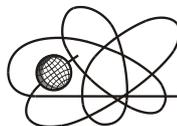




*Российская Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



**ИБРАЭ**

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY  
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИBRAE-1998-14

Preprint IBRAE- 1998-14

**А.А.Афанасьев**

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА  
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ: ВНЕШНИЕ  
ИЗДЕРЖКИ И ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ  
РЕШЕНИЙ**

Москва 1998

Moscow 1998

Афанасьев А.А. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ: ВНЕШНИЕ ИЗДЕРЖКИ И ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. Препринт № ИВРАЕ-98-14. Москва. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. Август 1998. 56 с. — Библиогр.: 82 назв.

#### Аннотация

Рассматриваются методологические основы интегрированного подхода к принятию решений в энергетике с учетом воздействия энергетических объектов на человека и окружающую среду. Подход направлен на достижение основной цели — удовлетворение потребностей в энергии с приемлемой степенью надежности при минимальных полных затратах.

Полные затраты (социальная стоимость) определяются как сумма издержек производства электроэнергии у производителя и внешних издержек, возникающих в результате её производства. Эти внешние издержки (внешние стоимости, или экстерналиности) воздействуют на благосостояние третьих лиц, которых производители и потребители электроэнергии не учитывают в своих решениях. Экстерналиности включают большое количество различных эффектов, таких как, например, воздействие на здоровье людей, нарушение экосистем, истощение запасов энергоресурсов, увеличение дефицита (или избытка) трудовых ресурсов и т.д.

Излагаемый подход направлен на решение проблемы минимизации полной (социальной) стоимости электроэнергии. Он может быть реализован в два этапа. На первом этапе используются методы оценки агрегированной функции ущерба, выраженного в экономических (денежных) показателях. Оценка экономического ущерба позволяет уменьшить число переменных в многокритериальном анализе, применяемом на втором этапе. Такой подход позволяет преодолеть много ограничений, которые возникают, если в процессе принятия решений использовать либо только метод оценки функции ущерба, либо только многокритериальные методы.

В приложениях приведены разработанные в конце 80-х начале 90-х годов, но не реализованные до настоящего времени, программы исследований воздействия энергетики на окружающую среду и учёта этого воздействия в текущих и перспективных проектах.

©ИВРАЭ РАН, 1998

Afanasiev A.A. ENVIRONMENTAL IMPACT OF POWER CYCLES: EXTERNAL COSTS AND PROBLEMS OF DECISION MAKING. Preprint IBRAE-98-14. Moscow. Nuclear Safety Institute. August 1998. 56 p. — Refs.: 82 items.

#### Abstract

Methodological bases of an integrated approach for decision making in power industry are considered. The objective that this approach aims is one of meeting the demand for energy, with an acceptable degree of reliability, at minimum cost.

Total (social) cost is determined as the sum of the private cost of producing the electric power plus the external cost that results from its production. This external costs (or externalities) are effects on the well-being of the third parties that producers and consumers of electricity do not take into account in their decisions. The externalities include a wide range of different effects such as health impact, ecosystem damage, resources depletion, increase in labor force deficit (or surplus), and so on.

The developed approach is directed on the decision of the problem of minimizing the total (social) cost of electricity. It could be addressed in two steps. The first step uses valuation methods of aggregated function of damage signified in economic (monetary) indices. The valuation of economic damage reduces the number of variables in multi-criteria analysis applied in the second step. The approach allows to get over many of the obstacles in the decision making processes that arise if only damage function method or multi-criteria methods are used.

Appendixes include programs (developed in the end of 80th and in the beginning of 90th, but not realized till now) on the research of environmental impact of energy industry and accounting of the impact in current and prospective projects.

©Nuclear Safety Institute, 1998

# Воздействие энергетики на окружающую среду: внешние издержки и проблемы принятия решений

*А.А.Афанасьев*

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РАН  
113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52  
тел: (095)958-00-51, факс: (095)958-11-51, эл.почта: aaa@ibrae.ac.ru

## Содержание

Предисловие .....	3
1 Введение.Основные направления развития электроэнергетики .....	7
2 Проблемы принятия решений в энергетике с учетом воздействия на окружающую среду.....	8
3 Внешние эффекты (экстернальности) при производстве электроэнергии.....	10
4 Минимизация социальной стоимости электроэнергии.....	14
5 Интегрированное ресурсное планирование и учет экстернальных издержек .....	16
6 Развитие подхода к процессу принятия решений, используя оценки экстернальностей .....	17
6.1 Оценка экономического ущерба для уменьшения размерности многокритериальных методов (этап 1).....	17
6.2 Использование оценок ущерба в качестве исходных данных в многокритериальных методах принятия решений (этап 2) .....	24
7 Заключение .....	27
Благодарности .....	29
Список литературы .....	30
Приложение 1 .....	35
Приложение 2 .....	43
Приложение 3 .....	45
Приложение 4 .....	47
Приложение 5 .....	49

## Предисловие

Исследования проблем воздействия энергетики на окружающую среду, учета этого воздействия при принятии решений, оценки экономического ущерба от воздействия, затрат и выгод при предотвращении (или уменьшении) этого воздействия всегда занимали достойное место в исследованиях российских (а в прошлом советских) специалистов - энергетиков, экономистов, экологов и др. Здесь можно отметить фундаментальные работы Балацкого О.Ф., Болтневой Л.И., Внукова А.К., Волкова Э.П., Гофмана К.Г.,

Дунаевского Л.В., Егорова Ю.А., Кормилицина В.И., Кроппа Л.И., Израэля Ю.А., Покровского В.Н., Реймерса Н.Ф., Рихтера Л.А., Соколова Д.К., Стыриковича М.А., Шевелева Я.В. и др.

Вместе с тем обострение экологических проблем<sup>\*)</sup> (таких как кислотные дожди, возможное глобальное потепление климата, радиационное загрязнение больших территорий, загрязнение акватории морей и океанов, участившиеся техногенные аварии с жертвами среди населения и большим ущербом флоре и фауне) привели в конце 80-х годов к значительной интенсификации таких исследований во всем мире. При этом наиболее неопределенной областью оставалась экономическая оценка экологических показателей.

В этой связи в конце 80-х годов в Академии наук СССР, в целом, и в Отделении физико-технических проблем энергетики (ОФТПЭ) АН СССР, в частности, было принято решение о развитии исследований экологических проблем.

В 1988 г. одной из комиссий ОФТПЭ АН СССР по разработке прогнозов по важнейшим направлениям науки под руководством академика Стыриковича М.А. был подготовлен “Прогноз снижения вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду” [2], в котором дан анализ состояния окружающей среды и роли энергетики в техногенном воздействии, состояния научных исследований различных аспектов этой проблемы, включая вопросы экономической оценки рисков и ущербов, и сделаны предложения по активизации и координации этих исследований в стране. В 1989 г. на основе этого документа был выпущен доклад “Пути снижения вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду”, рассмотренный и одобренный Президиумом АН СССР [3]. В этот же период была создана Комиссия ОФТПЭ АН СССР по проблеме “Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой”, которая впоследствии вошла в виде секции в Комиссию АН СССР по проблемам экологии.

В 1989 г. Президиум АН СССР утвердил направление “Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой”, как одно из 10-ти основных направлений Государственной (общакадемической) программы фундаментальных исследований “Коренное повышение эффективности энергетических систем” на период 1991-2000 гг. [4] (приложение 1). Позднее это же направление было включено в состав 12 основных научных направлений утвержденной Общим собранием ОФТПЭ АН СССР уточненной Программы фундаментальных исследований “Физико-технические проблемы энергетики” на период 1993-2000 годы [5] (приложение 2), которая действует по настоящее время<sup>\*\*</sup>). В этих программах предусматривалось развитие прежде всего фундаментальных исследований, направленных на разработку рекомендаций и мер снижения локального и глобального воздействия энергетических объектов на человека и окружающую среду, в том числе развитие методологии оценки экономических последствий негативного воздействия энергетики и использования этих оценок для оптимизации стратегии развития энергетики.

В 1988-1990 гг. Государственным комитетом СССР по науке и технике была разработана и в 1990 г. утверждена Советом министров СССР Государственная научно-техническая программа “Экологически чистая энергетика” [6], направленная на практическое решение проблемы снижения негативного воздействия на окружающую среду всех звеньев топливно-энергетического комплекса, включая атомную энергетику. Программа строится на основе конкурсного отбора проектов, регулярно пересматривается, обновляется и действует в настоящее время при координации и финансовом содействии Министерства науки РФ. Важной чертой Программы является тесная увязка прикладных задач с достижениями фундаментальных исследований, что выражается в научном руководстве Программой со стороны ОФТПЭ РАН.

---

<sup>\*)</sup> Здесь и далее под экологическими проблемами мы подразумеваем весь комплекс проблем, связанных с окружающей средой в широком смысле, включая человека. Среди зарубежных специалистов принято различать проблемы окружающей среды (Environmental Problems) и экологические проблемы (Ecological Problems). В отечественной литературе делались попытки ввести понятие “энвайронментология” – как наука об окружающей среде и соответствующие производные определения, такие как “энвайронментализм” и “энвайронменталистика” [1], но среди специалистов, по крайней мере в области энергетики, при обсуждении проблем воздействия на окружающую среду используется понятие “экологические проблемы”, хотя с точки зрения специалистов-экологов никаких экологических изменений может при этом и не происходить.

<sup>\*\*)</sup> В январе 1998 года Президиум Российской академии наук рассмотрел и одобрил Перечень приоритетных направлений фундаментальных исследований, которым рекомендовано руководствоваться в своей деятельности научным учреждениям РАН. В состав пяти научных направлений по энергетике вошло направление “Фундаментальные проблемы создания безопасной и экологически чистой энергетики, включая атомную энергетику”.

В 1989 г. в Москве в соответствии с соглашением о научном сотрудничестве между Академией наук СССР и Национальной академией наук США состоялся 1-й двусторонний советско-американский семинар “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы”, на котором обсуждались проблемы исследований воздействия энергетики на окружающую среду и развития технологий, позволяющих уменьшить это воздействие. По итогам Семинара были рекомендованы шесть основных направлений для подготовки двусторонних (между отдельными институтами) проектов сотрудничества (см. Памятную записку, приложение 3) и выработаны предложения советских экспертов (приложение 4) и экспертов США (приложение 5) по конкретной тематике, представляющей взаимный интерес<sup>\*)</sup>, что положило начало развитию контактов и последующей плодотворной совместной работе отдельных групп специалистов в обеих странах.

За истекший период, несмотря на известные социально-политические проблемы, наблюдалось значительное продвижение в исследованиях экологических проблем энергетики. Из исследований, координируемых ОФТПЭ РАН, можно отметить работы ИВТАН, ИНЭПХФ РАН, ИБРАЭ РАН, ИНЭИ РАН, СЭИ СО РАН, ИЭФ РАН, ЭНИН, МЭИ и ряда других организаций. Особо следует отметить вклад академика М.А.Стыриковича по координации и исследованию общих проблем экологии энергетики и академика К.С.Демирчяна, сформировавшего независимое мнение ОФТПЭ РАН по проблеме глобального потепления климата в результате выбросов энергетическими установками в атмосферу диоксида углерода.

В настоящей работе мы остановимся на подходах к экономическим оценкам воздействия энергетики на окружающую среду и учету этих оценок при принятии решений.

\* \* \*

Данная работа была начата в 1990 году по инициативе академика Ю.Н.Руденко после анализа ключевых проблем исследований воздействия энергетики на окружающую среду [2,3,7]. Была поставлена задача развить (обобщить) методологию экономической оценки воздействия энергетических объектов на окружающую среду с учетом полного топливного цикла, включая всю гамму технических, физико-химических, медико-биологических, социально-экономических и других вопросов, имеющих отношение к этой проблеме.

К тому времени существовал ряд достаточно глубоких исследований отдельных вопросов по данной проблеме и даже была выпущена “Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиненного народному хозяйству загрязнением окружающей среды” [8], формально действующая по настоящее время. Наибольшее развитие получили оценки воздействия на человека и окружающую среду атмосферных выбросов тепловых электростанций. Однако, здесь оставались весьма проблематичными вопросы экономического ущерба при потере среднестатистической жизни, экономического ущерба от воздействия на объекты живой и неживой природы, не имеющие рыночной цены, и др. Кроме того, доз-эффекты (функции “воздействие-отклик”) часто были либо неизвестны, либо оценены с очень низкой точностью. Оставалась нерешенной проблема дисконтирования при экономической оценке экологических показателей (не вполне ясна она и в настоящее время).

Что касается атомной энергетики, гидроэнергетики, возобновляемых источников энергии - то попыток экономической оценки их воздействия на окружающую среду не делалось вовсе.

В этой связи требовалось проанализировать выполненные ранее исследования и собрать новую информацию по математическим методам, физике, химии, биологии, медицине, санитарии, экологии, экономике и другим наукам, необходимую для решения поставленной задачи. Было решено [9] в экономических оценках воздействия энергетики на окружающую среду использовать развиваемые зарубежными специалистами понятия “внешней стоимости”, “социальной стоимости”, “экстернальностей” (определения - см. раздел 2).

С самого начала работа велась в рамках международного научно-технического сотрудничества с соответствующими научными центрами США (Национальная лаборатория в Ок-Ридже, Калифорнийский университет, Стенфордский университет, Электроэнергетический исследовательский институт в Пало Альто) и Германии (Исследовательский центр в Юлихе).

---

<sup>\*)</sup> Автор принимал участие в подготовке программ, планов и предложений по конкретной тематике, изложенных в приложениях 1-5. Так как большая часть планов не была реализована в силу известных изменений, имевших место в России в последнем десятилетии, эти приложения приведены с целью сохранить наработки больших коллективов специалистов, включая известных крупных ученых, для использования в последующем новыми специалистами, пришедшими в такую увлекательную и чрезвычайно трудоемкую область науки, какой являются экологические проблемы энергетики.

В этот же период активизировались исследования и в других научных центрах и организациях, среди которых прежде всего следует отметить проекты финансируемые Министерством энергетики США (“External Costs and Benefits of Fuel Cycles”, Европейской Комиссией (“ExternE: Externalities of Energy”), и МАГАТЭ с рядом других организаций (“DECADES”). И хотя большинство работ завершается весьма обширными многотомными отчетами, наполненными огромным количеством информации, лишь в отдельных случаях были разработаны интегрированные компьютерные модели (пусть и упрощенные, неполные, неточные и не до конца обоснованные), позволяющие осуществлять оценки ущерба от воздействия объектов энергетики на окружающую среду в экономических показателях, выполнять сравнение различных энергетических технологий, облегчать проблему выбора технологий и площадок для размещения энергетических объектов и т.д., то есть облегчать проблему принятия решений.

Здесь прежде всего можно отметить следующие модели:

“EXMOD” - разработана Институтом “Tellus Institute” по методологии компании “RCG/Hagler Bailly”, интегрировавшей работы многих научных центров США (и прежде всего Национальной лаборатории в Ок-Ридже); на разных стадиях финансировалась из многих источников: Министерством энергетики, корпорацией “ESEERCO”, управлением по исследованиям и разработкам штата Нью-Йорк “NYSERDA”, Электроэнергетическим исследовательским институтом “EPRI” и др.;

“ECOSENSE” - разработана Институтом экономики энергетики и рационального использования энергии (IER) при Штутгартском университете, Германия; используется в национальных оценках разных стран в рамках проекта “ExternE: Externalities of Energy“, финансируемого Европейской Комиссией;

“DECADES” - разработана при поддержке девяти международных организаций (МАГАТЭ, ЕК, ЭСКАТО, МИПСА, МБРР, АЯЭ ОЭСР, ОПЕК, ЮНИДО и ВМО) в рамках одноименного проекта “Базы данных и методологии для сравнительной оценки различных энергетических источников, используемых для производства электроэнергии (DECADES)”; включает блок оценки воздействия на окружающую среду в натуральных и экономических показателях; используется в государствах - членах МАГАТЭ в сравнительных оценках различных энергетических технологий.

В нашей работе, наряду с изучением и развитием методологии, анализировались и оценивались компьютерные программы, позволяющие выполнять различные оценки для разных стадий полных топливных циклов (прежде всего, разработанные или адаптированные в ИБРАЭ РАН). Стратегическая цель - свести их воедино в единый интегральный компьютерный код, наподобие упомянутых выше. Эта цель была поставлена и получила начальный импульс в работах по договору с РАО “ЕЭС России” [10]. При соответствующей затрате ресурсов она может быть достигнута за разумный период времени. Вместе с тем развитые подходы совместно с собранной информационной базой уже сейчас могут использоваться для соответствующих оценок.

\* \* \*

Следует отметить, что вопрос об использовании экономических оценок воздействия на окружающую среду (и ряда других воздействий, или внешних эффектов) при принятии решений оказался весьма дискуссионным [11]. Какие бы успехи ни были достигнуты в оценке ряда воздействий, всегда останутся определенные эффекты (явления, причины), которые нельзя выразить в экономических показателях, но которые существенно влияют на процесс выбора и принятия решений. Высказывались даже мнения о нецелесообразности тратить усилия и средства на решение этой проблемы. Однако, сначала некоторые компании, затем некоторые штаты в США, а потом уже многие организации (частные, общественные, государственные) во всем мире стали практиковать такие оценки и использовать их в процессах принятия решений в энергетике с различной целью: планирования ввода новых мощностей, интегрированного ресурсного планирования (включающего управление спросом на электроэнергию, в частности, энергосбережение), введения квот на выбросы и платы за выбросы загрязняющих веществ, субсидирования перспективных энерготехнологий (например, установок фотопреобразования солнечной энергии и ветрогенераторов)

Ниже излагаются некоторые соображения о том, как можно использовать результаты экономических оценок внешних эффектов в процессах принятия решений в энергетике в комбинации с многокритериальными методами.

# 1 Введение. Основные направления развития электроэнергетики

В начале 90-х годов журнал “Известия РАН: Энергетика” в дискуссионной рубрике “Перспективы развития энергетики страны. Проблемы принятия решений” поднял проблему анализа методологии принятия решений в ТЭК как с точки зрения разработки новых механизмов управления ТЭК, так и отбора для дальнейшего использования прежних методов, эффективность которых проверена практикой. Основная цель заключалась в необходимости сохранить и развить достижения отечественной энергетической науки и, одновременно, объединить эти достижения с новыми подходами и методами с учетом реальной ситуации в быстро меняющемся мировом хозяйстве [12].

Одним из наиболее выдающихся достоинств ТЭК бывшего СССР, а ныне России, является высокий уровень развития электроэнергетики с её развитой Единой электроэнергетической системой (ЕЭЭС). Наличие такой системы позволяет наиболее эффективно использовать энергетические и финансовые ресурсы и способствует решению социальных, экономических и экологических проблем [13,14]. На Международном Форуме “Глобальная электрификация: последующие десятилетия” (1997 г., США) [15] было отмечено, что наличие в России высокой степени электрификации и Единой электроэнергетической системы (хорошо управляемой, устойчивой и гибкой) позволило в трудный для страны экономический период смягчить социальную напряженность и обеспечить экономическую и политическую стабильность во взаимодействии между регионами страны, а также с соседними странами. Специалисты и лица, принимающие решения, активно обсуждали проблемы объединения энергосистем различных энергокомпаний (прежде всего в США), что должно повысить эффективность создаваемого рынка электроэнергии. При этом отмечалась целесообразность учитывать опыт России в решении данной проблемы.

Последующее развитие электроэнергетики видится в совершенствовании технологий производства, распределения и потребления электроэнергии, и в объединении энергосистем в Единую мировую энергосистему [15-17]. Дальнейшая электрификация будет способствовать повышению жизненного уровня и глобальной устойчивости мирового сообщества. Форум [15] пришел к выводу, что основными направлениями развития электроэнергетики мира в начале следующего века, имеющими наивысший приоритет, будут являться следующие два направления:

- глобализация энергетики на основе дальнейшего объединения энергосистем и рынков, при ускоренном внедрении информационных технологий;
- гармонизация развития электроэнергетики и окружающей среды, включая совершенствование технологий, изменение структуры потребляемых топлив, снижение неопределенности потенциального воздействия на климат.

