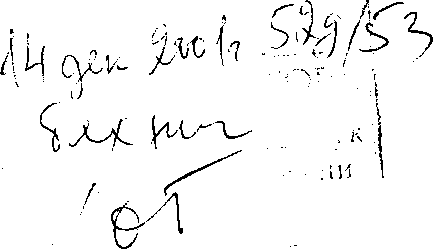
**Степанова Татьяна Борисовна. Разработка методов комплексного энергетического анализа технических систем : диссертация ... доктора технических наук : 05.14.02, 05.14.01.- Иркутск, 2000.- 348 с.: ил. РГБ ОД, 71 02-5/189-1**

**ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ им. Л.А.МЕЛЕНТЬЕВА  
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ**

**На правах рукописи**

**СТЕПАНОВА Татьяна Борисовна**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОГО  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Специальности: 05.14.02 - Электростанции и электроэнергетические**

**системы**

**05.14.01 — Энергетические системы и комплексы**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени доктора технических наук**

**Научный консультант: доктор технических наук, профессор СТЕПАНОВ Владимир Сергеевич**

**Иркутск - 2000**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Методы оценки эффективности использования энергии. Энергети­ческий баланс технической системы 17
2. Энергосбережение: понятие и основные направления. Прогнозиро­вание энергопотребления 28
3. Постановка задачи. Объекты исследования 32

Глава 2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕР­МОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Техническая система как объект термодинамического анализа. Уста­новление границ системы. Тепловой и энергетический балансы 37
2. Понятия теоретических (предельных) и минимально необходимых затрат

энергии / работы. Энергетический и эксергетический КПД 51

1. Классификация процессов по полезному эффекту 57
2. Определение КПД сложной технической системы 60
3. Теоретический потенциал и резервы энергосбережения 64

Глава 3. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИДЕАЛИЗИРОВАННЫХ АНА­ЛОГОВ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ И УСТАНОВОК РАЗЛИЧНОГО ТИПА

1. Топливосжигающие установки 72
2. Методика расчета химической энергии и эксергии топлив 72
3. Тепловой и энергетический балансы парового котла. Энергетический и

эксергетический КПД 92

1. Химические и металлургические процессы 97
2. Процессы коммунально-бытовой сферы 99
3. Отопление 99
4. Горячее водоснабжение 114
5. Освещение 118

Глава 4. ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИ­ЧЕСКИХ СИСТЕМ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА И СЛОЖНОСТИ 127

1. Оценка уровня энергоиспользования и возможностей его повышения для

крупного предприятия (на примере металлургического комбината) 129

1. Полный энергетический баланс и КПД отрасли (на примере черной

металлургии) 139

1. Оценка термодинамической эффективности функционирования эконо­мики страны (СССР, 1985 г.) 145
2. Полные прямые и кумулятивные затраты энергии. Эффективность

использования кумулятивных затрат 154

Глава 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ЕГО ПРОГНО­ЗИРОВАНИЯ НА ПЕРСПЕКТИВУ И ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

1. Тенденции изменения энергопотребления. Основные направления

энергосбережения 171

1. Моделирование энергопотребления отрасли 177
2. Прогнозирование затрат эксергии и выявление резервов ее экономии.. .196
3. Разнесение энергетических затрат между полезными продуктами

процесса 200

1. Долгосрочное прогнозирование энергопотребления 204

Глава 6. ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗЕРВОВ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В

ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

1. Основные направления технического прогресса и энергосберегающей

политики в отрасли 218

1. Модель энергопотребления черной металлургии 238
2. Оценка резервов экономии энергии в черной металлургии 250
3. Резервы экономии энергоресурсов в процессах выплавки стали 251
4. Резервы экономии энергии в коксохимическом производстве 259
5. Резервы экономии энергии в коксохимическом производстве 259
6. Влияние технического прогресса и совершенствования процессов

прокатного производства на потребление энергоресурсов 260

1. Исследование влияния различных факторов на перспективное

энергопотребление отрасли 265

1. Выбор оптимальной структуры технологий в черной металлургии 271

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 279

ЛИТЕРАТУРА 284

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Расчет химической энергии и эксергии технических

топлив 297

Приложение 2. Материальные и полные энергетические балансы основных

процессов черной металлургии (среднеотраслевые) 337

ВВЕДЕНИЕ

Мировой энергетический кризис 70-х годов положил начало проведению широкомасштабной энергосберегающей политики во всем мире. За прошедшие годы работы в этом направлении то становились интенсивнее, то темпы и усилия в этой области несколько снижались, но никогда уже эта проблема не исчезала из списка актуальных, в том числе и в России.

