1. Определены структурные составляющие системы, в рамках которой может осуществляться экологическая оценка мероприятий по регулированию выбросов от стационарных энергетических источников.
 - 1.2. Разработана классификация методов регулирования выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания топлива от стационарных энергетических источников. Классификация включает: а) традиционные методы, снижающие содержание загрязняющих веществ в дымовых газах; б) сокращение количества потребляемого топлива за счет эффективного использования энергии; в) мероприятия, способствующие увеличению эффективной высоты выброса с целью снижения приземных концентраций вредных примесей.
 - 1.3. Предложена аналитическая модель эколого-энергетического планирования, которая позволяет учитывать фактор энергосбережения в управлении качеством атмосферного воздуха на уровне региона, города и отдельного предприятия.
 - 1.4. Рассмотрены и проанализированы особенности образования, поступления в атмосферный воздух и распространения вблизи земной поверхности продуктов сгорания от стационарных энергетических источников при долгосрочном и оперативном регулировании выбросов.
 - 1.5. Разработан метод экологической оценки эффективности энергосберегающих мероприятий, позволяющий сопоставлять их с традиционными мероприятиями по сокращению выбросов.
2. Для основных видов органического топлива (уголь, газ, мазут) выявлены закономерности изменения совокупной токсичности загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами

сгорания, в зависимости от тепловой мощности энергетических устройств (в диапазоне от бытовых печей до энергетических котельных установок). На основании этих закономерностей сформулирован принцип экологически обоснованного перераспределения региональных топливных потоков в качестве одного из методов регулирования выбросов.

3. Предложен способ управления подачей воздуха на горение топлива, заключающийся в формировании корректирующего сигнала по сумме сигналов от датчиков содержания загрязняющих веществ в отходящих газах, в соответствии с заданным критерием экологически оптимального режима горения.
4. Предложен способ оперативного регулирования выбросов, заключающийся в кратковременном увеличении эффективной высоты выброса за счет усиления динамических характеристик дымового факела при пониженных (например, вследствие реализации энергосберегающих мероприятий) нагрузках энергетического источника.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Нурмеев Б.К. Выбор способа сокращения выбросов при неблагоприятных метеоусловиях // Теплоэнергетика. 1988. №8 – С. 15-17.
2. Нурмеев Б.К., Цибульский В.В., Быков А.П. Контроль за соблюдением установленных нормативов на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу / Современные методы и средства контроля источников загрязнения атмосферы. Материалы научно-технического семинара (6 – 7 июля 1989 г.). – Л.: ЛДНТП, 1989. – С. 20 – 24.
3. Нурмеев Б.К. Методы организации контроля вредных выбросов в атмосферу от промышленных источников / Там же. С. 24 – 27.
4. Нурмеев Б.К. Энергоэффективность и охрана атмосферного воздуха / Науч. тр. НИИ Атмосфера. – СПб.: АкадемПринт, 2002. – С. 147 – 153.
5. Цибульский В.В., Нурмеев Б.К. Организация контроля источников загрязнения атмосферы / Там же. С. 80 – 85.
6. Нурмеев Б.К. Сравнительная оценка загрязнения атмосферы при сжигании органического топлива в тепловых источниках // Промышленная энергетика. 2004, №7. – С. 51 – 55.
7. Нурмеев Б.К. Энергосбережение как фактор защиты атмосферного воздуха / IV Международная конференция "Воздух 2004" (9-11 июня 2004 г.). Тезисы докладов. – СПб., 2004
8. Нурмеев Б.К. Мероприятия по сокращению выбросов в атмосферу при сжигании топлива // Экология и промышленность России. 2005. № 10. С.32 – 33

9. Нурмеев Б.К. Способ управления подачей воздуха на горение топлива. А.с. 1483183 СССР// Открытия. Изобретения. 1989. №20.
10. Нурмеев Б.К. Способ регулирования наземных концентраций вредных веществ в атмосфере. А.с. 1543190 СССР./ // Открытия. Изобретения. 1990. №6.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ЦНИТ «АСТЕРИОН»
Заказ № 189. Подписано в печать 21.08.2006 г. Бумага офсетная.
Формат 60×84^{1/16}. Объем 1,5 п. л. Тираж 100 экз.
Санкт-Петербург, 191015, а/я 83, тел. (812) 275-73-00, 970-35-70
asterion@asterion.ru