Настоящая работа посвящена проблемам, относящимся ко второму направлению, а, именно, проблемам принятия решений в энергетике с учетом её воздействия на окружающую среду.

Решения, принимаемые с учетом гармонизации развития энергетики и окружающей среды, даются нелегко. Часто это связано с необходимостью нести большие расходы сегодня при довольно неясном возможном экономическом ущербе в отдаленном будущем (например, воздействие энергетики на климат), иногда ущерб очень трудно оценить (воздействие на экосистемы), в ряде случаев при конкретном уровне социально-экономического развития региона эффективнее направить ресурсы в альтернативный сектор (борьба с голодом, улучшение медицинского обслуживания и др.). Среди основных целей, преследуемых при учете в процессах принятия решений последствий техногенного воздействия на окружающую среду, можно отметить следующие:

- правильное распределение ограниченных ресурсов (как на государственном, так и на региональном уровнях);
- социальная справедливость (“загрязнитель” платит средства потребителя “грязной” продукции в виде компенсации третьей стороне);
- минимизация суммарных общественных издержек на производство единицы продукции.

Естественно, что все эти цели направлены на достижение главной цели – повышение общественного благосостояния (см. раздел 2).

В процессах принятия решений с учетом воздействий на окружающую среду основной проблемой является оценка величины этих воздействий (реально имеющих место, или возможных, при определенном стечении обстоятельств) с необходимой степенью достоверности [18]. В ряде случаев, когда такие оценки затруднены, прибегают к разного рода экспертным оценкам. В этой связи развиваются два альтернативных подхода к принятию решений – (1) попытаться всё выразить в экономических показателях и выбрать наиболее экономически эффективный вариант или (2) попытаться достичь максимума целей, используя специально развитые методы многокритериального анализа. Оба подхода имеют свои достоинства и недостатки (см. раздел 6). В данной работе развивается интегрированный подход, позволяющий объединить достоинства обоих упомянутых подходов.

## 2 Проблемы принятия решений в энергетике с учетом воздействия на окружающую среду

Процессы принятия решений в электроэнергетике являются важными элементами осуществления национальной энергетической стратегии, которая в свою очередь является составной частью комплексного процесса реализации социально-экономической стратегии государства. Этот процесс направлен на достижение глобальных социально-экономических целей, таких как: повышение благосостояния населения, охрана здоровья и окружающей среды, обеспечение национальной безопасности, рациональное использование природных ресурсов, учет интересов следующих поколений и т.д.

Наличие многих целей (часто конфликтующих) определяет множество критериев, вырабатываемых для облегчения процессов принятия решений. Процесс принятия решений в электроэнергетике (процесс планирования) должен согласовываться с иерархией целей, учитывая интересы всех участников процесса социально-экономического развития - отдельных граждан, потребителей и производителей электроэнергии, предприятий и организаций в различных отраслях экономики, а также общественных, местных, национальных и международных организаций [19-25]. Этот процесс является комплексным многоуровневым многокритериальным (многоцелевым) процессом при наличии многих заинтересованных сторон и с учетом разной временной перспективы.

На рис.1 приведено дальнейшее развитие схемы многоуровневой структуры государственного планирования (принятия решений) в электроэнергетике из доклада сотрудника Мирового банка М.Мунасинге на Симпозиуме старших экспертов по электроэнергии и окружающей среде (Хельсинки, 1991) [19] и на Международном симпозиуме “Электроэнергия, здоровье и окружающая среда: сопоставительные оценки для поддержки принятия решений” [26]. На разных уровнях для реализации разных подходов разработаны и разрабатываются разные методы и модели анализа, расчетов и оценок различных технико-экономических, социально-экономических, экологических и других показателей.

В принципе, проблемы взаимодействия с окружающей средой (экологические проблемы) пронизывают все разделы всех уровней иерархической структуры и часто могут быть учтены (или уже учитываются) в процессах принятия решений. Так, например, на макроуровне для анализа перспектив развития экономики в целом (включая энергетику, производство и потребление ресурсов, охрану окружающей среды и т.д.) может использоваться метод “затраты-выпуск” (см., например, [27-29])<sup>\*</sup>. В бывшем СССР этот метод использовался для подготовки межотраслевых балансов. Наряду с этим при планировании развития энергетики на среднесрочную перспективу использовался метод целевых показателей и директив (см., например, [30, 31]), суть которого заключалась в определении на основе целей социально-экономического развития показателей уровня жизни и директивном задании плановых показателей развития для всех отраслей народного хозяйства, и в том числе энергетики (включая электроэнергетику) с учетом затрат на охрану окружающей среды.

На промежуточном уровне и на микроуровне были разработаны и широко использовались методы анализа экономической эффективности произведенных затрат<sup>\*\*</sup>, позволяющие выполнять деагрегированный анализ целесообразности отдельных решений (в том числе решений по охране

---

<sup>\*</sup>) Автор не претендует на полноту изложения методов планирования; ссылки на приведенные методы выбраны из большого количества литературных источников и используются в качестве примеров.

<sup>\*\*</sup>) В зарубежной литературе такие методы известны под названием “затраты-выгода”, “затраты-эффективность”, “затраты-эффект” (“cost-benefit”) [34].

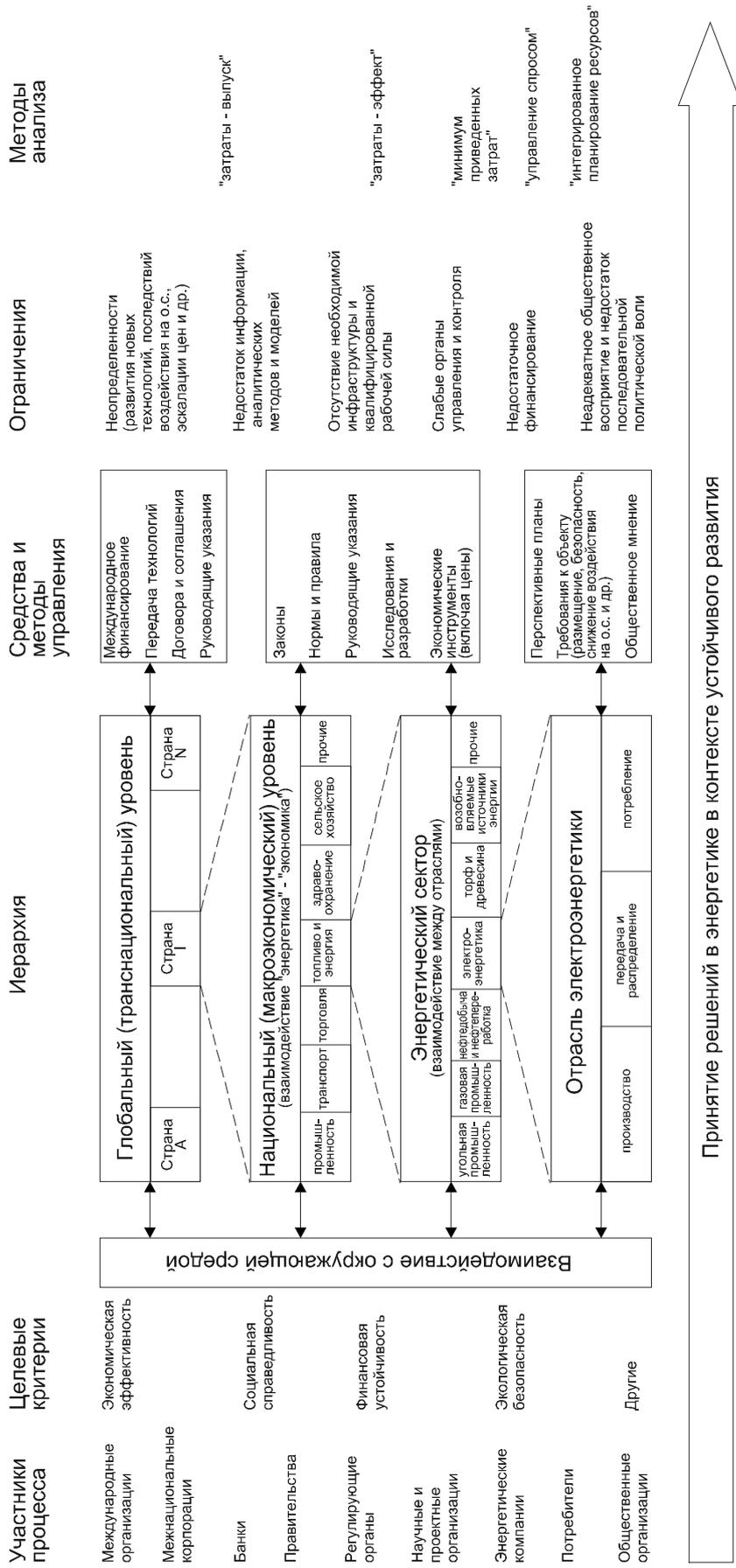


Рис. 1. Схема многоуровневой структуры государственного планирования (принятия решений)

окружающей среды) без учета (или при упрощенном учете) взаимосвязи энергетики с другими отраслями и с экономикой народного хозяйства в целом (см., например [32,33]).

На микроуровне в настоящее время широко используется *метод минимума приведенных затрат* (см., например, [35-37]), сущность которого заключается в выборе решения (варианта развития), при котором затраты для достижения заранее поставленной цели были бы минимальными. По существу, метод позволяет свести к одному критерию несколько различных критериев, определяющих эффективность использования разнородных и разновременных затрат. В принципе, этот метод также учитывает затраты (как капитальные, так и эксплуатационные), связанные с охраной окружающей среды.

Однако, во всех приведенных выше подходах практически не учитывается возможный ущерб (выраженный в натуральных или экономических показателях), связанный с остаточным воздействием на окружающую среду в случаях, когда на её охрану уже вложены определенные средства, не говоря уже о тех случаях, когда мероприятия по защите окружающей среды вообще отсутствуют<sup>\*)</sup>.

Последние 10-15 лет активно развивается *метод управления спросом* на стороне потребителя (см., например, [38-40]), который подразумевает активную политику энергосбережения и соответствующее снижение энергоемкости национального продукта. В этом случае наряду с прямым эффектом (выгодой), связанным со снижением потребления энергоресурсов и экономией капитальных и эксплуатационных затрат, наблюдается косвенный (социальный) эффект, связанный со снижением воздействия на окружающую среду, который может быть выражен в экономических показателях [41-43].

И уже в последние годы в ряде западных стран (а теперь и в России) получил распространение *метод интегрированного планирования ресурсов* (см., например, [44-47]), сочетающий традиционные методы планирования развития мощностей (например, по минимуму приведенных затрат) с современными методами принятия решений, включающими управление спросом и охрану окружающей среды.

В принципе, многокритериальные методы принятия решений в той или иной степени могут учитывать (или уже учитывают) не только затраты на охрану окружающей среды, но и эффекты воздействия энергетики на окружающую среду - как предотвращенного, так и остаточного (в экономических показателях, в натуральных показателях, весовых показателях, путем ранжирования, экспертных оценок и т.д.). Основная проблема состоит в том, насколько полно учитываются эти эффекты, как учесть внешние эффекты (не принимаемые ранее во внимание в экономических расчетах, такие как, например, ущерб здоровью в результате эмиссии окислов серы и азота или возможное глобальное потепление в результате эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу электростанциями на органическом топливе), а также как обеспечить эффективность использования многокритериальных методов принятия решений.

В данной работе развивается подход к использованию оценок экономических показателей внешних эффектов, связанных с производством электроэнергии, для упрощения многокритериальных методов принятия решений, получающих в настоящее время распространение в интегрированном ресурсном планировании (см. раздел 5).

### **3 Внешние эффекты (экстернальности) при производстве электроэнергии**

Использование электрической энергии имеет огромный положительный эффект в жизни общества. Потребители платят именно за этот положительный эффект. Однако, производство электроэнергии приводит также к некоторым побочным отрицательным (иногда положительным<sup>\*\*)</sup> последствиям. Таким как, например, образование тропосферного озона в результате эмиссии NO<sub>x</sub> электростанциями на органическом топливе и последующих фотохимических преобразований; высокий уровень содержания озона в приземном слое атмосферы увеличивает вероятность заболевания людей и негативно воздействует на растительность. Если говорить о полном цикле производства электроэнергии, то в качестве примера побочных отрицательных воздействий можно привести аварии со смертельным исходом на угольных шахтах и профессиональные заболевания шахтеров. Существует много других подобных эффектов, связан-

---

<sup>\*)</sup> Под воздействием на окружающую среду здесь понимается широкий круг проблем, связанных с воздействиями на природную и окружающую человека среду, включая биоту, инфраструктуру, социальную сферу и т.д. (классификацию понятия "среда" см., например, [1]).

<sup>\*\*)</sup> В качестве примеров незапланированного положительного эффекта можно привести повышение урожайности зерновых культур в результате воздействия выбросов Березовской ГРЭС [48].

ных с воздействием на природную и окружающую человека среду предприятий полного топливного цикла для разных видов энергоресурсов (органическое топливо, ядерная энергия, гидроэнергия и др.).

Хотя эти эффекты являются непреднамеренными, они воздействуют на благосостояние других индивидуумов, а не только на производителей и потребителей электроэнергии. Риски здоровью человека воздействуют на благосостояние индивидуумов в явном виде. Кроме того, люди ценят благоприятную окружающую среду, поэтому ущерб окружающей среде также воздействует на благосостояние индивидуумов. В экономической литературе такие эффекты называются *экстернальностями* (или экстерналиями) (см., например, [49-56]). *Экстернальности определяются как эффекты воздействия на благосостояние отдельных индивидуумов или коллективов людей, которых производители и потребители товара или услуги (например, электроэнергии) не принимают во внимание в своих решениях при оценке эффективности (выгодности)*. Экстернальностями могут быть либо внешние затраты (стоимости), либо внешние выгоды. Они могут быть связаны с воздействием на окружающую среду, влиянием на здоровье человека, ущербом инфраструктуре, или с другими воздействиями. Они могут также учитывать возможность невозможных потерь или катастрофических событий.

В [49] в зависимости от вида воздействий различные экстернальности классифицируются следующим образом:

- *межвременные (между поколениями) экстернальности*. Эти экстернальности имеют прямое отношение к проблеме устойчивого развития. Современное поколение в своей деятельности неизбежно воздействует на благосостояние будущих поколений как положительно, создавая новые эффективные технологии и материальные и духовные ценности, так и отрицательно, расходуя невозобновляемые ресурсы, загрязняя и истощая окружающую среду, т.е. уменьшая возможности будущих поколений удовлетворять собственные нужды. В качестве примеров межвременных экстернальностей здесь можно отметить наступающее истощение запасов нефти, возможное глобальное потепление в результате эмиссии CO<sub>2</sub>, долговременный риск, связанный с радиационными последствиями аварий на объектах ядерного топливного цикла, или с хранением радиоактивных отходов и др.;
- *глобальные (межгосударственные) экстернальности*. Примерами глобальных экстернальностей являются трансграничный перенос загрязнений (например, образование и выпадение кислотных дождей в Западной Европе, или радиоактивное загрязнение почв в ряде стран в результате аварии на Чернобыльской АЭС) и, уже отмеченная выше как межвременная экстернальность, возможность глобального потепления;
- *межрегиональные (межрайонные) экстернальности*. Этот вид экстернальностей аналогичен глобальным экстернальностям но проявляется в масштабах нескольких районов одной страны. Например, загрязняющие сбросы в верхнем течении реки Волга переносятся и воздействуют на “нижние” регионы (приводят к дополнительным затратам на очистку воды);
- *межотраслевые (межсекторальные) экстернальности*. Развитие одних отраслей народного хозяйства неизбежно приводит к воздействию на другие отрасли, часто отрицательному. Так, строительство гидроэлектростанций приводит к выбытию из сельскохозяйственного оборота огромных площадей, затоплению лесных массивов, уменьшению ценных сортов рыб и т.д.;
- *локальные экстернальности*. Такой вид экстернальностей связан с действием определенного источника загрязнений, которые распространяются на ограниченной территории. Этот вид изучен и продолжает изучаться наиболее подробно. Созданы и продолжают разрабатываться новые модели распространения и трансформации загрязняющих веществ, ведутся эпидемиологические, клинические и лабораторные исследования по установлению взаимосвязи между дозой воздействия загрязняющих веществ и эффектом этого воздействия (доз-эффектов), развиваются различные методы перевода натуральных показателей ущерба в экономические. И все эти исследования и разработки относятся прежде всего к анализу и управлению локальными экстернальностями.

Экстернальности (внешние издержки, внешняя стоимость) являются частью общей социальной стоимости производства электроэнергии.

Экстернальности рассматриваются в теории социального благоденствия и изучаются в экономике. Проблему учета внутренних и внешних издержек впервые исследовал английский экономист А.Пигу [50]. Он различал частные, или индивидуальные издержки (private cost) и социальные издержки, или затраты всего общества (social cost), которые наряду с частными издержками включают и внешние издержки, или экстернальности (external cost). Впоследствии в отечественной литературе вместо термина “социальные издержки” стал использоваться термин “социальная стоимость”. Таким образом **социаль-**

*ную стоимость принято определять как сумму частных (внутренних) издержек и внешних издержек или экстерналистей<sup>\*)</sup>.*

В рыночной экономике для любого производителя электроэнергии важная цель заключается в максимизации прибыли, что достигается, в частности, минимизацией своих частных затрат. При этом, если общественными институтами не предпринято соответствующих мер, то производитель не планирует никаких затрат на охрану окружающей среды и, соответственно, не учитывает их в себестоимости и в цене электроэнергии. Потребители электроэнергии также платят меньшую цену, поскольку в нее не включаются затраты на охрану окружающей среды или на преодоление последствий воздействия на окружающую среду (ущерб от воздействия на окружающую среду). В этом случае все общество в целом (включая как производителей и потребителей, выступающих уже как общественные субъекты, перепродавцов и других лиц, имеющих отношение к данному товару или услуге, так и лиц, отношения к ним не имеющих, но которые, как правило, составляют преобладающее большинство) будет покрывать данный ущерб, либо расходуя дополнительные средства на ликвидацию его последствий, либо неся соответствующие потери (которые могут быть выражены как в натуральных, так и в экономических показателях).

Таким образом, полная социальная стоимость производства электроэнергии за счет энергоресурса  $i$  ( $C_{s,i}$ ), будет состоять из частных издержек ( $C_{p,i}$ ) и внешних издержек ( $C_{e,i}$ ):

$$C_{s,i} = C_{p,i} + C_{e,i}. \quad (2.1)$$

Учитывая, что существует большое количество различных видов внешних издержек<sup>\*\*) (см. выше), агрегированную величину внешних издержек ( $C_{e,i}$ ) можно выразить в виде суммы внешних издержек типа  $j$ :</sup>

$$C_{s,i} = C_{p,i} + \sum_j C_{eji}. \quad (2.2)$$

Оценка экстерналистей, как в экономических, так и в натуральных показателях, является одной из сложнейших междисциплинарных проблем (экономических, экологических, физико-химических, медико-биологических, технических, социальных и др.). Ей посвящено огромное количество публикаций в мировой и отечественной литературе. К сожалению, диапазон оценок в ряде случаев очень велик, что определяется как объективными, так и субъективными причинами (см. ниже).

Для наглядности рассмотрим упрощенный пример образования и оценки экстерналистных издержек при производстве электроэнергии. Предположим, что вблизи населенного пункта расположена крупная тепловая электростанция, работающая на органическом топливе и производящая электроэнергию для всего региона, и прежде всего для промышленных предприятий этого региона. В самом населенном пункте потребляется лишь незначительная часть производимой на станции электроэнергии. Вместе с тем эта станция выбрасывает в атмосферу такие загрязняющие вещества как оксиды серы и азота, зольную пыль, тяжелые металлы и др., которые, в основном, воздействуют на здоровье людей, растительность и материалы в окрестностях данного населенного пункта. При отсутствии необходимости компенсации ущерба электростанция будет производить электроэнергию с минимальными затратами на природоохранные мероприятия, а большая часть дополнительных расходов, связанных с предохранением от вредных воздействий (кондиционирование воздуха в помещениях, защитная окраска зданий и сооружений и др.), преодолением последствий воздействий (затраты на лечение, ремонт), или прямым ущербом (снижение урожая), возлагаются на жителей близлежащего населенного пункта.