Именно с этого времени были начаты серьезные исследования по эффективности использования энергии в различных сферах ее применения - промышленности, транспорте, коммунально-бытовом хозяйстве и т.д. Как правило, именно в сфере потребления скрыты наибольшие резервы экономии энергии.

Однако при проведении подобных исследований пришлось столкнуться с серьезными методическими трудностями, поскольку для многих сфер потребления энергии ^настоящее время отсутствуют объективные показатели для оценки энергетической эффективности. Без решения этой проблемы невозможно разрабатывать хорошо обоснованные региональные, отраслевые и государственные программы, оценивать последствия технического прогресса в энергопотребляющей сфере, достоверно прогнозировать энергопотребление на перспективу.

Все процессы, протекающие в природе и различных технических системах, являются следствием преобразования одних видов энергии в другие. В настоящее время научно обоснованные методы оценки эффективности использования энергии существуют, а значит и используются, только применительно к энергетическим процессам и техническим системам, базирующимся на них. Все остальные оцениваются какими-либо условными показателями, основывающимися на применении принципа сравнения, аналогий и тому подобных не слишком обоснованных и совершенных методах.

В условиях, когда мировая экономика переходит к ресурсо- и энергосберегающему пути развития, разработка методов оценки

энергетической эффективности чрезвычайно важна. Без этого невозможно оценить достигнутый уровень и те перспективы, которые нас ожидают и к которым нужно стремиться.

Следует отметить, что многие страны несмотря на отсутствие подобных методов добились довольно высокой степени энергетической эффективности своей экономики, о чем свидетельствуют как удельные расходы энергии на производство различных продуктов, так и макроэкономические показатели (например, энергоемкость национального дохода).

Однако это вовсе не означает, что отсутствие таких методов оценки никак не влияет на тенденции повышения энергетической эффективности. Общепринятый для энергетических процессов и машин показатель эффективности - коэффициент полезного действия (КПД) и разработанные в энергетике идеальные циклы сыграли не последнюю роль в повышении эффективности энергетического оборудования. Этого нельзя сказать о процессах промышленности, сельского хозяйства, коммунально-бытовой сферы, поскольку для них в настоящее время нет подобных общепринятых показателей.

Следует отметить, что высокая термодинамическая эффективность - это только один из критериев, по которому выбирается направление технического прогресса. Это одна из составляющих более емкого понятия *рациональное использование энергии,* которое включает в себя помимо термодинамического совершенства оценку допустимых материальных и финансовых затрат, обеспечение достаточного уровня защиты окружающей среды от техногенного воздействия, решение социальных проблем, возникающих при принятии различных технических решений.

Побудительными мотивами к проведению исследований по эффективности использования энергии и возможностей ее сбережения являются экономические причины - повышение цен на энергоресурсы или их дефицит, возможность исчерпания. Но если такая проблема возникла, и начаты научные исследования, то первоочередными задачами являются в первую очередь технические: правильно оценить существующий уровень энергоиспользования; исследовать процесс, чтобы определить, где и какого размера потери энергии имеют место и какими способами их можно устранить или хотя бы уменьшить; оценить энергетические последствия технического прогресса в исследуемых отраслях; наметить перечень мероприятий, позволяющих дать наибольшее снижение потребности в энергии.

Только после этого можно проводить оценку предлагаемых мероприятий с точки зрения их экономической эффективности, масштабов внедрения, исходя из возможных объемов капиталовложений, а также с точки зрения влияния на окружающую среду и социальных последствий.

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке научно­методических основ для решения целого ряда задач, связанных с термодинамической эффективностью использования энергии. При работе над диссертацией автор ставил перед собой следующие *цели:*

1. разработать методологию энергетического анализа технических систем различных типов, включающую:

а) оценку термодинамической эффективности;

б) определение системы показателей для прогнозирования энергопотребления на перспективу с учетом технического прогресса;

в) оценку резервов энергосбережения за счет совершенствования существующих и внедрения новых технологий;

1. показать применимость разработанных методов для исследования реальных технических систем различных размеров - от отдельного процесса до предприятия, отрасли, народного хозяйства.