Существование экстерналистей ставит вопрос о реальной стоимости электроэнергии для общества. Неучет экстерналистей в рыночном ценообразовании приводит к смещению равновесия “спрос-предложение” по всей цепочке смежных производств, неоптимальному распределению ресурсов, а следовательно к искажению рынка в целом и снижению его эффективности в достижении глобальных социально-экономических целей.

<sup>\*)</sup> В отечественной литературе определенную здесь социальную стоимость было принято называть полной народнохозяйственной стоимостью (см., например, [2,3]). Следует, однако, отметить, что в ряде публикаций под социальной стоимостью подразумевается только сумма внешних издержек, которые оплачиваются всем обществом (society).

<sup>\*\*) То же самое можно сказать и о частных издержках, однако, как правило, их набор и методы приведения к единому показателю (приведенным затратам) определены достаточно четко.</sup>

На рис. 2 показано как учет экстерналий приводит к смещению равновесия “спрос-предложение” при производстве электроэнергии (в случае монопольного положения на рынке источников электроэнергии одного типа); при этом цена электроэнергии, включающая частные издержки и прибыль производителя, возрастает, а потребление электроэнергии (и её производство, а, соответственно, и выбросы загрязняющих веществ) уменьшается. На конкурентном рынке с источниками электроэнергии разных типов интернализация экстерналий (включение их во внутренние издержки у производителя, см. ниже) приводит к изменению конкурентоспособности отдельных технологий.

Так, например, в США введение нерегулируемого рынка электроэнергии может привести за период 2000-2005 гг. к досрочному выводу из эксплуатации около 20-ти блоков АЭС, как неконкурентоспособных. Однако, введение начиная с 2000 г. платы за выбросы  $\text{NO}_x$  (в размере около 2000 долларов за тонну выброса, или около 0,13 цента/кВт-ч произведенной электроэнергии) и за выбросы  $\text{CO}_2$  (в размере 15 долларов за тонну, или около 0,6 цента/кВт-ч) приведет к тому, что примерно половина из этих 20-ти блоков окажутся конкурентоспособными и не будут выводиться досрочно [51].

Несмотря на обширные теоретические разработки, на практике учет внешних издержек сталкивается со значительными трудностями, такими как искажения рынка, недооценка или вообще бесплатность природных ресурсов, проблема оценки экологического ущерба в экономических показателях и др.[49].

В целях выработки механизма оптимизации (минимизации) социальной стоимости электроэнергии желательно “интернализировать” экстерналии [54]. Под *интернализацией экстерналий* подразумевается выработка такого экономического механизма, благодаря которому производители и потребители электроэнергии при принятии решения будут учитывать полную (социальную) стоимость её производства, включая величину ущерба окружающей среде, здоровью человека, и инфраструктуре.

Реализация государственной и общественной политики в области охраны окружающей среды может приводить к интернализации экстерналий, связанных с остаточным ущербом, путем установления платы за выбросы или продажи разрешений на выбросы (при этом принципиально важным является вопрос, чтобы полученные в результате дополнительные средства были использованы в интересах лиц, претерпевающих этот ущерб, хотя и не обязательно на ликвидацию его последствий). В этом случае будет реализоваться фундаментальный принцип природопользования - “загрязнитель платит”. Налог, возлагаемый на загрязнителей, по величине равный экстерналийным издержкам получил название *пигувианского налога* или *налога Пигу*.

Таким образом, затраты, связанные как с предотвращением ущерба, так и с потерями в результате остаточного ущерба, будут включаться в приведенные затраты у производителя электроэнергии, и, следовательно, отражаться в цене, по которой она отпускается потребителю. Поэтому, экстерналийные издержки отчасти могут оплачиваться потребителем (в размере увеличения цены на электроэнергию), а отчасти производителем (за счет уменьшения прибыли, чтобы обеспечить конкурентоспособность на рынке). В конечном счете будет реализовываться принцип - “платят производитель и потребители “грязной” продукции”.

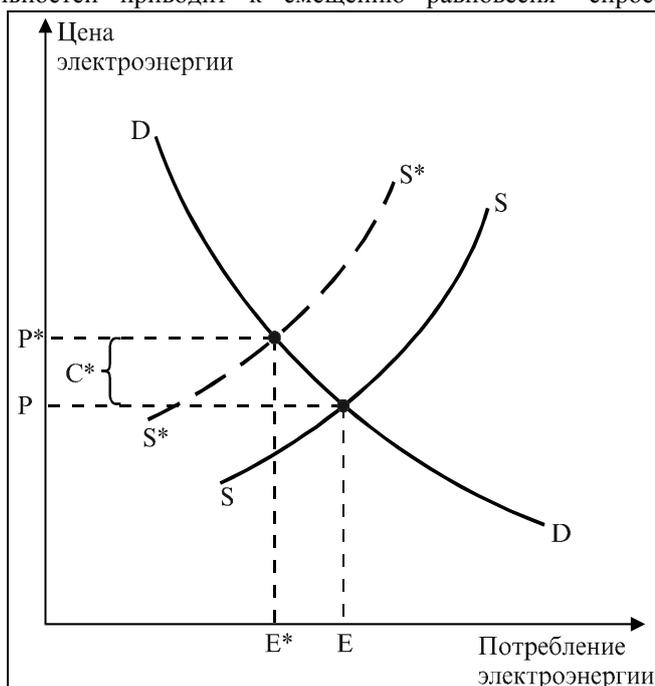


Рис. 2. Изменение цены и потребления электроэнергии при учете внешних издержек.

- D – D — кривая спроса на электроэнергию в зависимости от цены;
- S – S — кривая предложения;
- S\* - S\* — кривая предложения при учете внешних издержек в цене;
- E — количество потребляемой электроэнергии;
- E\* — количество потребляемой электроэнергии при учете внешних издержек в цене;
- P — цена электроэнергии без учета внешних издержек;
- P\* — цена электроэнергии с учетом внешних издержек;
- C\* — внешние издержки (сумма экстерналий).

В приведенном выше упрощенном примере основные расходы, связанные с внешними издержками, будут нести промышленные предприятия, потребляющие большую часть электроэнергии, которые в свою очередь включая эти затраты в цену на выпускаемую ими продукцию большую часть их издержек перенесут на конечного потребителя (еще раз подчеркнем необходимость существования механизма передачи выплат за экстерналии издержки на защиту от ущерба, преодоление последствий ущерба, или материальную компенсацию в той или иной форме).

Проблема установления правильного соотношения между выгодой производителя продукции, загрязняющего окружающую среду, и его компенсационными выплатами другим участникам за причиненный ущерб является одной из ключевых проблем в экономике природопользования (в принципе, это является составной частью согласования интересов всех участников социально-экономического процесса – производителей, потребителей, третьих лиц). Считается, что общество в целом получает выгоду от какого-либо вида деятельности, если в результате перераспределения доходов хотя бы один индивидуум получает выгоду и никто не несет потерь (это соответствует критерию потенциального *улучшения по Парето* [49]). В ряде экономических исследований показано, что введение налога Пигу позволяет достигать Парето-эффективного распределения ресурсов [52].

В процессе планирования и принятия решений в электроэнергетике разными органами преследуются разные цели, среди которых можно отметить две важнейшие. Одна из них - надежное обеспечение потребителя электроэнергией при минимальных издержках собственно производства этой энергии. Другая цель заключается в минимизации внешних издержек (экстерналиостей), также имеющих место при производстве электроэнергии. Ниже развивается методологический подход, который можно использовать для достижения этих разных целей оптимальным образом.

#### 4 Минимизация социальной стоимости электроэнергии

Каждый способ учета экстерналиостей во внутренних издержках (интернализации экстерналиостей) также приводит к определенным затратам. Нахождение оптимального решения заключается в минимизации полной (социальной) стоимости производства электроэнергии при необходимом уровне надежности. Важно понимать, что ущерб будет существовать, даже если все экстерналии будут интернализированы. Это означает, что в целом экономически неэффективно пытаться полностью избежать всех видов ущерба. Это стоило бы слишком дорого. Составляющая частных издержек в социальной стоимости была бы слишком большой, так как с ростом степени очистки стоимость очистки (расходы на предотвращение ущерба) возрастает (см. рис.3).

В идеальном случае основной проблемой для производителя электроэнергии при принятии решений должна была бы являться минимизация социальной стоимости электроэнергии, т. е. нахождение минимума суммы двух отдельных компонент - частных издержек (приведенных затрат)<sup>\*)</sup> и агрегированной величины внешних издержек, т.е.

$$\text{Min} \{ C_{s,i} = C_{p,i} + C_{e,i} = C_{p,i} + \sum_j C_{eji} \} . \quad (3.1)$$

Как будет показано ниже, необходимость этого может определяться как регулируемыми органами в законодательном порядке, так и силу внутренних побудительных причин, вызванных желанием успешно конкурировать в условиях рынка.

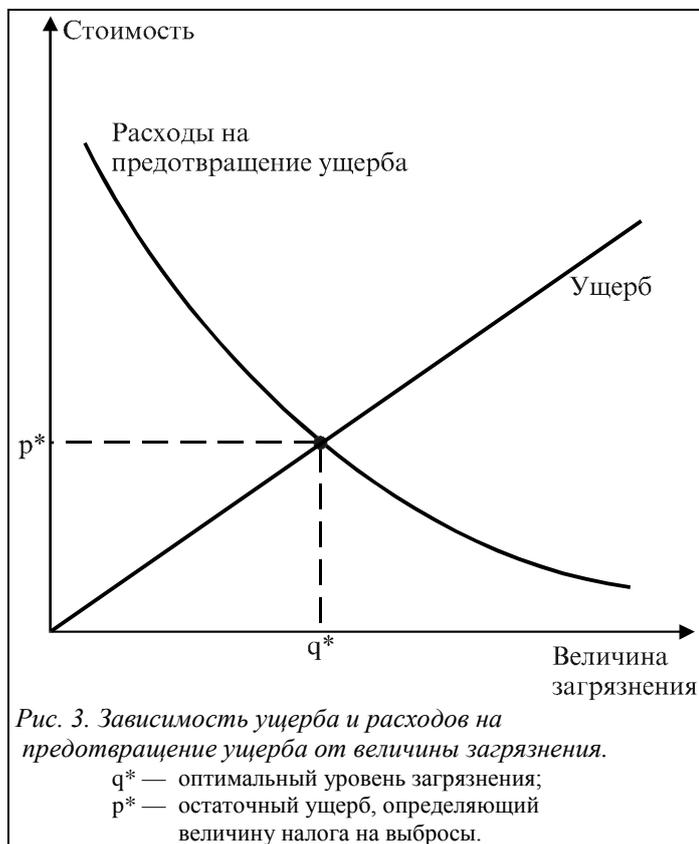
Анализ расходов, связанных с остаточным ущербом, и расходов на предотвращение ущерба (затраты на установку и обслуживание природоохранного оборудования, включаемые в состав приведенных затрат) позволяет определить тот оптимальный уровень загрязняющих выбросов -  $q^*$ , который соответствует минимальной социальной стоимости электроэнергии, см. рис.3. В настоящее время принято считать, что соответствующая величина остаточного ущерба -  $p^*$  определяет оптимальную величину налога Пигу [52].

При принятии решений с помощью многокритериального анализа каждая составляющая стоимости должна умножаться на некоторый весовой коэффициент  $0 < W < 1$ , отражающий относительную важность этой составляющей для лиц, принимающих решения, которые определяются различными способами (см. ниже); т.е. задача должна была бы сводиться к нахождению минимума следующего выражения:

<sup>\*)</sup> Здесь использовано общепринятое понятие приведенных затрат. Однако, более правильно было бы определять частные издержки как дисконтированные затраты (не включающие прибыль), а не приведенные затраты (в состав которых включается прибыль) [37].

$$\text{Min} \{ W_p \cdot C_{p,i} + \sum_j W_{ej} \cdot C_{eji} \}. \quad (3.2)$$

Однако, так как не все цели или критерии, определяющие принятие соответствующего решения, могут быть выражены в экономических показателях (а если и могут, то для разных случаев они оцениваются с разной степенью точности, иногда составляющей порядок величины), упрощение методов многокритериального анализа, сводя его только к формализованному уравнению (3.2), оказывается невозможным. Более того, некоторые цели или критерии, учитываемые при принятии решений, вообще не могут быть выражены количественно (даже в натуральных показателях).



Реально оценить некоторые внешние издержки (экстернальности) производства электроэнергии достаточно трудно в силу ряда следующих основных причин:

- хотя мы можем измерять состав и количество выбросов на электростанциях, очень трудно измерить или рассчитать результат их физико-химических превращений, результирующее распространение, и оценить величину воздействия этих выбросов (или продуктов их физико-химических превращений) на человека и окружающую среду сначала в натуральных, а затем и в экономических показателях;
- существует большое количество экстернальностей различных видов, которые трудно сопоставлять (например, они могут явиться результатом возросшего риска заболеваемости и смертности от загрязнения воздушной среды, воздействия на окружающую среду в виде потерь рыбных ресурсов в гидроэнергетических проектах, или уменьшения числа рабочих мест в регионе, или в стране в целом при переводе электростанций с угля на газ);
- большинство внешних эффектов не имеют рынка, на котором бы они покупались или продавались, т.е. они не имеют рыночной цены (например, экологический ущерб вследствие риска исчезновения некоторых видов растений и животных);
- существующие законы, штрафы, плата за выбросы, страховки, более высокая оплата работ с повышенным риском для здоровья и другие мероприятия частично уже интернализуют некоторые виды ущерба - поэтому эти виды ущерба уже не являются полностью экстернальностями;
- в ряде важных примеров, уровень научных знаний еще недостаточен для достоверных оценок;

- некоторые специалисты сомневаются, является ли уравнение 3.1 достаточно обоснованным, в частности насколько допустимо предполагать аддитивность частных и внешних издержек;
- среди экономистов существуют споры о справедливости теории социального благоденствия (в рамках которой развивается понятие экстерналистичности), используемой для анализа экономического развития; в частности в качестве альтернативы рассматривается, например, теория воспроизводства (см., например, [49, 52, 53]).

## 5 Интегрированное ресурсное планирование и учет экстерналистичных издержек

Интегрированное ресурсное планирование - это процесс, в котором производители электроэнергии планируют, как оптимальным образом удовлетворить предполагаемый спрос на их электроэнергию в будущем с учетом различных ограничений и требований минимизации затрат как производителей, так и потребителей и общества в целом [44-47]. При этом могут быть использованы ресурсы как на стороне снабжения, так и на стороне потребления. Ресурсы на стороне снабжения включают в себя существующие электростанции, вновь вводимые мощности, контракты на получение электроэнергии, и одномоментные рыночные закупки. Ресурсы на стороне потребления включают программы управления спросом, которые приводят к уменьшению потребности в электроэнергии [38-43].

Различные варианты на стороне снабжения (как энергоресурсы, так и технологии), такие как, например, паро-газовые электростанции, атомные электростанции, или ветрогенераторы, имеют разные составляющие капитальных и эксплуатационных затрат. Аналогично, разные варианты управления спросом требуют разных затрат и обеспечивают разные объемы энергосбережения. Примерами управления спросом являются субсидии домовладельцам в США на установку энергосберегающих окон, или владельцам коммерческих помещений на устройство более эффективного (энергосберегающего) освещения. Интегрированное ресурсное планирование использует модели для прогноза потребностей в электроэнергии и для расчета минимальных затрат при комбинации ресурсов на стороне снабжения и на стороне потребления.

Интегрированное ресурсное планирование является многоцелевым (многокритериальным) процессом, учитывающим интересы различных заинтересованных сторон (в том числе акционеров). Окончательный план интегрированных ресурсов энергопроизводящей компании отражает ряд разных соображений: результаты анализа с использованием различных моделей, различные критерии и ограничения, которые не могут быть выражены количественно, пожелания держателей акций, а также требования региональной энергетической комиссии, выражающей общественные интересы в данном районе.

К сожалению в России в силу ряда причин (прежде всего законодательных и финансовых) созданные недавно региональные энергетические комиссии (РЭК) пока еще не оказывают эффективного влияния на взаимодействие производителей и потребителей электроэнергии, и учет интересов различных общественных объединений и всего общества в целом. Более того высказывается мнение (на наш взгляд в корне неверное), что с либерализацией и развитием рыночных отношений в электроэнергетике необходимость в РЭК отпадет и они будут ликвидированы.

В США энергетические комиссии штатов являются регулируемыми органами, обладающими юридическими правами в отношении акционерных энергопроизводящих компаний, являющихся в значительной степени монополистами на своей территории. Роль комиссий заключается в гарантии удовлетворения потребителей электроэнергией с приемлемой степенью надежности и при разумных и справедливых расходах.

Около половины энергетических комиссий в США требуют, чтобы энергокомпании в их интегрированном ресурсном планировании учитывали бы внешние издержки (или экстерналистичности), которые оплачивает все общество в целом, т.е. ставится задача интернализации экстерналистичностей. В определенной степени, энергокомпании могут частично интернализировать экстерналистичности используя ресурсы как на стороне снабжения, так и на стороне потребления.

На стороне снабжения это может быть достигнуто путем строительства более эффективных электростанций (например, парогазовых установок), установкой нового очистного оборудования (например, высокоэффективных электростатических фильтров), и выбором мест размещения электростанций, которые не находились бы в районах с высокой плотностью населения или в чувствительных экосистемах.

На стороне потребления важную роль в управлении экстернальностями (уменьшении внешних издержек) играют энергосберегающие мероприятия.

В настоящее время во многих странах наблюдается тенденция сделать электроэнергетику более конкурентной, возможно, путем дерегулирования и введения конкуренции на уровне розничных продаж. Если конкуренция на уровне розничных продаж была бы реализована, то, теоретически, все потребители электроэнергии могли бы заключать контракты с интересующими их производителями электроэнергии, или покупать энергию на рынке наличного товара (*spot market*). Из определения экстернальностей первоначально может показаться, что производители электроэнергии вообще не имеют никаких побудительных причин интернализировать экстернальности, особенно в условиях рынка. Однако, и в этих условиях производители могут, тем не менее, иметь побудительные причины делать это, например, вследствие:

- возможности ужесточения будущих регулирующих норм и соответствующих экономических потерь в результате необходимости очень дорогого ретрофита;
- желания приобрести опыт работы с новыми технологиями, стоимость которых в перспективе может очень сильно снизиться;
- необходимости учета общественного мнения и улучшения отношений с населением (например, путем введения дополнительных льгот жителям района, где размещаются предприятия ядерного топливного цикла).

## **6 Развитие подхода к процессу принятия решений, используя оценки экстернальностей**

Предлагаемый ниже возможный подход может использоваться при многоцелевом или многокритериальном процессе принятия решений в энергетике. Этот подход состоит из двух этапов.

*Первый этап* заключается в количественной оценке некоторых наиболее важных экстернальностей, которые могут быть выражены в единых единицах измерения (как правило, в экономических показателях) с максимальной степенью определенности, насколько это окажется возможным. Использование единых единиц измерения уменьшает размерность последующего многокритериального анализа. При этом следует принимать во внимание также и менее значимые, но легко оцениваемые экстернальности, если их количество достаточно велико (см. ниже).

*На втором этапе* учитывается, что некоторые важные экстернальности не могут быть оценены (или неопределенность в оценках слишком велика) в тех же единицах измерения, в которых оцениваются другие экстернальности. Например, несмотря на то, что на настоящий момент уже существует большое количество оценок возможного экономического ущерба в результате глобального потепления за счет эмиссии CO<sub>2</sub>, неопределенность этих оценок очень велика (от ущерба до выигрыша). Поэтому, на втором этапе используются многокритериальные методы.

### **6.1 Оценка экономического ущерба для уменьшения размерности многокритериальных методов (этап 1)**

Основной трудностью в решении многокритериальных проблем является необходимость одновременного учета многих целей. Это делает весьма сложной задачу правильной обработки информации о каждой цели, и принятия разумного, если и не четко определенного, решения при использовании многокритериальных методов. Определяя все цели, отличные от минимизации частных издержек (приведенных затрат), в процессе минимизации социальной стоимости можно использовать различные методы оценки экстернальностей, чтобы значительно уменьшить количество целей и критериев, которые в конечном счете должны рассматриваться в рамках многокритериального анализа<sup>\*)</sup>.

Хотя теория экстернальностей относится к экономике, для их оценки в экономических показателях требуется привлечение знаний из различных областей науки. Для некоторых экстернальностей относительно ясно, как их оценить в экономических показателях. В качестве примеров можно привести стои-

---

<sup>\*)</sup> Наличие большого числа критериев (более 10) делает задачу многокритериального анализа практически неразрешимой [18, 23-25].

мость ремонта разрушенных дорог, или рыночную стоимость потерянного урожая в результате ущерба от воздействия тропосферного озона. Они по своей природе уже выражены в денежной форме.

Однако, многие экстерналиности не являются выраженными в денежной форме в силу своей природы. Тем не менее, мы имеем право тоже измерять их в экономических показателях. Обоснованность такого подхода заключается в следующем [49, 54, 55]:

- очевидно, что индивидуумы согласны тратить часть своих ресурсов (время или деньги) в обмен на товары и услуги, которые не обязательно продаются на рынке (например, хорошее здоровье или удовольствие от развлечений) - это подтверждается практикой и социологическими опросами;
- очевидно, что индивидуумы желали бы получать компенсацию за риск здоровью или другие нежелательные явления (например, более высокую зарплату за работу в более опасных условиях);
- некоторые рыночные цены неявно отражают нежелательность определенных эффектов (например - цены на недвижимость в зависимости от близости к местам размещения опасных или экологически вредных производств).

Таким образом, намеченная стратегия в нашем подходе заключается в предположении, что мы можем оценить многие экстерналиности в экономических показателях с достаточной степенью определенности. Для этого могут использоваться различные прямые и косвенные методы, развиваемые в различных социально-экономических теориях (социального благоденствия, простого и расширенного воспроизводства и др.), такие как, например: рыночная оценка, метод дифференциальной ренты (разной цены ресурсов разного качества), затратный метод (величина затрат на приведение системы в исходное состояние), метод изменения продуктивности, метод потери дохода (изменения качества жизни), метод альтернативной стоимости (упущенной выгоды), метод стоимости существования, метод выраженного предпочтения, метод гедонистического ценообразования (оценивания удовольствия) и т.д. [49, 53-58].

В последнее время в комплексных оценках экстерналиностей широко используется, развитый более 20 лет назад, обобщенный *метод функции ущерба*, сочетающий в себе многие подходы из перечисленных выше методов и позволяющий оценить величину многих экстерналиностей (ущербов) в экономических показателях [54-55, 59-63]. Чаще всего под функцией ущерба понимают зависимость доли утраченных потребительских свойств элемента окружающей среды (в том числе здоровья человека) от внешних (характера воздействия, состояния окружающей среды и др.) и внутренних (самого элемента) характеристик. Эта функция может быть записана как в безразмерном виде, изменяясь от 0 (отсутствие ущерба) до 1 (полная утрата элемента), так и в размерном виде, определяя величину ущерба в натуральных или в экономических показателях.

Метод функции ущерба базируется на экономических оценках, использующих концепции “*готовности платить*” за определенный товар или услугу, за право пользования различными благами (такими как, например, красивый пейзаж), а также за то, чтобы избежать ущерба (или риска ущерба) вследствие деятельности различных объектов полного топливного цикла производства электроэнергии, или “*согласия на компенсацию*” при наличии ущерба (риска ущерба).

Эта методология основывается на двух предпосылках:

- экстерналиности относятся к ущербам здоровью, окружающей среде, и другим явлениям, которые ценят индивидуумы; следовательно, методология оценки ущербов должна использовать существующие научные знания об этих эффектах;
- экстерналиности являются экономическими категориями по своей природе, даже если некоторые из них нельзя непосредственно выразить в денежной форме; поэтому, методология должна обеспечивать возможность их оценки в экономических (денежных) показателях.

Для оценки любого воздействия на окружающую среду (например, от загрязняющих выбросов) необходимо детально рассматривать (моделировать) соответствующие *цепочки воздействий (поллютивные цепочки)*. Для экономической оценки воздействий от генерации загрязнений соответствующая поллютивная цепочка выглядит следующим образом [64]:

*параметры генераторов загрязнений* ⇒ *параметры выбросов в среду* ⇒ *параметры загрязнения окружающей среды* ⇒ *параметры загрязнения контактной среды* ⇒ *параметры состояния реципиентов* ⇒ *натуральные последствия поллютивных нагрузок при воздействии загрязнений на реципиентов* ⇒ *экономическая оценка поллютивных нагрузок на реципиентов*.

В принципе оценки по поллютивной цепочке на разных стадиях требуют использования разных подходов, методов, моделей, баз данных и т.д.

В упрощенном виде последовательность этапов оценки с помощью цепочек воздействия (используемых в методе функции ущерба) представлена на рис. 4. Эта последовательность состоит из пяти стадий:

1. характеристика технологии, включая характеристики выбросов и других источников воздействия;
2. моделирование распространения выбросов с последующей оценкой концентрации загрязнений;
3. оценка воздействий на здоровье человека и экосистемы в натуральных показателях;
4. оценка воздействий в экономических показателях (перевод натуральных показателей ущерба в экономические);
5. определение суммарной величины экстерналий, т.е. той доли экономического ущерба, которая не учитывается в цене электроэнергии.

В качестве примера рассмотрим оценку методом функции ущерба экстерналий, связанных с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу.

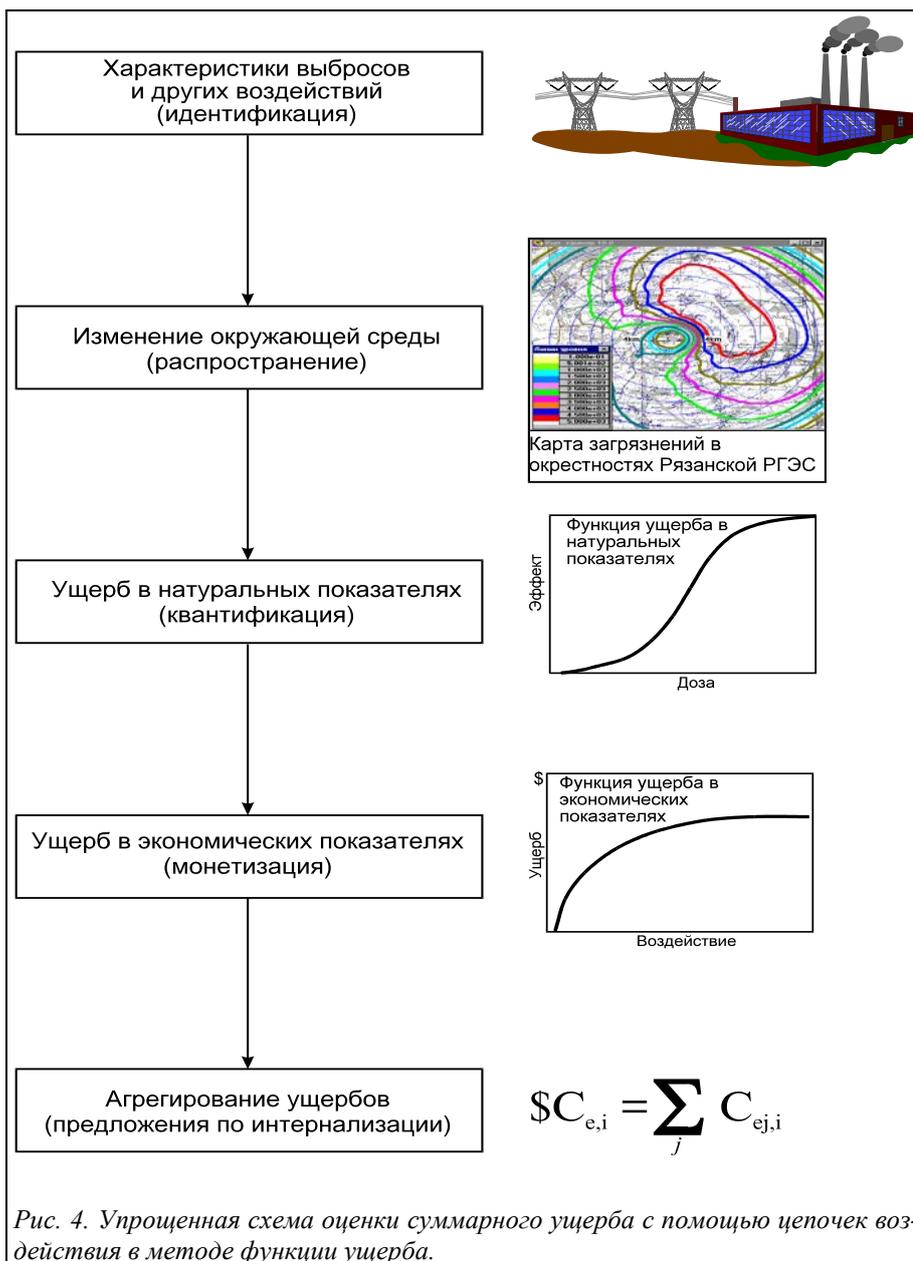


Рис. 4. Упрощенная схема оценки суммарного ущерба с помощью цепочек воздействия в методе функции ущерба.

На первой стадии выясняется какие экстерналии возникают в результате выбросов и других эффектов, относящихся к производству электроэнергии (обычно эту стадию называют *идентификацией*). Состав выбросов определяет характер воздействий на здоровье человека и окружающую среду, и, следовательно, тип экстерналий. Загрязняющие выбросы энергетических объектов распространяются в пространстве, рассеиваются, и в ряде случаев претерпевают химические превращения.

На второй стадии оцениваются изменения концентраций загрязняющих веществ и соответствующие химические превращения, являющиеся результатом переноса, рассеивания и трансформации выбросов (стадия *распространения*). Увеличение концентрации вредных веществ в атмосфере, приводит к росту воздействий на здоровье и окружающую среду.

На третьей стадии используются различные модели и методы развитые в эпидемиологии и экологии, чтобы оценить результат этих воздействий в натуральных показателях (стадия *квантификации*).

На четвертой стадии результаты этих воздействий (ущербы), выраженные в натуральных показателях (например, степень увеличения респираторных заболеваний), пересчитываются в экономические показате-

тели (эту стадию называют *монетизацией*). В экономике существует много способов, позволяющих переводить натуральные показатели ущерба здоровью и окружающей среде в экономические (некоторые из них упомянуты выше).

Наконец, на пятой стадии определяется, какая часть экономического ущерба от выбросов уже учтена в частных (внутренних) издержках (интернализирована). На этом же этапе могут быть сделаны предложения по способам интернализации остаточного ущерба (эту стадию называют *интернализацией*).

Структура интегрированной компьютерной модели оценки экстерналий для разных полных топливных циклов [65] приведена на рис. 5.

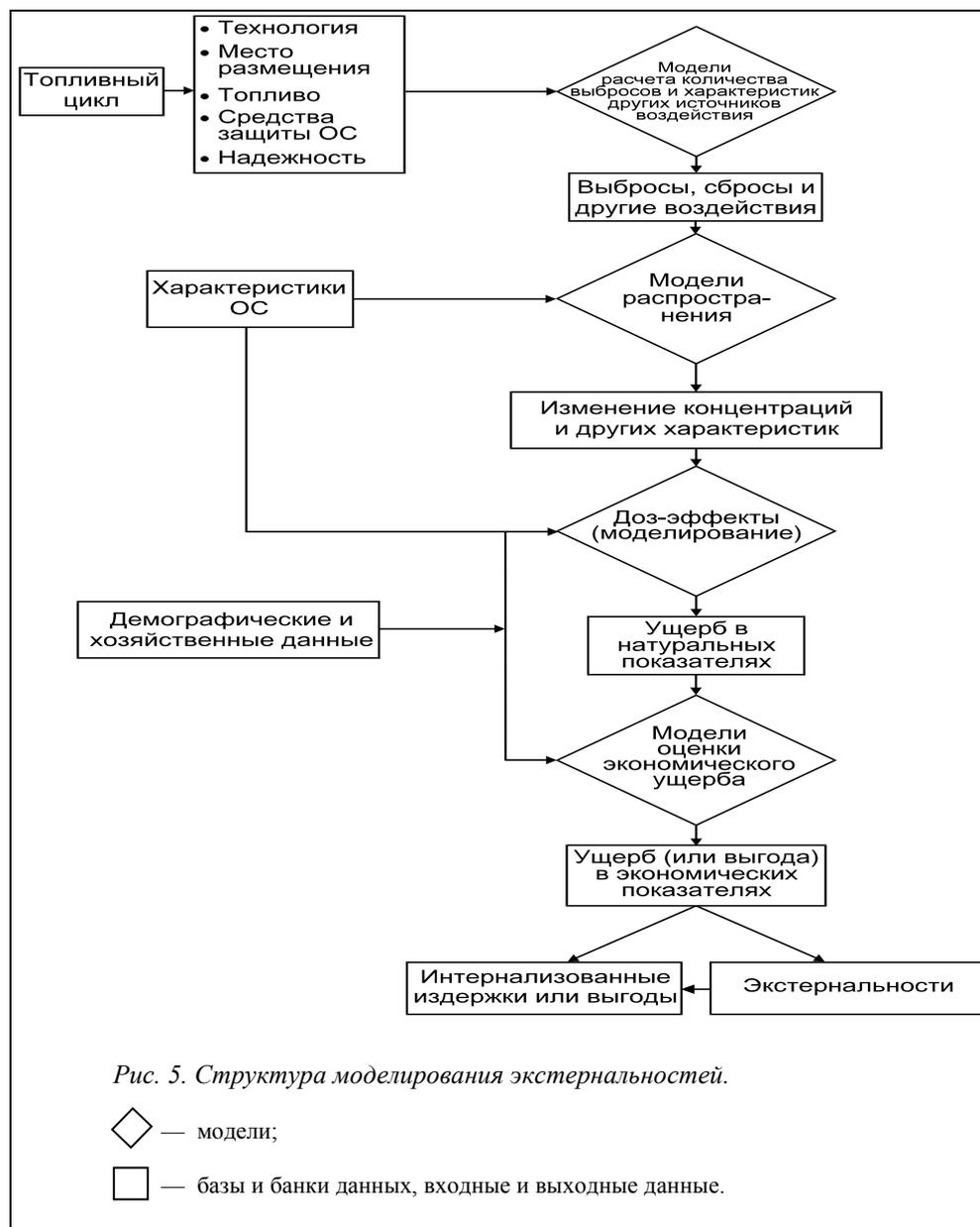


Рис. 5. Структура моделирования экстерналий.

Обзор методов, моделей и соответствующего программного обеспечения для количественных оценок натуральных и экономических показателей ущерба здоровью людей и окружающей среде (по состоянию на 1992 г.) приведен в [66]\*).

\* Предполагается, что вопросы анализа, выбора и разработки в ИБРАЭ РАН специальных компьютерных программ, используемых на разных стадиях оценки экстерналий в интегрированной вычислительной модели, будут изложены в отдельной работе.

Изложенный выше подход к оценке экстерналистностей производства электроэнергии для полных топливных циклов использовался в ряде работ, выполненных в последние годы [55, 60, 61, 65-68].

Обобщенные результаты оценок экстерналистностей для шести разных полных топливных циклов производства электроэнергии в районах с разными социально-экономическими, демографическими, климатическими и др. условиями приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что оценивались экономические последствия многих типов воздействий, которые в свою очередь были выбраны из еще большего списка. Оценки трех топливных циклов (уголь, газ и атомная энергия) для центрального региона России были выполнены в ИБРАЭ РАН и частично изложены в работах [66-68].

Мы не будем здесь детально обсуждать причины расхождения агрегированных оценок разных исследований, а также большую разницу между верхней и нижней оценкой в одном и том же исследовании. Здесь причинами могут являться неточность моделирования и использование разных исходных данных по технологиям, составу топлива, методам защиты окружающей среды, доз-эффектам и т.д. Принципиальную роль здесь играют также социально-экономические показатели, определяющие, прежде всего, уровень и качество жизни в регионе: плотность населения, удельный ВВП, характер использования земель, стоимость основных фондов, состояние охраны труда и техники безопасности, состояние здравоохранения и т.д. Можно, например, отметить, что ущерб, связанный с преждевременной смертью индивидуума в России (оцененный с помощью социально-экономического метода) в 3 - 4 раза меньше, чем в Северной Америке и Западной Европе, хотя и составляет значительную величину (~0,5-1,5 млн. долларов [67]). По этой причине при одинаковых величинах удельного ущерба здоровью в России и в странах Запада, выраженного в натуральных показателях, ущерб, выраженный в экономических показателях может оказаться значительно ниже. Аналогично, при одной и той же мощности источника вредных выбросов суммарный ущерб здоровью в России может оказаться значительно ниже, чем в Западной Европе, пропорционально уменьшению плотности населения.

В принципе, такие сильно агрегированные оценки ущерба (хотя и детализированные по стадиям топливного цикла) мало что дают для анализа приемлемости и сопоставления тех или иных технологий. Любое воздействие характерно для конкретной технологии, конкретного места размещения, конкретных мер защиты, конкретных условий работы и т.д. Для существующих энергетических объектов полного топливного цикла имеются определенная статистика, результаты определенных измерений, некоторые конкретные данные (в том числе распределение плотности населения, метеорологические данные, локальные измерения плотности загрязнений и др.), позволяющие выполнить более детальный анализ ущерба в натуральных и экономических показателях для различных цепочек воздействия и оценить агрегированную функцию ущерба. Это позволяет констатировать существующее положение дел с воздействием различных стадий топливного цикла на человека и окружающую среду и в ряде случаев сделать предложения либо о прямых мерах, направленных на оптимизацию (уменьшение) этого воздействия (экстерналистности), либо о методах интернализации экстерналистностей, которые в конечном счете также должны привести к оптимизации воздействия<sup>\*\*</sup>).

Анализ обобщенных результатов, приведенных в таблице 1, показывает, что в оценках экстерналистностей преобладает доля воздействий на здоровье человека, отчасти потому, что для оценки этих воздействий имеется гораздо больше научной информации. Экстерналистности, связанные с ущербом экосистемам обычно трудно поддаются количественной оценке. Экстерналистности, не связанные с окружающей средой, такие как разрушение дорог, также имеют значение и часто имеют тот же порядок величины, что и эффекты, связанные с воздействием на здоровье людей.

---

<sup>\*\*</sup>) Выше мы уже говорили, что полностью избавляться от экстерналистностей нецелесообразно - частные издержки и полная социальная стоимость становятся слишком большими).





## 6.2 Использование оценок ущерба в качестве исходных данных в многокритериальных методах принятия решений (этап 2)

В результате исследований с помощью метода функции ущерба было показано, что в настоящее время невозможно получить экономические оценки для ряда потенциально важных экстерналистских. Наиболее существенные из них следующие:

- в производстве электроэнергии из органических топлив, двумя потенциально важными экстерналистскими являются глобальное потепление в результате эмиссии  $\text{CO}_2$  и ущерб экосистемам, имеющий место при возмущении чувствительных экозон<sup>\*)</sup>;
- в гидроэнергетике наиболее важным фактором является возможное возмущение чувствительных экозон;
- в ядерной энергетике наиболее противоречивыми вопросами является риск тяжелых аварий и предстоящий выход (возможно в течение последующих 10 000 лет и даже более) радионуклидов из мест хранения радиоактивных отходов и отработавшего топлива.