Для реализации этих целей требовалось решить следующие *задачи:*

1. В области теории и методологии:

- разработать методологию энергетического анализа отдельного процесса или технической системы, позволяющего определить его термодинамическую эффективность и возможности его совершенствования;

*в.*

* сформулировать понятия теоретического потенциала и резервов энергосбережения применительно к случаям совершенствования процесса и замены его новым, более эффективным;
* классифицировать энергопотребляющие процессы по их функциям и целевому назначению;
* сформулировать принципы формирования и разработать идеализированные аналоги для процессов отопления, горячего водоснабжения и освещения;
* предложить на базе исследований своих предшественников новый, более совершенный метод расчета химической энергии и эксергии топлив и разработать программу определения численных значений этих характеристик на ЭВМ;
* обосновать и реализовать возможность исследования технических систем больших размеров и сложности (предприятий, отраслей, народного хозяйства в целом) на основе использования инструмента и показателей, разработанных для анализа отдельных процессов;
* разработать принципы моделирования энергопотребления в отдельной отрасли с использованием результатов термодинамического анализа отдельных процессов.

1. В области прикладных исследований:

* выполнить сопоставительный анализ значений низшей и высшей теплоты сгорания с величинами химической энергии и эксергии для технических топлив; показать, что существующие методы оценки КПД котлов по низшей теплоте сгорания завышают их эффективность, иногда существенно;
* рассчитать значения химической энергии и эксергии твердых, жидких и газообразных топлив, добывающихся и производящихся на территории бывшего СССР;
* выполнить расчеты и получить оценку повышения уровня энергоиспользования крупного металлургического комбината за счет его модернизации;
* на примере черной металлургии показать практическую реализацию разработанной методологии: рассчитать полный энергобаланс, оценить эффективность использования энергии, определить основные направления технического прогресса и энергосберегающей политики в отрасли, разработать модель энергопотребления и оценить величины возможной экономии энергоресурсов в различных переделах и в целом по отрасли;
* показать принципиальную возможность оценки термодинамической эффективности функционирования народного хозяйства.

*Объект исследования.* Для исследования выбраны технические системы самого различного типа (энергетические, промышленные, системы жизнеобеспечения) и размеров (от единичного процесса до народного хозяйства страны в целом).

*Методологические основы исследования.* Теоретической и методологической базой диссертационной работы являются законы и методы классической термодинамики, ее раздела - эксергетического анализа, а при решении задач оценки эффективности сложных термодинамических систем, исследования их энергопотребления и выявления резервов энергосбережения - методология системных исследований.

При работе над диссертацией автор опирался на труды и достижения отечественных и зарубежных ученых в разработке и развитии методов термодинамической оценки различных технических систем, оценки энергетического потенциала технических топлив, своих предшественников в области изучения химических и металлургических процессов, систем жизнеобеспечения, развития методов эксергетического и системного анализа - Андрющенко А.И., Бошняковича Ф., Бродянского В.М., Бэра Г., Грассмана П., Макарова А.А., Мелентьева Л.А., Ранта 3., Фратшера В., Шаргута Я.

*Основные защищаемые положения и результаты:*

1. Методология комплексного энергетического анализа технических

систем, позволяющая на основе одного и того же исследования получить основные энергетические характеристики: энергетический и эксергетический

*ю.*

КПД, удельные затраты энергии/работы на производство полезного продукта (эффекта) системы, теоретический потенциал и технически реализуемые резервы экономии энергии.

1. Приложение методов исследования отдельного процесса (технического объекта) к решению подобных задач для более сложных системм - предприятий, отраслей, народного хозяйства в целом.
2. Понятия теоретического потенциала и резервов энергосбережения, принципы их определения.
3. Методика оценки энергетического потенциала технических топлив по их химической энергии и эксергии и численные значения этих характеристик, рассчитанные для твердых, жидких и газообразных топлив, добываемых и производимых на территории бывшего СССР.
4. Принципы формирования и разработка идеализированных аналогов, методика расчета минимально необходимых (теоретических) затрат энергии и работы для процессов коммунально-бытовой сферы - отопления, горячего водоснабжения и освещения.
5. Модель энергопотребления отрасли на основе материальных и полных энергетических балансов отдельных процессов.
6. Методика долгосрочного прогнозирования энергопотребления на основе прогнозов КПД технологий.
7. Обоснование целесообразности и реализация возможности прогнозирования затрат эксергии для согласования получаемых прогнозов по количеству и качеству необходимой в перспективе энергии.