Тот факт, что ряд воздействий нельзя оценить количественно, по крайней мере в одних и тех же единицах измерения, приводит к необходимости использования многокритериальных методов, которые в этом случае могут оказаться единственным полезным инструментом. Поэтому, *вторая часть излагаемого подхода* заключается в отборе экстерналистских<sup>\*\*)</sup>, которые с помощью метода функции ущерба оцениваются в экономических показателях, и комбинации их с другими экстерналистскими, оценка которых в настоящее время затруднена или невозможна. Предлагается использовать как можно меньше критериев, связанных с экстерналистскими. Если мы будем использовать только несколько критериев, то для лиц, принимающих решения, будет проще использовать многокритериальные методы, а это приведет к увеличению вероятности принятия правильных и согласованных решений.

На рис. 6 приведен пример [68-71] сложения внутренних и части внешних издержек (приведенных затрат и экстерналистских, выраженных в экономических показателях) с получением более весомого экономического критерия, который может быть использован при сопоставлении различных способов производства электроэнергии в многокритериальном (многоцелевом) процессе принятия решений, но который, однако, нельзя считать оценкой полной социальной стоимости производства электроэнергии, так как ряд важных экстерналистских, способных повлиять на принятие решения не оценивался. В этом примере приведенные затраты трех перспективных технологий производства электроэнергии (АЭС с блоками НП-500, парогазовых КЭС - ПГУ-360, и КЭС на угле - ПТ-500) были рассчитаны с использованием исходных экономических показателей, рассчитанных в [72,73]. Внешние издержки (та часть, которую оказалось возможным "монетизовать") определена на основании оценок воздействия каждой из технологий на человека и окружающую среду с учетом полного топливного цикла при нормальной работе и при авариях, включая тяжелые аварии на АЭС (они соответствуют данным для России из табл.1). Натуральные показатели возможного ущерба переведены в экономические по разным методикам (включая социально-экономическую оценку стоимости жизни статистического индивидуума в 1 млн. долларов). Оценки выполнены для случая размещения электростанций в Центральном регионе России вдали от крупных городов (> 50 км.).

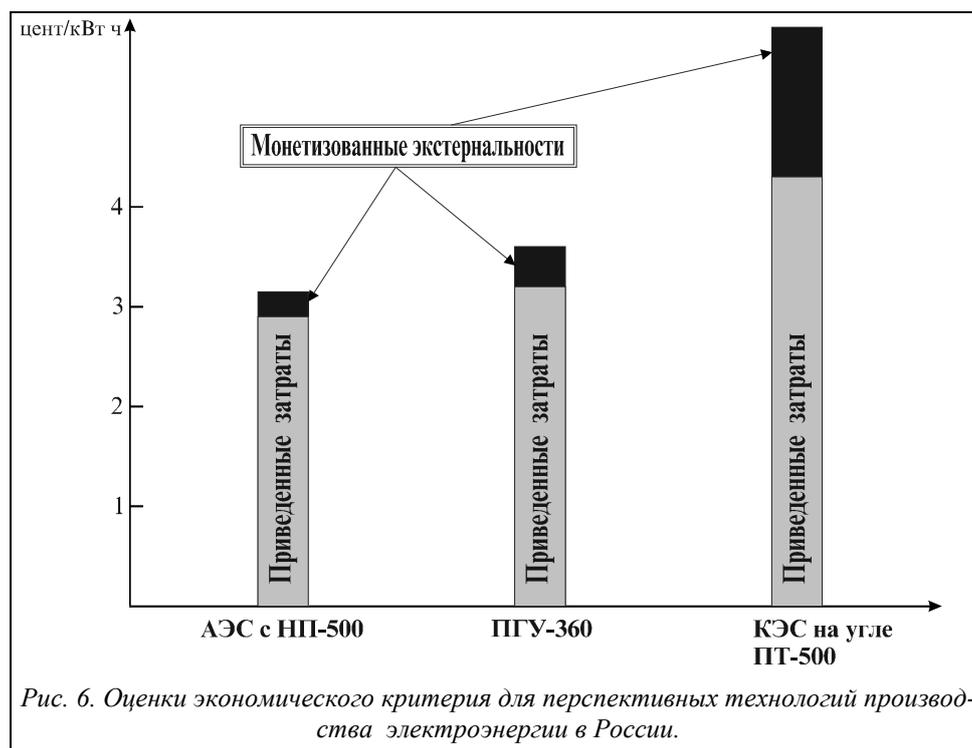
Следует отметить попытки предложить некоторый объединенный экономический критерий, учитывающий как собственно приведенные экономические показатели энергетического объекта, так и социальные и экологические характеристики, также выраженные в экономических показателях [74-76]. Существуют даже предложения по оптимизации в режиме реального времени работы энергосистемы с учетом ущерба окружающей среде от вредных выбросов, оцениваемого в экономических показателях [77].

---

<sup>\*)</sup> В ряде национальных оценок экстерналистских по проекту ExternE [61] делаются попытки оценки экономического ущерба от возможного глобального потепления, однако, как мы уже отмечали, этот вопрос является весьма противоречивым - в ряде регионов может наблюдаться положительный эффект (выигрыш, а не ущерб); ряд исследований дает очень консервативные оценки по возможному росту глобальной температуры - при этом отмечается, что только часть этого роста определяется увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере; не ясен также вопрос об учете дисконтирования на длительную перспективу - 100 и более лет.

<sup>\*\*)</sup> Предлагается в объединенном экономическом критерии учитывать (выполнять соответствующие оценки) только те экстерналистские, которые дают значительный вклад в суммарный ущерб (скажем > 5%). Хотя, в зависимости от обстоятельств, следует учитывать и малые величины при их большом количестве.

Однако, практическое использование этих критериев при принятии решений неизбежно сталкивается с трудностями, отмеченными выше.



В этой связи, как уже отмечалось ранее, предлагается оптимизацию (минимизацию) полной (социальной) стоимости электроэнергии осуществлять в два этапа. На *первом* этапе используются методы оценки агрегированной функции экономического ущерба от воздействия энергетики на окружающую среду, выраженного в экономических показателях. На *втором* этапе используются методы многокритериального анализа, в котором величина экстерналиностей, выраженная в экономических показателях объединяется с критерием приведенных затрат, формируя более весомый экономический критерий.

Выше мы уже отмечали отечественные исследования [22-24], в которых развиваются подходы к использованию многокритериальных методов принятия решений в энергетике. В ряде зарубежных работ обсуждается использование многокритериальных методов принятия решений в энергетике в контексте интегрированного ресурсного планирования [78-80].

В работах [22,25,79] рассматриваются разные способы оценки весов (т.е., относительной важности) разных критериев (или однокритериальных функций полезности):

- *рейтинговое определение веса*, когда лица, принимающие решения, выбирают вес для каждой цели по шкале от 0 до 100, либо для всех сразу целей, либо в иерархическом порядке, расставляя сначала рейтинги для категорий критериев, а затем рейтинги для отдельных критериев внутри каждой категории;
- *выборное определение веса*, когда каждый критерий оценивается в категориях ценности, формулируя какое изменение в ценности эквивалентно данному изменению в других критериях;
- *задание цели*, когда участники определяют величину каждого критерия, которую они хотели бы иметь, или которая была бы для них приемлемой.

Затем, эти веса используются для объединения критериев (определения многокритериальной функции полезности) разными приведенными ниже способами:

- задания функции, в которой критерии суммируются, используя рейтинговые веса;
- задания функции, в которой критерии суммируются, используя выбранные веса;
- планирования цели, при котором учитывается отклонение от заранее определенных целей или критериев, имеющих относительные рейтинговые веса;

- холистического ранжирования - когда лица, принимающие решения, сами качественно ранжируют возможные варианты.

В [79] эти методы использовались для оценки ряда гипотетических вариантов интегрированного ресурсного планирования используя двенадцать критериев:

1. общие затраты;
2. рост цен;
3. количество выбросов CO<sub>2</sub>;
4. количество выбросов SO<sub>2</sub>;
5. количество выбросов NO<sub>x</sub> на Северо-Западе США;
6. количество выбросов NO<sub>x</sub> на Юго-Западе США и в Калифорнии;
7. показатели прозрачности атмосферы;
8. потребление воды;
9. количество твердых отходов;
10. удаленность электростанции от густонаселенных районов;
11. наличие новых проектов гидроэлектростанций;
12. уровень надежности электроснабжения.

Отмечается, что для одних специалистов функции сложных критериев, используя рейтинговые и выборные веса, представляет их предпочтения наилучшим образом; для других более предпочтительным является планирование цели или ранжирование. Поэтому в [79] рекомендуется для проверки правильности выбранного решения использовать сразу несколько описанных выше методов, что позволит лицам, принимающим решения, анализировать их оценки с разных точек зрения.

В другой работе компания Онтарио Гидро также использовала многокритериальные методы принятия решений в интегрированном ресурсном планировании [80]. Рассматривались следующие показатели, связанные с воздействием на окружающую среду:

1. площади, занятые энергетическими объектами;
2. потери урожая в результате воздействия приземного озона;
3. ущерб зданиям и сооружениям вследствие действия кислых газов и твердых частиц;
4. количество кислотных осадков, осаждающихся на чувствительные водные экосистемы;
5. суммарные выбросы загрязняющих веществ;
6. изменение расхода воды в результате нового гидроэнергетического строительства;
7. воздействие теплосбросных систем охлаждения на прибрежные зоны;
8. выбросы парниковых газов;
9. объем хранящихся радиоактивных отходов;
10. потребление невозобновляемых ресурсов.

В работе был использован метод функции ущерба для оценки величины перечисленных выше экстерналистических показателей в той мере, насколько это было возможно. Был также описан характер некоторых воздействий в тех случаях, когда количественная оценка оказывалась невозможной.

Затем были использованы многокритериальные методы анализа приведенных выше показателей, в результате чего было отмечено, что среди показателей, связанных с воздействием на окружающую среду, наибольшее беспокойство вызывают: эмиссия парниковых газов, сокращение жизненного пространства в результате использования земли под энергетические объекты; хранение ядерного топлива; и потребление природного газа (как невозобновляемого источника энергии с лимитированным ресурсом). Эти 4 показателя комбинировались с 14 другими (такими как, например, финансовый риск, социально-экономический риск и риск здоровью), чтобы оценить семь альтернативных проектов интегрированного ресурсного планирования. Вновь был использован многокритериальный анализ, чтобы выбрать наиболее предпочтительный вариант (варианты) из этих семи альтернативных проектов.

\* \* \*

Разница между изложенным в данной работе подходом и подходом Онтарио-Гидро заключается в следующем:

- мы предлагаем отбирать все экстерналиности, которые могут быть оценены в экономических показателях, и использовать их для последующего многокритериального анализа при принятии решения;
- так как достигнуты значительные успехи в оценках экстерналиностей, относящихся к здоровью человека, к воздействию на окружающую среду, и ряда других специфических экстерналиностей, мы предлагаем объединять их вместе, а не отделять экстерналиности, относящиеся к окружающей среде (без человека), от экстерналиностей, связанных с риском и ущербом здоровью человека;
- мы предлагаем использовать на втором этапе анализа лимитированное число критериев - менее десяти (восемнадцать, как в подходе Онтарио-Гидро - уже много);
- мы предлагаем использовать выборный метод для оценки весов критериев.

## 7 Заключение

Предыдущие исследования рекомендовали использовать при принятии решений в энергетике либо подход оценки экстерналиностей в экономических показателях с использованием функции ущерба, либо многокритериальные методы учета экстерналиностей. Каждый способ имеет преимущества и недостатки.

Среди преимуществ метода функции ущерба над использованием многокритериальных методов можно отметить следующие:

- рассматриваемые показатели (экстерналиности) выражаются в одних и тех же единицах измерения;
- результаты анализа четко определяют относительную значимость каждой из экстерналиностей, даже если предыдущий отбор потенциальных воздействий для более детального анализа основывается на каком-либо специфическом критерии;
- большое число экстерналиностей, которые сильно различаются по своей природе, может быть сведено до нескольких критериев, используя конкретные методы оценки<sup>\*)</sup>.

Однако, существует несколько причин, по которым методы функции ущерба не могут быть использованы для анализа всех экстерналиностей:

- некоторые экстерналиности крайне трудно оценить не только в экономических, но и в натуральных показателях;
- метод функции ущерба обычно используется для определения (оценки) величины экстерналиностей, связанных с вводом дополнительных мощностей, когда уже существует определенный (фоновый) уровень загрязнения (воздействия); этот подход меньше годится для анализа кумулятивного воздействия, определяемого широким использованием ископаемых топлив, особенно, если эти воздействия являются сильно нелинейными; представляет также проблему синергизм различных воздействий;
- уровень знаний является недостаточным для количественных оценок некоторых экстерналиностей; случай глобального изменения Климата является типичным примером, когда трудно предсказать долгосрочный ущерб.

Следует также отметить, что на практике, экстерналиности, которые связаны со смежными отраслями (т.е. которые не связаны непосредственно с топливным циклом производства электроэнергии) как правило вообще не принимаются во внимание.

---

<sup>\*)</sup> В работе [80] отмечается, что холистическое ранжирование с учетом всех целей одновременно является не вполне корректным, так как мнение эксперта зависит от его предубеждения относительно имеющихся конкретных ресурсов и так как люди могут учитывать одновременно только небольшой набор критериев. В этой же работе показано, что рейтинговый метод более понятен, чем выборный метод, но последний лучше совместим с индивидуальными предпочтениями.

Существует также несколько причин, почему многие специалисты предпочитают многокритериальные методы, а не методы функции ущерба:

- многие воздействия, такие как глобальное изменение Климата, трудно оценить не только в экономических, но и в натуральных показателях;
- некоторые люди испытывают неприятие к использованию экономических величин определенных воздействий, таких как увеличенный риск смертности; они рассматривают этот подход как определение цены жизни конкретного человека;
- объединение разных ущербов в единую монетарную величину забирает большую часть решения у лица его принимающего;
- метод функции ущерба часто дает слишком большую неопределенность в оценках;
- некоторые специалисты сомневаются в пользе монетизации до тех пор, пока не будут определены права и ценность определенных объектов (или свойств) окружающей среды (таких как, например, подверженные опасности исчезновения биологические виды);
- монетизация относится только к критерию эффективности, а не справедливости в распределении затрат и выгод.

Таким образом, более всесторонним подходом по сравнению с использованием только методов функции ущерба, является подход с использованием многокритериальных методов, объединенный с методами функции ущерба. При этом, лица, принимающие решения, могут использовать только некоторые из оценок ущерба. Другие экстерналиности, которые лица, принимающие решения, не желают воспринимать в экономических показателях, могут быть оставлены для использования в многокритериальном анализе. Выходные величины, получаемые из анализа с помощью метода функции ущерба, являются входными величинами в многокритериальном анализе решений. В общем случае использование методов определения функции ущерба уменьшает размерность соответствующей многокритериальной проблемы принятия решений.

Многокритериальный анализ решений обычно начинается тогда, когда анализ с помощью метода функции ущерба уже заканчивается. Критерии, которые мы отбираем для многокритериального анализа берут начало непосредственно из анализа с помощью метода функции ущерба, а не определяются независимо.

Естественно, формализованные процедуры монетизации внешних эффектов при оценке агрегированной функции ущерба на первом этапе и многокритериального анализа решений на втором требуют соответствующего математического, программного и информационного обеспечения. Как мы уже отмечали выше для оценки внешних эффектов в экономических показателях существует ряд интегрированных компьютерных моделей и банков данных: “EXMOD”, “ECOSENSE”, “DECADES” и др. Все предпосылки к созданию такой модели (интегрирующей различные подходы, компьютерные коды, расчетные модели, программы, базы и банки данных) имеются в ИБРАЭ РАН (возможно, более полной и современной в части ядерной энергетики). Такая задача уже начала реализовываться в работе по договору с РАО “ЕЭС России” [10] и её успешное решение зависит от дальнейшей поддержки этой работы заказчиками. Также заложены основы и начаты разработки информационной системы поддержки при использовании многокритериальных методов принятия решений [23,81].

По нашему мнению, по мере накопления научных знаний о природе и обществе, развития методов анализа и моделирования процессов, протекающих в окружающей среде, методов экономической оценки ресурсов, не имеющих рыночной цены - или в целом по мере развития науки - количество внешних эффектов, оцениваемых (а затем и рассчитываемых или прогнозируемых с определенной точностью) в экономических показателях будет увеличиваться, а неопределенность таких оценок уменьшаться. Можно предположить, что и другие критерии принятия решений (которые вряд ли можно считать производными внешними эффектами энергетики, скорее наоборот энергетика является одной из составляющих этих критериев; например, энергетическая безопасность является составной частью национальной безопасности) станут выражаться в экономических показателях. В результате величина и вес экономического критерия будет возрастать. В пределе мог бы наступить момент, когда остающиеся в многокритериальном анализе неэкономические критерии оказываются незначительными и ими можно пренебречь, а, следовательно, отпала бы необходимость второго этапа анализа. Тогда все принимаемые решения имели бы строгое экономическое обоснование, о чем мечтали и мечтают многие увлеченные этой идеей специалисты. Однако, это вряд ли достижимо в обозримом будущем. Кроме того по мере социально-экономического развития общества могут появляться новые трудно формализуемые цели, а следовательно новые критерии, не выражаемые в экономических показателях.

Таким образом в данной работе описан интегрированный подход для поддержки планирования и принятия решений в энергетике, в которых оцениваются выгоды и затраты разных вариантов. В общем случае, эти выгоды и затраты выражаются в различных натуральных показателях. Предлагаемый подход заключается в использовании двух разных методов, которые оказываются взаимосвязанными.

Применение методов функции ущерба на первом этапе дает возможность уменьшения размерности для соответствующего анализа, использующего многокритериальные методы принятия решений. Многокритериальные методы обеспечивают способ объединения критериев, которые не могут быть выражены в экономических показателях с помощью методов функции ущерба. Развитие и применение предлагаемого метода повышает значимость экономических показателей энергетического проекта.

Следует подчеркнуть, что излагаемый подход использует оба метода во взаимосвязи, а не как независимые дополнения. Отдельно, каждый из методов имеет преимущества и недостатки. Совместно - они дополняют один другой и позволяют развить подход для поддержки принятия решений, в том числе в интегрированном ресурсном планировании.

## **Благодарности**

Исследование выполнено в Лаборатории социально-экологического риска ИБРАЭ РАН в рамках бюджетного финансирования РАН работ Института по Комплексной теме К.07.1. "Концепция развития атомной энергетики с учетом технической и экологической безопасности АЭС, и социально-экономических факторов" согласно планов научных исследований на 1992-1998 гг.

В 1992-1993 гг исследования развивались при поддержке Минтопэнерго РФ по договору "Методические подходы к оценке экономического ущерба от воздействия на окружающую среду и здоровье людей различных систем производства электроэнергии (включая полный топливный цикл) с целью его учета при определении перспектив развития энергетики России".

В 1993-1994 гг исследования были частично поддержаны Бюро по международным исследованиям океанов и окружающей среды (OES) Госдепартамента США по проекту "Глобальные изменения" в рамках некоммерческой бесприбыльной программы "Человек и Биосфера", грант (R70) OES/MAV 1753-300225 по теме "Производство электроэнергии - сопоставительный анализ рисков и ущербов окружающей среде".

В 1997-1998 гг частичная поддержка работе была оказана РФФИ по проекту "Методические основы комплексного сопоставления ядерной энергетики с другими энергетическими технологиями", грант 97-02-17676.

В 1998 гг развитые подходы были использованы в оценках воздействия электроэнергетики на окружающую среду по договору с РАО "ЕЭС России" по теме "Разработка методологии и создание геоинформационно-моделирующей системы по экологии и экономике электроэнергетики для РАО "ЕЭС России"".

Автор благодарен всем указанным выше организациям, оказавшим существенную поддержку.

На протяжении многих лет большую помощь (методическую и информационную) нам оказывали специалисты Национальной лаборатории в Ок-Ридже, США, что в значительной мере повлияло на выбор подходов, использованных в наших оценках. Автор особо благодарен Директору отделения энергетики (Energy Division) этой лаборатории Роберту Шелтону (Robert Shelton) и руководителю проекта этого отделения Расселу Ли (Russell Lee) за доброжелательное отношение и ценную информацию.

Автор благодарит своих коллег, на разных этапах принимавших участие в работе, - Аксенову И.П., Башлакову Е.У., Буринского А.Я., Зубца А.Н., Калантарова В.Е., Кархова А.Н., Кашина И.В., Кочеткова И.Ю., Крылова Д.А., Максименко Б.П., Орлова А.В., Пыкова Е.М., Шарова Е.И., а также многих других специалистов, оказавших на автора соответствующее влияние.

Непосредственно по теме настоящего отчета автор благодарит профессора В.Р.Окорокова за полезное обсуждение многокритериальных методов принятия решений в энергетике.

## Список литературы

1. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
2. *ОФТПЭ АН СССР.* Прогноз снижения вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду (проект). Комиссия ОФТПЭ АН СССР по разработке прогноза по направлению “Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой”. М., 1988. 99 с.
3. *ОФТПЭ АН СССР.* Пути снижения вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду. Доклад Комиссии ОФТПЭ АН СССР под председательством академика М.А.Стыриковича по разработке прогнозов по важнейшим направлениям науки. М., 1989. 68 с.
4. *ОФТПЭ АН СССР.* Коренное повышение эффективности энергетических систем. Государственная (общеакадемическая) программа фундаментальных исследований на период 1991-2000 гг. Отделение физико-технических проблем энергетики АН СССР, М., 1991. 135 с.
5. *ОФТПЭ РАН.* Физико-технические проблемы энергетики. Общеакадемическая программа фундаментальных исследований на период 1993-2000 гг. Отделение физико-технических проблем энергетики РАН, Москва, 1993. 74 с.
6. *ГКНТ СССР.* Экологически чистая энергетика. Концепция и краткое описание проектов Государственной научно-технической программы. Государственный комитет СССР по науке и технике, М., 1990. 192 с.
7. *Афанасьев А.А., Ларин И.К., Лейпунский И.О., Руденко Ю.Н., Стырикович М.А., Тальрозе В.Л.* Экологические проблемы энергетики // Материалы 2-го Двустороннего семинара АН СССР-НАН США “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы”, Албани, США. Декабрь 1990. С. 41-58.
8. *Госплан СССР, Госстрой СССР, АН СССР.* Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиненного народному хозяйству загрязнением окружающей Среды. (Одобрена постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР и Президиума АН СССР от 21.10.1983 г. № 254/284/134). М., Экономика, 1986. 93 с.
9. *Afanasyev A.A.* Socio-Ecological Aspects of the USSR Energy Development // Interer Bericht KFA-STE-IB-2/91. Programmgruppe Systemforschungs und Technologische Entwicklung, Forschungs-zentrum Juelich, Deutschland, 1991. 28 p.
10. *ИБРАЭ РАН.* Разработка методологии и создание геоинформационно-моделирующей системы по экологии и экономике электроэнергетики для РАО “ЕЭС России” // Отчет ИБРАЭ РАН № 001/98, Москва 1998. 366 с.
11. *OECD/NEA, ORNL.* Power Generation Choices: An International Perspective on Costs, Risks, and Externalities // Proceedings of the International Symposium (organized by the OECD/Nuclear Energy Agency and Oak Ridge National Laboratory), Washington, D.C., September 23-24, 1993. 142 pp.
12. *Демирчян К.С.* Развитие ТЭК страны. Проблемы принятия решений // Изв. РАН. Энергетика. 1992. № 1. С. 3-14.
13. *Волькенау И.М., Руденко Ю.Н.* Проблемы управления развитием и функционированием Единой электроэнергетической системы бывшего СССР, как целостной системой в новых условиях // Изв. РАН. Энергетика. 1993. № 1. С. 12-18.
14. *Руденко Ю.Н., Семенов В.А.* Управление мощными энергообъединениями (исследование опыта функционирования и развития) // Изв. РАН. Энергетика. 1994. № 4. С. 36-45.
15. *EPRI.* Global Electrification: The Next Decades. // Proceedings of the International Forum. Electric Power Research Institute. Palo Alto, California, USA. March 26-28, 1997. 283 pp.
16. *Beljaev L., Rudenko Yu., Sinyak Yu.* The Concept of a World Energy System // Perspectives in Energy, 1994-1995, Vol. 3, No 1, pp. 11-16.

17. *Dekker P.M., Meisen P., Bruton A.B.* The GENI Model: The Interconnection of Global Power Resources to Obtain an Optimal Global Sustainable Energy Solution // *Simulation*, April 1995, Vol. 64, No 4, pp. 244-252.
18. The Role of Environmental Impact Assessment in the Decisionmaking Process // *Proceedings of the international workshop held in Heidelberg, FRG, August 1987*. Ed. by *Herbert Paschen*. – Berlin: Erich Schmidt, 1989. 336 pp.
19. МАГАТЭ. Симпозиум старших экспертов по электроэнергии и окружающей среде. Хельсинки, Финляндия, 13-17 мая 1991 г. // Доклады по ключевым проблемам. Издание МАГАТЭ, Вена, 1992. 217 с.
20. *Мелентьев Л.А.* Методология системных исследований. Избранные труды. М.: Наука. Физматлит, 1995. 302 с.
21. *Мелентьев Л.А.* Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития. М.: Наука, 1979. 415 с.
22. *Воропай Н.И., Новицкий Н.Н., Сеннова Е.В. и др.* Методы управления физико-техническими системами энергетике в новых условиях. Новосибирск: Наука. Сиб. издательская фирма РАН, 1995. 335 с.
23. *Антонова Н.Н., Бобырева И.Н., Бычкова Н.В. и др.* Системы поддержки принятия решений для исследования и управления энергетикой / Под ред. А.П.Меренкова. Новосибирск: Наука, 1997. 223 с.
24. *Гук Ю.Б., Долгов П.П., Огороков В.Р. и др.* Комплексный анализ эффективности технических решений в энергетике / Под редакцией Огорокова В.Р. и Щавелева Д.С. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. 176 с.
25. *Кини Р.* Размещение энергетических объектов: выбор решений. / Пер. с англ. под ред. Ю.И. Корякина. М.: Энергоатомиздат, 1983. 319с.
26. *Munasinghe M.* Integrating Energy and Environment // *Proceedings of an International Symposium on "Electricity, Health and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision Making"*, Vienna, 16-19 October 1995. International Atomic Energy Agency, 1996, pp. 217-243.
27. Будущее мировой экономики. Доклад группы экспертов ООН во главе с *В.Леонтьевым*. М.: Международные отношения, 1979. 216 с.
28. *Леонтьев В.* Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. М.: Изд. политической литературы, 1990. 415 с.
29. *Шапот Д.В., Беленький В.З., Лукацкий А.М.* Методы исследования взаимосвязей экономики и энергетики // *Известия РАН. Энергетика*. 1995. № 6. С.13-23.
30. Методические указания к разработке государственных планов экономического и социального развития СССР. М.: Экономика, 1980.
31. *Rudenko Yu.N., Demirchian K.S., Afanasiev A.A., Maslennikov V.M.* Energy Development Planning in USSR // *Proceedings of UNESKO International Symposium on Energy Planning*, Rio de Janeiro, Brasil, 1984.
32. *Хачатуров Т.С.* Экономическая эффективность капитальных вложений. М.: Экономика, 1964. 279с.
33. Методика определения эффективности капитальных вложений. М.: Наука, 1990. 23с.
34. Радиационная защита. Публикация МКРЗ N 26: Пер. с англ. / Под ред. *А.А.Мусеева и П.В.Рамзаева*. М., Атомиздат, 1978. 88 с.
35. *Брайлов В.П.* Принципы построения критерия принятия решений в энергетике. // Системы автоматизированного обучения и проектирования./ Ивановский государственный университет, Ивановский энергетический институт. - Иваново, 1989. С. 58-64.
36. *Delene J.G., Hudson II C.R.* Cost Estimate Guidelines for Advanced Nuclear Power Technologies // Report of the Oak Ridge National Laboratory # ORNL/TM-10071/R3, 1993. 159 pp.
37. *Кархов А.Н.* Равновесное ценообразование в энергетике на основе дисконтированной стоимости: Препринт № ИБРАЕ-98-07. М.: ИБРАЭ РАН, 1998. 59 с.

38. Уолтер Г. Управление спросом на электроэнергию // Мировая электроэнергетика. 1994. No 2, С. 36-41.
39. Макаров А.А., Чупятов В.П. Возможности энергосбережения и пути их реализации. // Теплоэнергетика. 1995. № 6. С. 2-6.
40. Кононов Д.Ю. Управление спросом - резерв повышения эффективности энергоснабжения потребителей. // Электроэнергетик. 1997. № 7. С. 5-6.
41. Haudel J.M., Daryanani S., Kathan D., Shavel I.H. The Environmental and Economic Value of DSM: A National Level Assessment // Proceedings of ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Asilomar, Pacific Grove, Ca. Panel 9, pp. 9.79-9.87.
42. Solomon B.D., Kruger J.A., Morgan R.E. The Quantification and Verification of Energy Savings for Acid Rain Compliance // Proceedings of ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Asilomar, Pacific Grove, Ca. Panel 9, pp. 9.169-9.177.
43. Афанасьев А.А. Социальная стоимость энергосбережения // Тезисы докладов Международной конференции "Социальные проблемы энергосбережения", Челябинск, 4-6 июня 1997 г., стр. 14.
44. Hirst Eric, Goldman Charles. Creating the Future: Integrated Resource Planning for Electric Utilities // Annu. Rev. Energy and Environ. Vol. 16.-Palo Alto (Calif.), 1991. С. 91-121.
45. Bauer D.C. Future Directions: Integrated Resource Planning // Proceedings of ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Asilomar, Pacific Grove, Ca. Panel 8, pp. 8.1-8.16.
46. Коган Ю., Усиевич В. Интегральное энергетическое планирование. // Вестник электроэнергетики. 1993.- № 2. С. 52-56.
47. Савин В.И. Больше строить или меньше расходовать? // Промышленная энергетика. 1994.- № 8. С. 8-11.
48. Болтнева Л.И. Исследование воздействия тепловых электростанций Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса на окружающую среду // Доклады Совместного семинара АН СССР и НАН США "Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы", Ч.2. М.: 1989.
49. Гирусов Э.В., Бобылев С.Н., Новоселов А.Л., Чепурных Н.В. Экология и экономика природопользования. М.: Изд. "ЮНИТИ", 1998, 455 с.
50. Pigou A.C. The Economics of Welfare, New York, NY: Macmillan, 1924.
51. Rothwell G. Air Pollution Fees and the Risk of Early Retirement at US Nuclear Power Plants. Department of Economics, Stanford University, USA. October 1998. 27 pp. // to be published in the "The Energy Journal".
52. Bergland O. Externalities in economic theory and literature // External Effects in the Utilization of Renewable Energy. Report of the Seminar at the Technical University of Denmark, Lyngby, 16 September 1993. Risoe National Laboratory, 1993. pp. 11-28.
53. МГУ. Экономика природопользования. Под редакцией академика Т.С.Хачатурова. М.: Изд. МГУ, 1991. 271 с.
54. US DOE. Electricity Generation and Environmental Externalities: Case Studies. Report of Energy Information Administration withing the U.S. Department of Energy, DOE/EIA-0598, Washington, DC. 1995. 98 pp.
55. ORNL. External Costs and Benefits of Fuel Cycles: A Study by the U.S. Department of Energy and the Commission of the European Communities // Oak Ridge National Laboratory and Resources for the Future, Reports No.1-8, Washington, DC: McGraw-Hill/Utility Data Institute, 1992-1995.
56. Hoesvenagel R. A Comparision of Economic Valuation Techniques / Paper presented at Charmey-workshop, February 14-17,1991, Charmey, Switzerland. 28pp.
57. Hoesvenagel R. An Assesment of the Contingent Valuation Method / Paper presented at Charmey-workshop, February14-17, 1991, Charmey, Switzerland. 46pp.

58. *Hoevenagel R.* The Validity of the Contingent Valuation Method: Some Aspects on the Basis of Three Dutch Studies / Paper presented at the Congress "Environmental Cooperation and Policy in the Single European Market", Venice, Italy, April 17-20, 1990. 43 pp.
59. *Hershaft Alex.* Air pollution damage functions. *Environmental Science & Technology*, Vol.10, No.10, October 1976. pp.992-995.
60. *Eyre N.J., Berry J.E.* Achievements and Results of the ExternE Project // Proceedings of an International Symposium on "Electricity, Health and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision Making", Vienna, 16-19 October 1995. International Atomic Energy Agency, 1996, pp. 367-385.
61. *European Commission.* ExternE - Externalities of Energy // European Commission, DGXII Scien Research and Development, JOULE Programme Reports:
- Volume 1: Summary Report. (EUR 16520 EN)
  - Volume 2: Methodology Report. (EUR 16521 EN)
  - Volume 3: Coal and Lignite. (EUR 16522 EN)
  - Volume 4: Oil and Gas. (EUR 16523 EN)
  - Volume 5: Nuclear. (EUR 16524 EN)
  - Volume 6: Wind and Hydro. (EUR 16525 EN)
62. *Афанасьев А.А., Максименко Б.П.* Подходы к оценке внешней стоимости топливных циклов в проекте ExternE // *Атомная техника за рубежом.* 1998. № 10. С. 3-9.
63. *Афанасьев А.А., Максименко Б.П.* Оценка внешней стоимости ядерного топливного цикла в проекте ExternE // *Атомная техника за рубежом.* 1998. № 12. С. 3-10.
64. *Чепурных Н.В., Новоселов А.Л., Дунаевский Л.В.* Экономика природопользования: эффективность, ущербы, риски. М.: Наука, 1998, 253 с.
65. *Rowe R.D. et all.* The New York Electricity Externality Study. Originally Prepared by RCG/Hagler Bailly for Empire State Electric Energy Research Corporation (ESEERCO). Oceana Publications, New York, 1995. Vol.1 (839 pp.) and Vol. 2 (720 pp.).
66. *Афанасьев А.А. и др.* Методические подходы к оценке экономического ущерба от воздействия на окружающую среду и здоровье людей различных систем производства электроэнергии (включая полный топливный цикл) с целью его учета при определении перспектив развития энергетики России.
- Этап 1: Анализ показателей и оценки воздействия на здоровье людей и окружающую среду угольного, газового и ядерного топливных циклов // Отчет ИБРАЭ РАН N 13/93, Москва, 1993. 115 с.
- Этап 2: Анализ методик и оценки экономических ущербов от воздействия на окружающую среду и здоровье людей различных систем производства электроэнергии // Отчет ИБРАЭ РАН N 14/93, Москва, 1993. 116 с.
- Этап 3: Сопоставление социальной стоимости для различных систем производства электроэнергии и методические рекомендации по учету экономических ущербов на здоровье людей и окружающую среду при разработке программ развития отраслей ТЭК и региональных энергопрограмм // Отчет ИБРАЭ РАН N 15/93, Москва, 1993. 134 с.
67. *Афанасьев А.А.* К методике оценки экономических последствий чрезвычайных ситуаций в системах энергетики (социальная или внешняя стоимость электроэнергии) // *Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып.47: Надежность и безопасность стареющих систем энергетики. (Сб. докладов 66-го заседания Всероссийского (ранее Всесоюзного) научного семинара).* Киев, 1995. С. 146-153.
68. *Афанасьев А.А., Большов Л.А., Линге И.И.* Социальная и полная стоимость производства электроэнергии на АЭС. Доклад на Седьмой научно-технической конференции ЯО России "Новые энергетические технологии и роль ядерной энергетики деления и синтеза", Сб. рефератов, Москва, 14-18 октября 1996 г., стр.153.

69. *Афанасьев А.А., Большой Л.А., Кархов А.Н.* Экономическая эффективность АЭС нового поколения // Атомная энергия. Том 81, вып. 2, август 1996. С.114-123.
70. *Afanasyev A.A., Bolshov L.A., Karkhov A.N.* Economic Competitiveness of New Generation of NPPs with NP-500 Units in Russia // Proceedings of the International Conference "Economic Nuclear Power for the 21st Century: Towards the New Generation of Reactors" (TOPNUX 96), Paris, France, 30.09.-02.10. 1996. Vol.1, pp.118-129
71. *Afanasyev A.A., Bolshov L.A., Karkhov A.N.* Economic competitiveness of the new generation of NPPs with NP-500 units in Russia // Nuclear Engineering and Design. 1997. No.173, pp. 219-227.
72. *СИАРЭ.* Совместное исследование альтернатив развития энергетики. Инвестиционная программа для России // Итоговый доклад, подготовлен для Комитета совместной российско-американской комиссии по экономическому и техническому сотрудничеству. М., июнь 1995.
73. *СПИАРЯЭ.* Совместное параллельное исследование альтернатив развития ядерной энергетики // Заключительный доклад, подготовлен для Министерства энергетики США и Министерства по атомной энергии Российской Федерации. М., май 1995.
74. *Ершевич В.В., Пейсахович В.Я., Попов А.И.* Экономические оценки энергообъектов с учетом экологии и платы за природные ресурсы // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1991. № 3. С.3-10.
75. *Массунов С.В.* Применение эколого-экономических оценок при долгосрочном прогнозировании электроэнергетики региона // Экон. методы упр. в энерг. об-ниях в условиях рыноч. экон.: Кратк. тез. докладов к Всес. науч-техн. совещ., Кострома, 1-3 окт., 1991. Л.,1991. С. 91-93.
76. *Болдырев В.М., Гинзбург А.М.* О возможности учета некоторых составляющих в сравнительных технико-экономических расчетах // Экон. методы упр. в энерг. об-ниях в условиях рыноч. экон.: Кратк. тез. докладов к Всес. науч-техн. совещ., Кострома, 1-3 окт., 1991. Л.,1991. С. 93-96.
77. *Голованов А.П., Медетов Ж.М.* Методика оптимизации режима работы энергосистемы в условиях экологических ограничений // Известия высших учебных заведений. Энергетика. 1992. № 2. С. 23-28.
78. *Putta S.N.* Methods for Valuing and Incorporating Environmental Costs in Electric Resource Planning and Acquisition // in O. Hohmeyer and R. Ottinger (eds.), External Environmental Costs of Electric Power. Berlin, Springer-Verlag, 1991. pp. 253-263.
79. *Hobs B.F. and Meier P.M.* Multicriteria Methods for Resource Planning: An Experimental Comparison // IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 4, 1994.
80. *Boone C., Howes H., and Reuber B.* A Canadian Utility's Experience in Linking Sustainable Development, Full Cost Accounting, and Environmental Impact Assessment // Proceedings of the Annual Conference of the International Association for Impact Assessment, Durban, South Africa, June 26, 1995.
81. *Жилин В.Н., Коршунов В.К., Федуленко Д.В.* Применение методов анализа решений к проблеме размещения АЭС. // Проблемы безопасного развития атомной энергетики. Сб. работ ИБРАЭ РАН. М.: Наука, 1990. С. 74-83.
82. *Воропай Н. И., Иванова Е.Ю., Труфанов В.В.* Метод многокритериального анализа решений для выбора вариантов развития ЭЭС // Изв. РАН. Энергетика. 1998. № 6. С. 42-53.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (выдержки из программы)

## АКАДЕМИЯ НАУК СССР

*Отделение физико-технических проблем энергетики*

### КОРЕННОЕ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Государственная (общеакадемическая) программа  
фундаментальных исследований на период 1991-2000 гг.