*Научная новизна предлагаемых решений:*

*-* предложены принципиально новая постановка задачи, методология и инструмент, позволяющие выполнять энергетический анализ технических систем: с целью определения их термодинамической эффективности, выявления резервов экономии энергии и подготовки качественной информации для прогнозирования энергопотребления;

* впервые реализованы возможности использования методов исследования отдельного процесса для решения подобных задач применительно к более сложным техническим системам - крупным предприятиям, отраслям, народному хозяйству в целом;
* разработана новая система показателей для оценки термодинамической эффективности неэнергетических процессов, введены понятия теоретического потенциала и резервов энергосбережения технологического процесса;
* выполнено уточнение энергетического потенциала технических топлив путем усовершенствования методики определения их химической энергии и эксергии;
* сделан существенный вклад в формирование банка данных по характеристикам идеализированных аналогов и значениям минимально необходимых затрат энергии/работы различных процессов за счет определения этих показателей для процессов коммунально-бытовой сферы - отопления, горячего водоснабжения и освещения;
* разработаны оригинальные принципы моделирования энергопотребления отрасли с целью получения информации для оценки резервов энергосбережения и прогнозирования энергопотребления на перспективу;
* предложен авторский алгоритм использования прогнозов КПД для долгосрочного прогнозирования энергопотребления, позволяющий прогнозировать одновременно потребность в энергии и эксергии для того, чтобы учесть необходимое качество энергии;
* впервые выполнена оценка энергетического и эксергетического КПД отдельной отрасли (черной металлургии) и народного хозяйства страны на единой научной основе.

*Практическая значимость работы.*

Разработанные в диссертации методы и инструментарий могут быть использованы соответствующими руководящими органами при разработке региональных, отраслевых и государственных энергосберегающих программ, для оценки потребности в энергоресурсах и термодинамической эффективности их использования при различных вариантах развития экономики страны и регионов.

В диссертации показано, что функционирование таких крупных технических систем, как отрасль и народное хозяйство, может быть оценено энергетическим и эксергетическим КПД, и впервые выполнена приближенная оценка величин этих КПД.

Применение разработанных методов к анализу действующего крупного предприятия, каким является Западно-Сибирский металлургический комбинат, показывает возможность и целесообразность использования их в качестве методической основы для разработки и реализации отраслевых и региональных энергосберегающих программ.

Моделирование энергопотребления отдельного процесса, технологиче­ской схемы позволяет учесть технический прогресс и влияние энерго­сберегающих мероприятий на перспективное энергопотребление, что использующимися в настоящее время методами сделать не представляется возможным. Это приведет к повышению достоверности прогнозов, а значит и к разработке более обоснованных программ развития топливодобывающих отраслей, энергетики страны и регионов.

Введение в практику расчетов эффективности топливосжигающих установок новых характеристик топлив (химической энергии и эксергии) позволяет скорректировать величины их КПД в сторону понижения, особенно для бурых углей и природного газа. Это также может служить ориентиром для их дальнейшего совершенствования путем более полного использования энергетического потенциала, заложенного в топливе.

*Апробация результатов:* Основные положения и результаты исследований докладывались на: Научно-техническом семинаре «Планирова­ние энергопотребления на промышленных предприятиях» (Алма-Ата, 1977 г.); Всесоюзном симпозиуме «Комплексные проблемы развития и методы управ­ления системами энергетики страны и районов» (Иркутск, 1985 г); Всесоюзном

научно-техническом совещании «Проблемы эффективного использования энергоресурсов в промышленности» (Миасс, 1985 г.); Всесоюзном научном семинаре «Имитационный подход к изучению больших систем энергетики» (Ленинград, 1985 г.); в III и IV международных конференциях “Modeling of energy-use systems” ( Катовицы, ПНР, 1986 и 1990 гг.); Научно-практической конференции «Совершенствование хозяйственного механизма в области эконо­мии и повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов» (Москва, ВНИИКТЭП, 1987 г.); Всесоюзном научно-техническом совещании «Разработка и реализация региональных программ энергосбе­режения» (Ленинград, 1987 г.); XII и XIII Международных конференциях по промышленной энергетике (Прага, 1987 г. и Варна, 1990 г.); Симпозиуме «Сов­ременные проблемы системных исследований в энергетике» (Иркутск, 1990 г.) Всесоюзной научно-технической конференции «Проблемы энергосбережения» (Киев, 1991 г.); Всесоюзных эксергетических школах-семинарах с 1986 по 1992 гг.; Международной научно-практической школе-семинаре «Методы оптималь­ного развития и эффективного использования трубопроводных систем энерге­тики» (Иркутск, 1994 г.); Международном семинаре «Энерго- и ресурсо­сбережение» (Новосибирск, 1997 г.); Международной научно-практической конференции «Человек - среда - вселенная» (Иркутск, 1997 г.) Научно­практической конференции «Энергосбережение. Проблемы и пути их решения» (Иркутск, 1999 г.); Научно-технической конференции «Энергосбережение на рубеже веков» (Москва, 1999 г.).

*Публикации.* Основное содержание диссертации опубликовано в 34 статьях и докладах и трех монографиях автора общим объемом 35 п.л.

*Структура работы.* Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и приложений.

В первой главе выполнен обзор существующих методов оценки эффективности использования энергии и определения показателей, характеризующих энергопотребление. Определено содержание понятия энергосбережение, определены основные его направления. Показано, что

основным инструментом энергетического исследования технических систем всех видов и размеров, в том числе и экономики страны, всегда был и есть до настоящего времени энергетический баланс, и что его потенциальные возможности не используются полностью. Включение в исследуемую систему потребителей энергии позволяет определить эффективность использования энергии в любой технической системе, в том числе народного хозяйства страны в целом. Разработка новых принципов составления энергетического баланса с учетом второго начала термодинамики, введение в исследования эксергетического метода анализа сделали возможным учет различного качества используемой энергии и выполнение правильной количественной и качественной оценки потерь энергии. Кратко излагаются основные идеи, которые реализованы в диссертации.

Вторая глава диссертации посвящена общим методическим принципам исследования термодинамической эффективности технических систем - установление их границ, используемому для исследования инструменту. Вводятся понятия минимально необходимых затрат энергии / работы для оценки энергетического и эксергетического КПД процесса, теоретического потенциала и резервов энергосбережения. Выполнена классификация процессов по полезному эффекту для выбора подходящей методики при разработке их идеализированных аналогов. Показан принцип определения эффективности сложной технической системы. Основные результаты и положения главы опубликованы в работах [83, 92, 96, 97, 100, 102].

В третьей главе показаны принципы формирования идеализированных аналогов для процессов разных типов - энергетических, химических и металлургических, коммунально-бытовой сферы (отопление, горячее водоснабжение, освещение). При определении КПД топливосжигающих установок предлагается подведенную энергию / работу оценивать величинами энергии / эксергии сжигаемых топлив. Предлагается также методика для более точной оценки этих величин [76, 78, 95, 96, 99, 102-104, 151].

В четвертой главе показано использование разработанных методов для исследования энергетической эффективности технических систем большого размера и сложности - крупного предприятия (на примере металлургического комбината), отрасли (на примере черной металлургии), и народного хозяйства в целом (для бывшего СССР). Помимо этого в главе приводятся результаты автора в области изучения кумулятивных затрат энергии с точки зрения корректности определения и возможности использования в исследовательских целях. Основные результаты опубликованы в [89, 91, 96, 101, 102].

Пятая глава посвящена исследованию проблем энергопотребления, вопросам прогнозирования энергопотребления на перспективу и выявления резервов энергосбережения с учетом технического прогресса в энергопотребляющих отраслях. Для этой цели предлагается моделирование энергопотребления отраслей на основе моделей отдельных процессов, входящих в технологическую схему. Для долгосрочного прогнозирования предлагается пользоваться прогнозом КПД отдельных технологий [75, 77-82, 84, 86, 87, 90, 96, 98, 102].

В шестой главе на примере черной металлургии показано использование разработанных методов для моделирования энергопотребления и выявления резервов энергосбережения [85, 88, 94, 96, 102, 152].

Исследования, на основе которых написана диссертация, начаты в 1974 г. в Казахском отделении ВГПИ и НИИ Энергосетьпроект, а затем продолжены в Сибирском энергетическом институте СО РАН.