*Одобрено Президиумом Академии наук СССР*

Координатор: *Научный совет по программе "Коренное повышение эффективности энергетических систем"*

*председатель Научного совета, академик РУДЕНКО Ю.Н.*

МОСКВА 1991

\* \* \*

#### ЦЕЛИ ПРОГРАММЫ

Государственная (общеакадемическая) программа фундаментальных исследований "Коренное повышение эффективности энергетических систем" на период 1991-2000 годы является уточненной программой, одобренной Президиумом АН СССР в 1988 году. В Программе уточнены цели и содержание отдельных этапов на основе анализа научными руководителями направлений выполненных за эти годы исследований. Внесенные изменения обсуждены и одобрены Научным советом АН СССР по программе 28 сентября 1990 года.

Исследования в период до 2000 г., предусмотренные Программой, нацелены на существенное повышение эффективности и безопасности энергетических установок и всего энергетического комплекса СССР, на снижение вредного воздействия его на окружающую среду, на создание принципиально новых установок и оборудования на базе широкого использования достижений научно-технического прогресса.

Программой предусматриваются как фундаментальные исследования, так и использование их результатов для решения узловых практических проблем в области энергетики.

.....

**Впервые в практике Академии наук СССР предполагается развернуть комплексные исследования по разработке рекомендаций и мер предотвращения локального в глобального воздействия энергетических объектов на человека и окружающую среду. Технические рекомендации будут подкреплены системой экономических и административных мер, направленных на сокращение выбросов вредных веществ в атмосферу, загрязнение водных и земельных ресурсов, снижение риска для персонала и населения. Рекомендации этого раздела найдут отражение при обосновании путей перспективного развития энергетики.**

.....

Программой предусмотрены исследования по 10 основным научным направлениям, по каждому из которых предполагается получить конкретные научные результаты на отдельных этапах их выполнения (ориентировочно в конце 1995 и 2000 г.г.).

1995 г. - разработка новых методов термического воздействия на нефтяной пласт с целью повышения нефтеотдачи; создание новых материалов (в т.ч. сверхпроводящих); создание человеко-машинной имитационной системы с базой данных о достижениях фундаментальных наук и возможностях НТП в энергетике; **создание банка данных по загрязнению окружающей среды в результате деятельности энергетических объектов (стационарных установок и транспортных средств)**; разработка основных принципов формирования теплового хозяйства страны; разработка математических методов вероятностного анализа безопасности и оценка риска в атомной энергетике, новых технических средств диагностики состояния оборудования АЭС; освоение ПГУ с газификацией угля мощностью 250 МВт;

2000 г. - разработка энергосберегающих технологий и оборудования для низкотемпературного сжигания твердых топлив в псевдооживленном слое; разработка теории суперкритической экстракции веществ в пористых средах; создание принципиально новых видов электроэнергетического

оборудования ( в т.ч. с использованием высокотемпературной сверхпроводимости); создание АСДУ нового поколения для ЕЭЭС; разработка баз данных и расчетных программ в обеспечение создания атомных станций нового поколения с реакторами, обладающими внутренне присущими свойствами безопасности; **разработка и внедрение новых технологий и схем подавления вредных выбросов энергетических объектов**; решение задачи эффективного покрытия пиковых мощностей и значительного повышения экономичности электро- и теплоснабжения страны за счет повышения к.п.д. ТЭС и ТЭЦ с ПГУ.

Результаты фундаментальных исследований по Программе будут использованы для успешного решения научно-технических проблем, предусмотренных Государственной научно-технической программой ГКНТ СССР "Экологически чистая энергетика".

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ

1. Теплофизические основы создания нового поколения энергетических технологий и установок
2. Электрофизические проблемы создания новых эффективных электротехнических и электроэнергетических устройств
3. Научные основы структурной и технической политики в энергосбережении и развитии энергетики
4. **Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой**
5. Оптимальное развитие и управление функционированием единой электроэнергетической системы СССР
6. Оптимальное развитие и управление функционированием больших трубопроводных систем энергетики
7. Научные основы создания безопасных и экономичных атомных станций и принципы их размещения
8. Создание нового поколения высокотемпературных энергетических установок
9. Системы энергоснабжения на базе возобновляемых нетрадиционных источников энергии
10. Новые технологии производства синтетических жидких топлив и увеличения нефтеотдачи пластов

\* \* \*

#### Научное направление 4: **"ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ"**

Научный руководитель: академик СТЫРИКОВИЧ М.А.

Координаторы: Рабочая консультативная группа при Президенте АН СССР для разработки новых вопросов перспектив развития энергетики,  
Комиссия ОФТПЭ АН СССР по проблеме "Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой".

Цель исследования: Всесторонний анализ взаимодействия энергетики с окружающей средой позволит разработать социально и экологически сбалансированную долгосрочную стратегию развития энергетики. Будут исследованы проблемы риска новых и традиционных энергетических технологий и разработаны методы учета риска при выборе вариантов развития энергетики.

- 1990 г. - Согласование программы работ, условий и объемов финансирования; разработка методологии анализа воздействия выбросов энергетических объектов на человека и окружающую среду и оценки экономических последствий негативного воздействия энергетики;
- 1995 г. - Создание хозяйственного механизма, регулирующего взаимоотношения энергетики с окружающей средой на региональном уровне; проведение исследований по методам и технологиям снижения вредных выбросов и сокращения вредного воздействия энергетики на окружающую среду; создание банка данных по загрязнению окружающей среды в результате деятельности энергетических объектов (стационарных установок и транспортных средств);
- 2000 г. - создание комплекса математических моделей для всестороннего анализа воздействия энергетики на человека и среду его обитания, включая вопросы изменения климата под воздействием "парникового эффекта"; разработка и внедрение новых технологий и схем подавления вредных выбросов и сбросов энергетических объектов; разработка долгосрочной на 30-40 лет вперед стратегии оптимального развития энергетики страны с учетом решения экологических проблем как локального (регионального), так и глобального характера.

№ п/п	Наименование научных направлений, разрабатываемых проблем и их этапов	Основные ожидаемые результаты, их значение для науки и народного хозяйства	Научные учреждения. Исполнители и соисполн.	Возможные отрасли внедрения
1	2	3	4	5
<b>4.1.</b>	<b>Предотвращение вредных воздействий предприятий энергетики и транспорта на окружающую среду, включая человека</b>			
	<b>4.1.1. Энергосбережение в сфере потребления энергии</b>			
	4.1.1.1. Разработка научных основ и концептуальных вариантов использования теплообменных аппаратов пенного типа в качестве средства обеспечения малоотходной экологически чистой технологии генерации энергии и эффективной защиты от шума	Разработать научные основы и технические предложения по созданию и внедрению новых малоотходных технологий в энергетике и новых эффективных средств снижения уровня шума на базе пенных аппаратов	КФТИ КФ АН СССР	Минэнерго СССР
	4.1.1.2. Разработка химических аккумуляторов низкопотенциального тепла	Предлагаемые технологические процессы кондиционирования и теплоснабжения заменят известные способы традиционной теплоэнергетики при экономии на 1 т химического аккумулятора 45 т у.т.	ИК СО АН СССР	Минэнерго СССР, Госкомгражданстрой
	<b>4.1.2. Энергосбережение в сфере производства и транспорта энергии</b>			
	4.1.2.1. Оценка экологической эффективности энергосберегающих мероприятий	Оценка платы за использование природных ресурсов и выбросы вредных веществ в окружающую среду, влияние ее на хозрасчет энергопредприятий	ФЭИ АН Литвы	СМ Литвы
	<b>4.1.3. Рационализация размещения энергетических и транспортных предприятий с целью снижения опасности их воздействия на окружающую среду</b>			
	4.1.3.1. Создание банка данных по выбросам энергетических предприятий (на примере Молдовы)	Создание базы данных по природно-климатическому блоку; блок формирования, сопровождения и развития баз данных; интерфейс между базами данных прикладными программами	ОЭК АН Молдовы	СМ Молдовы
	4.1.3.2. Оценка предпочтительности размещения атомных электростанций в стране с учетом социальной обстановки и воздействия на окружающую среду	Разработка оптимальной стратегии развития атомной энергетики СССР	РКГ при Президенте АН СССР	Комитет по атомной энергии
	4.1.3.3. Разработка математических моделей, численных методов и программного обеспечения для исследования радиационных полей в объектах атомной промышленности и АЭС в окружающей среде	Внедрение константно-программной системы в исследовательских и проектно-конструкторских организациях обеспечит проектирование и эксплуатацию различных объектов атомной промышленности	ИБРАЭ АН СССР, ИПМ им. М.В.Келдыша АН СССР	Комитет по атомной энергии
	4.1.3.4. Создание программно-информационных средств для экологической экспертизы крупных энергетических комплексов	Прогнозы последствий развития газовой промышленности на полуострове Ямал; развития энергетических мощностей на Северо-Западе Эстонии; последствий загрязнения радионуклидами Белоруссии в результате аварии на Чернобыльской АЭС	ИНЭИ АН СССР и ГКНТ СССР	Концерн «Газпром», СМ Эстонии, СМ Белоруссии
	4.1.3.5. Исследование возможных и целесообразных направлений использования экологически чистых источников энергоснабжения зоны оз. Байкал	Разработка общих подходов к выбору схем и источников энергоснабжения для зон особого природопользования	СЭИ СО АН СССР, ИНЦСО АН СССР	Госкомприроды СССР
	<b>4.1.4. Оценка выбросов, способы их уменьшения и очистка от вредных компонентов на энергетических и транспортных предприятиях, а также другие способы снижения опасности этих предприятий для окружающей среды</b>			
	<b>4.1.4.1. Разработка новых приборов</b>			

4.1.4.1.1. Создание адаптированной базы масс-спектральных данных к мобильному прибору, предназначенному для анализа вредных примесей в атмосфере	База данных масс-спектров (42 тыс. соединений) для мобильного варианта масс-спектрометра	ИВТАН	ИНЭПХФ
4.1.4.1.2 Создание макета передвижного хромато-масс-спектрометра для анализа вредных микропримесей в атмосферном воздухе и продуктах сгорания на уровне ПДК и выше	Макет передвижного хромато-масс-спектрометра	ИНЭПХФ АН СССР	Минэнерго СССР
4.1.4.1.3. Использование ПАВ-датчиков (поверхностных акустических волн) для определения бенз(а)пирена и других полициклических ароматических углеводородов	Создание ПАВ-датчиков	РКГ при Президенте АН СССР, ГПИ «Спецавтоматика», г. Ростов-на-Дону	Минэнерго СССР
<i>4.1.4.2. Электро-теплогенерирующие установки</i>			
4.1.4.2.1. Разработка новой концепции электротеплоснабжения, приводящей к сокращению объема вредных выбросов	Разработка новой концепции электротеплоснабжения	РКГ при Президенте АН СССР	Минэнерго СССР
<i>4.1.4.3 Добыча и транспорт топлива</i>			
4.1.4.3.1. Анализ социально-экологической обстановки в Донбассе	Разработка стратегий развития Донецкого угольного бассейна	ИЭП АН УССР	Минуглепром СССР
4.1.4.3.2. Социально-экологические аспекты развития основных угольных бассейнов страны (на примере Донецкого и Кузнецкого угольных бассейнов)	Разработка стратегии развития основных угольных бассейнов с учетом глубоких экономических и социальных преобразований (введение рыночных отношений, провозглашение независимости республик и развитие зон свободного экономического развития)	РКГ при Президенте АН СССР	Минуглепром СССР
4.1.4.3.3. Анализ и согласование альтернативных целей природопользования на примере сланцево-энергетического комплекса	Анализ экономических и экологических проблем сырьевой базы сланцевой энергетики Эстонии в условиях самостоятельности	ИЭ АН Эстонии	СМ Эстонии
4.1.4.3.4. Исследование ресурсно-экологических изменений в результате различных альтернатив развития КАТЭКа	Получение аналитических данных по экологическим последствиям различных стратегий развития КАТЭКа	ИНЭИ, все МИНГЕО, Энергоцентр, МЭИ	Красноярский Облесполком
<i>4.1.4.4. Новые технологии очистки выбросов от пыли и золы</i>			
4.1.4.4.1. Разработка основ тонкодисперсного распыления жидкостей с целью создания высокоэффективных устройств для очистки отходящих газов	Разработка рекомендаций по созданию эффективного технологического оборудования для очистки отходящих газов	ИПФ АН Молдовы	Минэнерго СССР
4.1.4.4.2. Исследование по удалению и использованию продуктов сгорания твердого топлива АЭС и ТЭЦ	Разработка пленко-образующей системы на основе полиамидов, позволяющей осуществлять очистку поверхностей, в том числе и замаслянных, от радиоактивной пыли путем снятия сформировавшейся пленки	ИФТПЭ АН Литвы	Комитет по атомной энергии
<i>4.1.4.5. Новые технологии очистки дымовых газов от окислов серы</i>			
4.1.4.5.1. Разработка научных основ, принципов и методов радиационно-химической очистки выбросов газов ТЭС от экологически вредных примесей	Разработка принципиально нового и эффективного метода глубокой очистки газовых выбросов от оксидов серы и азота при стимулирующем воздействии электронного пучка	ИНЭПХФ АН СССР	Минэнерго СССР
4.1.4.5.2. Очистка отходящих газов от окислов серы путем подачи активной щелочной присадки в газоходы	Создание опытной установки на Великолукском заводе электротехнического фарфора, выполнение технико-экономического анализа и сравнение с известняковым способом	ИВТАН	Минэнерго СССР

	4.1.4.5.3. Уменьшение ущерба сельскому хозяйству от атмосферных выбросов теплоэнергетических объектов за счет усовершенствования технологических процессов	Разработка фундаментальных основ процесса связывания диоксида серы сланцевой золой	ИХ АН Эстонии	Минэнерго СССР
	4.1.4.5.4. Создание системы измерения концентраций малых примесей в отходящих газах тепловых электростанций	Разработка физических основ оптических методов и создание макетов двух систем, позволяющих бесконтактно и оперативно измерять концентрации молекул $SO_2$ и $NO_2$ .одновременно с измерениями концентрации и среднего размера дисперсных частиц в потоке отходящих газов ТЭС	ИВТАН	Минэнерго СССР
	4.1.4.5.5. Оптимизация конструктивных параметров поверхностей загрузки адсорбентов с точки зрения гидродинамических потерь и интенсивности массообмена	Разработка основ конструирования экологически чистого энергетического оборудования (для очистки дымовых газов от $SO_2$ )	ИФТПЭ АН Литвы	Управл. энергетики Литвы
	<i>4.1.4.6. Новые технологии очистки выбросов от окислов азота</i>			
	4.1.4.6.1. Исследование возможности применения импульсного короткого разряда для очистки дымовых газов с целью уменьшения выбросов окислов азота	Проектирование разрядного узла для проведения экспериментов с реальными дымовыми газами. Разработка ТЭД данного метода.	ИВТАН	Минэнерго СССР
	4.1.4.6.2. Предотвращение выбросов окислов азота за счет оптимизации режимов сжигания и топочных процессов	Проведение опытно-промышленных исследований по разработанной технологии подавления окислов азота на промышленном котлоагрегате производительностью 480т пара/час	ИВТАН	Горэнерго Нижнего Новгорода
	4.1.4.6.3. Усовершенствование процессов сжигания органических топлив с целью подавления окислов азота	Разработка опытных вариантов новых конструкций рециркуляционных горелок с пониженным образованием окислов азота	ИГ АН УССР	Минэнерго СССР
	4.1.4.6.4. Разработка надежных методов диагностики и эффективных способов снижения выбросов окислов азота и ПАУ стационарными и транспортными газотурбинными установками	Разработка расчетно-экспериментальной методики выбросов бенз(а)пирена и окислов азота с продуктами сжигания топлив в стационарных установках	ИП Маш. АН УССР	Минэнерго Украины
	4.1.4.6.5. Исследование основных химико-физических закономерностей и разработка энерготехнологических средств эколого-экономического управления процессом сжигания газообразного топлива	Разработка теоретических основ эколого-экономического управления процессом сжигания газообразного топлива	ИТТ АН УССР	Минэнерго СССР
	4.1.4.6.6. Перспективы создания каталитических систем для очистки продуктов сгорания от токсичных газов (окислов азота) и экспериментальная проверка новых каталитических систем	Создание каталитических систем, обеспечивающих удаление окислов азота до остаточного содержания < 10 ppm с одновременной очисткой от других токсических веществ	«Химфизика» АН СССР	Минэнерго СССР
	4.1.4.6.7. Исследование процесса сгорания топлива в дизелях и разработка мероприятий, обеспечивающих существенное снижение вредных выбросов с отработавшими газами транспортной техники	Оптимизация процесса сгорания топлива в дизельных двигателях в зависимости от назначения двигателя и режима работы транспортного средства. Снижение содержания окислов азота в 1,5-2 раза.	ЛФ ИМАШ АН СССР, ИЦ «Износостойкость»	Миннефтехимпром СССР
	<i>4.1.4.7. Очистка сбросных вод и утилизация низкопотенциального тепла</i>			

	4.1.4.7.1. Разработка способа и аппаратуры электроимпульсной технологии очистки технической воды от физико-химических и радиоактивных загрязнений	Разработка новых конструкций электроразрядных реакторов производительностью 1;5 и 8 куб.м/час	ИП Маш. АН УССР	СМ Украины
	4.1.4.7.2. Каталитические источники тепла и катализаторы	Разработка новых эффективных установок и технология беспламенного сжигания топлив с использованием катализаторов глубокого окисления для нужд энергетики	ИХФ АН СССР	Минэнерго СССР
<b>4.2.</b>	<b>Воздействие различных агентов (химических соединений, радиационного излучения, изотопов и температуры) на различные среды</b>			
	<b>4.2.1. Воздействие на человека</b>			
	4.2.1.1. Разработка динамических моделей прогнозирования индивидуальных и коллективных доз человека	Разработка индивидуальных и коллективных доз для человека	ИПМЭ АН УССР	Комитет по атомной энергии
	4.2.1.2. Дифференциация социально-экономических и экологических условий проживания населения на территории Европейской части СССР как предпосылка учета ущерба от воздействия энергетики	Составление картосхем для отбора наиболее приемлемых территорий расселения, адекватно характеризующих современную экологическую ситуацию	ИГАН АН СССР	Госкомприроды СССР
	4.2.1.3. Исследование токсикологического воздействия продуктов переработки угля на организм человека и разработка рекомендаций по его защите	Социально-экономическая оценка стоимости здоровья человека	«Химфизика» АН СССР	Госкомприроды СССР
	4.2.1.4. Статистические и квантово-химические расчеты канцерогенности и токсичности полиароматических углеводородов и ряда других химических соединений, выделяемых топливно-энергетическими и транспортными комплексами	Установление объективных величин ПДК для различных территорий и выработка мероприятий по нормированию выбросов данных загрязнений	ИХФ АН СССР	Госкомгидромет СССР
	4.2.1.5. Оценка последствий мутагенных воздействий (ионизирующих излучений, химических мутагенов) на различные уровни организации живых систем	Анализ генетических последствий ядерных аварий на Урале (1957 г.) и в Чернобыле (1986 г.)	ИОГен АН СССР	Верховный Совет СССР
	<b>4.2.2. Воздействие на почву и растительность</b>			
	4.2.2.1. Оценка фактических изменений климата за исторический период и роли в них антропогенных изменений поверхности	Выявление влияния естественно-антропогенных вариаций альбедо полупустынь мира на глобальную температуру воздуха у поверхности Земли	ИГАН СССР	Госкомгидромет СССР
	4.2.2.2 Исследование по региональной модели закисления природной среды - "кислые дожди"	Разработка вариантов системы принятия решений для различных регионов страны (УССР, Европейской части СССР)	СКТБ ПО ИК АН УССР	Верховный Совет СССР
	4.2.2.3. Анализ и оценка влияния атмосферных выбросов ТЭС на лесные сообщества	Изучение аффекта подщелачивания коры деревьев под воздействием Прибалтийской и Эстонской ГРЭС	Бот.Ин. АН СССР	Госкомприроды СССР
	<b>4.2.3. Воздействие на фауну</b>			
	4.2.3.1. Влияние электрических полей и температурного режима водоемов в зоне энергетических объектов на центральную нервную систему молодых промысловых рыб и последствия этого для воспроизводства	Исследование поведения рыб к действию тока определенной плотности	ИЭФБ им. Сеченова АН СССР	Госкомприроды СССР