Тема диссертации входила в состав целевых комплексных научно­технических программ ГКНТ при СМ СССР:

Тема 0,01.10-02 «Разработать ТЭД по обоснованию основных направлений и уровней электрификации страны и определению масштабов электропотребления на разных этапах развития общественного производства с учетом технической перевооруженности народного хозяйства и решения социальных задач» (1976-1980 гг.);

Проблема 0.01.11 «Разработать и внедрить новые методы и технические решения высокоэффективного использования топлива, электрической и тепловой энергии и вторичных энергетических ресурсов в промышленности, создать оптимальные системы надежного и эффективного энергоснабжения промышленных предприятий» (1981-1985 гг.);

а также координационных планов АН СССР по фундаментальным межотраслевым проблемам энергетики по проблеме «Научные основы энергосберегающей политики и использования возобновляемых энергетических ресурсов» (1981-1985 гг.).

В последние годы исследования проводились также по грантам:

* Комитета по высшей школе Миннауки РФ, раздел 6 «Создание эффективных инженерных систем жизнеобеспечения зданий и сооружений», направление 6.3 «Научные основы создания малоэнергоемких систем жизнеобеспечения зданий комплексной застройки» (1995-1996 гг.);
* Министерства высшего и среднего специального образования, приоритетное научное направление «Методология экономии и рационального использования топлива и тепловой энергии», раздел С-096 «Экономия топлива и тепловой энергии» (1996-1997 гг.);
* Министерства общего и профессионального образования «Разработка научно­методических основ выявления резервов экономии энергии в технологических процессах промышленности» (1998-2000 гг.);

по Федеральной целевой программе «Интеграция» - проект № 94 «Поддержка и развитие совместного учебно-научного энергетического центра (УНЭЦ) ИрГТУ - ИСЭМ СО РАН» (1997 - 2000 гг.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Начало следующего тысячелетия, по общему мнению специалистов, будет характеризоваться ломкой ранее сложившихся тенденций в развитии экономики всех стран и переходом к новым принципам хозяйствования на основе ресурсо- и энергосбережения.

В настоящей диссертации сделана попытка подойти к исследованию и оценке резервов экономии энергии на основе концепции о том, что энергосбережение является следствием повышения эффективности энергоиспользования в тех процессах, где она потребляется. Успешная реализация этой задачи возможна лишь при детальном исследовании энергетических особенностей и свойств всего многообразия потребителей. Целью такого изучения должны быть установление возможностей регулировать структуру и режим энергопотребления каждым потребителем, оценка характера энергоэкономических взаимосвязей отдельных отраслей. Причем важно подчеркнуть, что решение проблемы энергосбережения требует комплексного рассмотрения энергетических характеристик всей совокупности потребляющих отраслей. Только это может обеспечить возможность оптимального с позиций народнохозяйственного уровня управления энергопотреблением как отдельной отрасли, так и страны в целом.

Разработанная в диссертации методология позволяет выразить целевые результаты функционирования самых различных систем в энергетических единицах, что дает возможность осуществить оценку эффективности использования энергии в них. Эти методы позволяют построить строгую методику анализа энергетики как основы всех происходящих в экономике (и не только в экономике) процессов и как единой системы, охватывающей все фазы ее превращения от первичных (природных) энергоресурсов до ее использования потребителем и получения в результате его функционирования готовых продуктов, полезных эффектов, совершения работы и оказания услуг.

Автор видел свою основную задачу в том, чтобы выполненные им научные исследования позволили: - создать теоретическую базу для разработки методов оценки уровня энергоиспользования технических систем различного характера, различных размеров и сложности; - показать, что КПД, удельные расходы энергии / работы на производство продукта и резервы энергосбережения - это только различные энергетические характеристики функционирования системы, и они могут быть получены на основе проведения единого исследования; - показать применимость предложенных в диссертации методов для исследования конкретных производств - отдельных процессов, отраслей и экономики страны в целом; - совместить термодинамический анализ отдельных процессов и системные методы исследования при прогнозировании энергопотребления и выявлении резервов экономии энергии в различных отраслях и народном хозяйстве.

Комплексный подход при энергетическом анализе технических систем разного назначения и сложности позволил получить автору следующие основные результаты:

1. По методике, разработанной автором, на основе результатов одного и того же исследования можно получить основные энергетические характеристики технической системы - ее КПД, удельные расходы энергии на производство полезного продукта (эффекта), теоретический потенциал и технически реализуемые резервы экономии энергии.
2. Выполнена классификация процессов по их целевому назначению для выработки основных правил формирования их идеализированных аналогов.
3. Разработаны идеализированные аналоги и определены минимально необходимые затраты энергии для процессов коммунально-бытовой сферы - отопления, горячего водоснабжения, освещения.
4. Поставлена и решена задача комплексного энергетического исследования для сложных технических систем - крупного предприятия, отрасли промышленности, народного хозяйства в целом.
5. Создана научно-методическая база для разработки энергосберегающих программ на основе: - представления энергосбережения как следствия повышения эффективности технологического процесса или замены его новым, более совершенным; - введения единого уровня отсчета при определении теоретического потенциала и резервов энергосбережения.
6. Предложены методы прогнозирования энергопотребления на перспективу на основе термодинамического анализа технологий. Для кратко- и среднесрочного прогноза - на основе моделирования энергопотребления с учетом технического прогресса и энергосберегающей политики. Для долгосрочного прогноза - на основании тенденций изменения КПД рассматриваемой технологии с учетом возможности ее вытеснения новыми, более эффективными.
7. Впервые в методике прогнозирования энергопотребления предусмотрена возможность дополнительно осуществлять прогноз потребности в эксергии, которая обладая свойством аддитивности, при суммировании не требует применения никаких переводных коэффициентов.
8. Предложено оценивать КПД топливосжигающих установок на основе химической энергии и эксергии топлив. Для реализации этого предложения разработана методика определения химической энергии и эксергии всех видов топлив, а также рассчитаны их значения для всех видов твердых, жидких и газообразных топлив, которые добываются и производятся на территории бывшего СССР (Приложение 1).

Таким образом, для достижения поставленных целей и решения основных задач диссертант использовал пригодные с его точки зрения методы предшественников, развил и дополнил их, разработал и ввел в исследования собственные методы, понятия и показатели и описал способы их численной оценки.

В диссертации практически не затронуты экономические аспекты повышения эффективности использования энергии, энергосбережения, хотя автором и выполнен ряд работ в этой области. Это самостоятельная и чрезвычайно сложная задача не только с точки зрения методических трудностей, но и из-за отсутствия исходной информации. Методические трудности связаны с тем, что очень редко крупное энергосберегающее мероприятие имеет своей целью только снизить расход энергии. Как правило, оно приводит к существенному технологическому эффекту - повышению срока службы оборудования, удлинению кампании агрегата, повышению его производительности, улучшению условий эксплуатации и т.п. В связи с этим возникает проблема, как определить долю затрат, относимых только на энергосбережение.

Практически не затронуты также межотраслевые проблемы энергосбережения, так называемые горизонтальные связи. Очень часто мероприятия или выпуск новой продукции в одной отрасли требует дополнительных затрат энергии, но в сопряженных отраслях дают большой и экономический и энергетический эффект. В таких случаях для оценки результирующего эффекта необходимо рассматривать крупные комплексы, состоящие из двух и более отраслей. Например, связки: черная металлургия - строительство и черная металлургия - машиностроение. Повышение качества металла и увеличение объемов металлических порошков приводит к более эффективному использованию металла в смежных отраслях.

Другим ярким примером тесной взаимосвязи между отраслями при выявлении резервов энергосбережения является комплекс: строительство - коммунальное хозяйство. Приняв определенные нормативы по термическим сопротивлениям ограждающих конструкций при сооружении здания, мы тем самым предопределяем в основном затраты его на отопление. Хотя эти нормативы являются результатом оптимизационных расчетов с учетом стоимости строительства и затрат энергии на отопление за период эксплуатации здания, все равно эксплуатационными издержками часто пренебрегают и выбирают вариант с меньшей теплоизоляцией для того, чтобы удешевить строительство.

Необходимо ставить задачу рационального с точки зрения многих критериев (показателей) ведения всех производственных процессов, учитывая и возможности развития отраслей энергетического комплекса, и возможности экономики страны, и физико-химические (термодинамические) возможности каждого процесса и, наконец, требования экологии. Причем чем быстрее такая комплексная постановка задачи управления функционированием каждой технической системы будет осознана и четко сформулирована, тем лучше и эффективнее можно будет управлять народным хозяйством в целом.