	4.2.3.2. Определение температурных градиентов воспроизводства гидробионтов водоемов-охладителей для прогноза состояния охраны и подбора видов при реконструкции их фауны	Определение температурных границ воспроизводства в жизнедеятельности модельных видов гидробионтов	ИЗ АН БССР	Гокм-природы Белоруссии
	4.2.3.3. Влияние гидроэнергетических сооружений на миграцию, распределение и поведение рыб	Изучение миграционных путей рыб на зарегулированных реках и влияние гидросооружений на их миграционное поведение	ИЭМиЭЖ АН СССР	Гокприроды СССР
	4.2.3.4. Разработка методики управления и прогнозирования экологической обстановки в зоне влияния строительства и эксплуатации ГАЭС	Изучение динамики и тесноты связей абиотических и биотических параметров экосистемы	ИФПЭ АН Литвы	Госком-природы Литвы
<b>4.2.4. Воздействие на воздушную среду</b>				
	4.2.4.1. Разработка гидродинамических численных моделей для исследования возможных состояний окружающей среды и загрязнения атмосферы в результате деятельности энергетических объектов	Разработка комплекса алгоритмов и программ для математического моделирования мезомасштабных атмосферных процессов	ОВМ при Президиуме АН СССР	Минэнерго СССР
<b>4.2.5. Воздействие на водную среду</b>				
	4.2.5.1. Определение общих закономерностей процессов, проходящих в популяциях и сообществах гидробионтов при воздействии искусственных трендов температур, количественных параметров воздействия тепловых нагрузок	Разработка экологических основ нормирования тепловых нагрузок	Ин. Экологии АН Литвы	Управление энергетики Литвы
<b>4.2.6. Воздействие на климат</b>				
	4.2.6.1. Оценка роли Мирового океана в поглощении техногенного CO <sub>2</sub> из атмосферы	Анализ различных путей расчета обмена CO <sub>2</sub> между океаном и атмосферой	ИО АН СССР	Госком-природы СССР
	4.2.6.2. Изучение изменений глобального климата, связанных с потреблением органического топлива	Оценка изменения амплитуды сезонного хода и параметров межгодовой и внутригодовой изменчивости климатических характеристик	ИФА АН СССР	Госком-гидромет СССР
	4.2.6.3. Определение различных степеней риска системы энергетика-климат в шкалах эффективной концентрации CO <sub>2</sub> в атмосфере и равновесной среднеглобальной температуры	Разработка шкалы допустимых пределов повышения эффективной концентрации CO <sub>2</sub> в зависимости от основных лимитирующих факторов развития энергетики (уровня мирового океана, состояния криосферы, повышение среднеглобальной температуры)	ИБРАЭ	Госком-гидромет СССР
<b>4.2.7. Воздействие на сейсмичность и состояние грунтов</b>				
	4.2.7.1. Влияние водохранилищ на изменение свойств горных пород и сейсмичность	Изучение изменений напряженно-деформированного состояния земной коры и вибрационных сейсмических нагрузок, связанных с созданием и эксплуатацией крупных энергетических объектов - плотин, водохранилищ и пр.	ИФЗ АН СССР	Минэнерго СССР
	4.2.7.2. Совершенствование методологии анализа и оценки взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой	Разработка методики учета экологических факторов при определении энерго-экономической эффективности гидроэнергостроительства в высокогорных условиях	ИЭ АН Таджикистана	Минэнерго СССР
<b>4.3.</b>	<b>Экологическая оценка ущерба окружающей среде от вредных воздействий со стороны энергетических и транспортных предприятий</b>			
	4.3.0.1. Методология учета экологических требований при комплексной оценке эффективности хозяйственных мероприятий	Разработка методических рекомендаций по учету экологического фактора при определении экологической эффективности хозяйственных мероприятий в условиях перехода к рыночной экономике	ЦЭМИ АН СССР	Комиссии Верховного Совета СССР

	4.3.0.2. Оценка уровней мирового энергопотребления и ожидаемого производства энергоресурсов и вредных выбросов	Оценка уровней мирового энергопотребления с учетом социальных и экологических требований	РКГ при Президенте АН СССР	ГКНТ СССР
	<b>4.3.1. Локальный уровень</b>			
	4.3.1.1. Исследование изменений пограничного слоя атмосферы в связи с размещением промышленных предприятий и энергетических объектов и его влияние на микроклимат окрестного района	Разработка метода расчета тепломассопереноса в пограничном слое при наличии защитных завес и радиационных тепловых потоков	ИТТ АН УССР	Госкомприроды СССР
	<b>4.3.2. Региональный уровень</b>			
	4.3.2.1. Методика оценки воздействия энергетических объектов на окружающую среду с учетом структуры и особенностей народного хозяйства региона	Разработка региональной программы использования местных и нетрадиционных источников энергии в Эстонии	ИТ и Э АН Эстонии	СМ Эстонии
	4.3.2.2. Разработать биотехнологические основы высокоинтенсивной биоэнергетической системы по конверсии твердой биомассы в газообразное топливо (биогаз) и биоудобрения (на примере г. Москвы)	Разработка научных основ современной инженерной системы по высокоэффективной обработке и обеззараживанию твердых бытовых отходов городов в биогаз и биоудобрения с применением контролируемой герметичной реакторной технологии, не требующей ежегодного отчуждения полезных земель	ИБ им А.Н.Баха АН СССР	Экологическая комиссия Моссовета
	4.3.2.3. Исследование проблем рационального взаимодействия энергетического комплекса СССР с окружающей средой	Разработка системы автоматизированного управления природоохранной деятельностью в энергетике	ИНЭИ АН СССР и ГКНТ СССР	Минэнерго СССР
	4.3.2.4. Разработка методов комплексного учета рационального природопользования при оптимизации перспективного развития ЕЭЭС СССР	Разработка системы экологических параметров и ограничений на размещение и функционирование крупных ТЭС с учетом норм качества природной среды и социально-этнических особенностей населения	СЭИ СО АН СССР	Минэнерго СССР
<b>4.4.</b>	<b>Оптимизация стратегии развития энергетики с учетом воздействия на окружающую среду и человека. Разработка оптимальной стратегии развития энергетики СССР</b>		РКГ, ЦЭМИ СЭИ, КЕПС ИЭПНТП	Минэнерго СССР, ВС СССР

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (выдержки из программы)

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

### ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

#### Общеакадемическая программа фундаментальных исследований на период 1993-2000 гг.

Координатор: Бюро Отделения физико-технических проблем энергетики РАН

Москва 1993

\* \* \*

#### СОДЕРЖАНИЕ

##### НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ

1. Теплофизические основы создания нового поколения энергетических технологий и установок
2. Электрофизические проблемы создания новых эффективных электротехнических и электроэнергетических устройств
3. Научные основы структурной и технической политики в энергосбережении и развитии энергетики
4. Оптимальное управление развитием и функционированием электроэнергетических систем
5. Оптимальное развитие и управление функционированием больших трубопроводных систем энергетики (системы газо-, нефте- и теплоснабжения)
6. Научные основы безопасности объектов атомной энергетики
7. Создание перспективных энергетических установок
8. Системы энергоснабжения на базе нетрадиционных возобновляемых источников энергии
9. Новые технологии производства синтетических жидких топлив и увеличения нефтеотдачи пластов
10. Энергетические проблемы химической физики
11. Глобальные и космические энергетические системы
- 12. Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой**

\* \* \*

##### ЦЕЛИ ПРОГРАММЫ

Программа фундаментальных исследований «Физико-технические проблемы энергетики» на период 1993-2000 годы является уточненной программой, одобренной общим собранием Отделения. В Программе уточнены цели и содержание отдельных работ на основе их анализа научными руководителями направлений.

Исследования в период до 2000 года, предусмотренные Программой, нацелены на существенное повышение эффективности и безопасности энергетических установок и всего энергетического комплекса России, на создание принципиально новых установок и оборудования на базе широкого использования достижений научно-технического прогресса, на снижение вредного воздействия энергетических объектов на окружающую среду.

Программа представляет собой единое целое на основе 12 основных направлений.

Научное направление 12: **"Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой"**

Научный руководитель: академик СТЫРИКОВИЧ М.А.

Координаторы: Комиссия ОФТПЭ РАН по проблеме "Исследование взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой",  
Рабочая консультативная группа при Президенте РАН  
по проблемам энергетики и экологии

В результате исследований будут получены оценки снижения вредных воздействий на окружающую среду за счет энергосбережения и перестройки экономики, а также оценки выбросов и способов их уменьшения, разработаны методы очистки от вредных компонентов на энергетических и транспортных предприятиях и другие способы снижения опасности этих предприятий для окружающей среды. Будет изучено воздействие вредных выбросов на человека, почву, растительность и фауну, на воздушную и водную среды и климат.

№ п/п	Наименование разрабатываемых направлений, проблем, тем и заданий	Основные ожидаемые результаты, их значение для науки и производства	Исполнители
1	2	3	4
12.1	Предотвращение вредных воздействий предприятий энергетики и транспорта на окружающую среду, включая человека.	Оценка снижения вредных выбросов в атмосферу при реализации программы энергосбережения в России. Оценка эмиссии газов в атмосферу на территории стран СНГ при спаде производства и структурной перестройке экономики. Анализ эмиссии газов в энергетическом секторе на территории Европейской части бывшего СССР. Оценка эмиссии газов и золы различных секторов хозяйства государств, расположенных на территории бывшего СССР, на основе анализа энергетических балансов отдельных государств. Исследование экологических характеристик энергетических технологий и процессов трансформации вредных выбросов в атмосфере. Разработка комплекса аналитических методов определения микроколичеств канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, их функциональных производных и гетероциклических аналогов в объектах природной среды, в том числе в питьевых и природных водах	<b>РКГ</b> ИНЭИ КЕПС СЭИ ИММ ИВТАН ИНЭПХФ ГЕОХИ ОЭ КазНЦ
12.2	Изучение воздействия различных агентов (химических соединений, радиационного излучения, температуры) на различные реципиенты и экосистемы.	Исследование влияния гамма-излучения на структуру сахарного фрагмента нуклеиновых кислот и их компонентов. Оценка состояния различных компонентов лесных сообществ и искусственных лесонасаждений в условиях разного уровня загрязнений воздуха выбросами энергетических предприятий и транспорта. Типология территории России по устойчивости к загрязнению энергетическими и транспортными предприятиями. Создание банка данных по крови у людей, работающих на АЭС и других энергетических предприятиях и/или проживающих в непосредственной близости от энергетических предприятий	<b>ИГ</b> БИН ИХФ Ифиз ИО
12.3	Экономическая оценка ущерба окружающей среде со стороны энергетических и транспортных предприятий	Анализ существующих методик и статистических данных по экономической оценке воздействия энергетических и транспортных предприятий на окружающую среду и здоровье человека. Сравнительная оценка риска воздействия на здоровье людей различных систем производства электроэнергии. Методика оценки ущерба от воздействия энергетических объектов.	<b>РКГ</b> ИНЭИ СЭИ
12.4	Поиск оптимальных стратегий развития энергетики с учетом воздействия на окружающую среду, включая человека.	Изучение влияния глобального изменения климата на потребление тепла потребителями, производство электроэнергии на ГЭС и потребление топлива электростанциями Сибири. Анализ влияния экологических ограничений и стоимости природных факторов на территориально-производственную структуру ТЭК, энергопотребление и социальные проблемы. Разработка принципов и создание информационно-моделирующей системы для обоснования концепции рационального природопользования при развитии энергетики северных районов. Анализ факторов технологического риска систем газопроводного транспорта и путей снижения аварийности. Сравнительный анализ различных методов экономической оценки ущербов окружающей среде и оценки плат за выбросы для источников энергоснабжения разной мощности в городе.	<b>РКГ</b> СЭИ ИФТПЭС ИНЭИ ИНЭПХФ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### ПАМЯТНАЯ ЗАПИСКА

о визите делегации специалистов США в СССР для участия в мероприятиях по сотрудничеству между АН СССР и НАН США по теме “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы” (8-21 октября 1989 г.)

1. В соответствии с соглашением о научном сотрудничестве от 12 января 1988 г. между Академией наук СССР (АН СССР) и Национальной академией наук США (НАН США), а также протоколом от 13 декабря 1988 г. годового совещания представителей АН СССР и НАН США, с 8 по 21 октября 1989 г. состоялся визит американских специалистов в СССР для участия в двусторонних мероприятиях по теме “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы”. Состав советских и американских делегаций и дополнительных участников прилагается (приложения 1 и 2).

2. С 8 по 16 октября 1989 г. американские специалисты посетили ряд научных центров в Сибири и Москве по тематике сотрудничества (приложение 3).

3. С 17 по 19 октября 1989 г. состоялся двусторонний советско-американский семинар “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы”. Программа Семинара прилагается (приложение 4). В семинаре приняли участие советские и американские специалисты. Советская сторона обязуется в течение 6 месяцев подготовить публикацию трудов семинара на русском и английском языках. Тексты всех докладов должны быть представлены к 1 января 1990 г.

4. 20 октября 1989 г. состоялось планирующее совещание по сотрудничеству между АН СССР и НАН США “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы”. Состав участников Совещания прилагается (приложение 5).

4.1. Обе стороны пришли к соглашению о том, что следующие шесть направлений могут представить хорошую основу для подготовки проектов сотрудничества:

А. Кратко- и долгосрочное воздействие энергетики на человека и среду его обитания и методы учета этого воздействия при выборе технологий и обосновании развития энергетики.

Б. Долгосрочные прогнозы и стратегии развития энергетики мира, США и СССР на 30-50 лет, с учетом требований по охране окружающей среды.

В. Изучение и структуризация проблемы создания мер доверия между СССР и США в области энергетики.

Г. Техничко-экономическая, экологическая, социальная и политическая целесообразность и этапы создания глобальной электрической системы мира.

Д. Мониторинг атмосферных выбросов энергетических объектов и прогноз их химических превращений.

Е. Новые энергетические технологии: масштабы и области их применения.

Предложения советской стороны по шести направлениям представлены в приложении 6. Предложения американской стороны по возможному содержанию сотрудничества представлены в приложении 7.

4.2. Эти предложения будут представлены руководству академий для согласования с соответствующими ведомствами и рассмотрения в организациях, заинтересованных в сотрудничестве. Стороны согласились, что в некоторых областях, рекомендованных для сотрудничества, совместные программы в настоящее время уже выполняются в соответствии с межправительственными соглашениями и другими документами и эта работа должна быть продолжена и активизирована. В других областях могут быть организованы новые программы.

4.3. Обе стороны рекомендуют, чтобы президенты двух академий рассмотрели возможность создания совместного комитета для координации, выработки рекомендаций и поощрения деятельности в соответствии с настоящей памятной запиской во время их совместной встречи в январе 1990 г.

4.4. Обе стороны сознают важность тесной координации предстоящего сотрудничества “Глобальные проблемы развития энергетики и связанные с ними экологические проблемы” с совместными программами двух академий в области энергосбережения и безопасности атомной энергетики.

5. Советские и американские специалисты выразили удовлетворение, что все мероприятия прошли в атмосфере дружбы и взаимопонимания, что позволяет надеяться на успех предстоящей работы. Американские специалисты благодарят многих советских коллег за гостеприимство и помощь во время их пребывания в Москве и Сибири. Советские и американские специалисты выражают также признательность за финансовую поддержку совещаний и технических визитов Академии наук СССР и Фонду Джона Д. и Екатерины Т. Маккартур.

6. Подготовлено в Москве (СССР) 20 октября 1989 г.

От АН СССР  
академик Ю.Руденко

От НАН США  
доктор Э.Тривелпис

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ

советских экспертов от 7 октября 1989 года

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРОГРАММЕ НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА МЕЖДУ АН СССР И НАН США ПО ТЕМЕ “ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ”

(приложение 6 к Памятной записке)

Руководитель программы от СССР академик Ю.Н.РУДЕНКО.

#### **1. Экологические и социальные последствия развития энергетических систем. Непосредственные и отдаленные эффекты. Методы расчета влияния выбора технологий и концепций развития энергетических систем в мире на эти эффекты.**

Научный руководитель от СССР академик М.А.Стырикович.

1.1. Оценка влияния энергетических систем на общество и окружающую среду. Оценка социальных и экологических аспектов развития энергетических систем.

От СССР участвуют РКГ при Президиуме АН СССР, ИВТАН, СЭИ СО АН СССР.

1.2. Оценки ресурсо-сберегающих, безопасных и экологически чистых систем энергосбережения и стратегий развития энергетических систем.

От СССР участвуют: СЭИ СО АН СССР, ИНИ АН СССР, ИВТАН, РКГ, ИТ СО АН СССР, ИТТ АН УССР, ИПЭС УССР.

1.3. Энергетика и климат.

От СССР участвуют: ИНЭПХФ АН СССР, РКГ, Госкомгидромет СССР, ИФА СССР, ИГ АН СССР, ВТИ, Институт озераведения.

#### **2. Сценарии и стратегия развития энергетических систем в СССР, США, мире на 30 - 50 лет с учетом экологических аспектов.**

Научный руководитель от СССР чл.-корр. АН СССР А.А.Макаров.

2.1. Сравнительный анализ методов прогнозирования на ЭВМ развития энергетических систем с учетом экологических аспектов. От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, ИЭСП АН УССР, ИПГ, Госкомгидромет СССР.

2.1.1. Методы прогнозирования объема и структуры потребления энергии.

2.1.2. Методы прогнозирования объемов производства, экспорта и импорта основных источников энергии.

2.1.3. Методы учета экологических последствий влияния энергетических систем на окружающую среду. Принципы количественных оценок такого влияния.

2.1.4. Методы учета взаимосвязи экономики энергетических систем.

2.2. Взаимная адаптация ЭВМ-программ для прогнозирования развития энергетических систем с учетом экологических аспектов. От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, ИЭСП АН УССР, ИПГ.

2.3. Расчеты взаимных сценариев развития энергетических систем США и СССР в середине XXI века и соответствующих загрязнений окружающей среды.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, ИЭСП АН УССР.

2.4. Оценки экологических аспектов сценариев, разрабатываемых по п.2.3.

От СССР: РКГ, ИПГ, ИНЭПХ АН СССР, ИНЭИ АН СССР, МЭИ.

2.5. Самосогласованные прогнозы развития мировых энергетических систем и соответствующих загрязнений окружающей среды.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, ИНЭПХФ АН СССР.

2.6. Оценка глобальных экологических аспектов сценариев, разрабатываемых п.п.2.5.

От СССР: МЭИ, ИНЭИ АН СССР, ИНЭПХФ АН СССР.

2.7. Подготовка совместной монографии.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, РКГ, МЭИ.

#### **3. Изучение и постановка проблем развития взаимосвязей и доверия между СССР и США в области энергетики.**

Научный руководитель от СССР чл.-корр. АН СССР А.А.Макаров.

3.1. Обобщение мнений политических, деловых и научных кругов о развитии энергетических систем в СССР и США и средствах установления доверия и взаимосвязей в этой области.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, ИМЭМО АН СССР, ИСКАН, ИСАН.

3.2. Развитие подходов к идентификации и преобразованию в политические решения мер взаимосвязей и доверия в области энергетики.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, ИМЭМО АН СССР, ИСКАН, ИСАН.

3.3. Разработка рекомендаций по выработке мер доверия в нефтяной, газовой, электрической и атомной промышленности.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, ИМЭМО АН СССР, ИСКАН, ИСАН.

3.4. Развитие методов оценки политических, социальных и экономических эффектов сотрудничества СССР и США в области энергетики.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, РКГ, ИМЭМО АН СССР, ИСКАН.

3.5. Разработка рекомендаций по сотрудничеству между СССР и США в области преобразования энергии, развития нефтяной индустрии, развития электротехники, ядерной энергетики, газовой индустрии, а также в исследованиях и разработках.

От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, РКГ.

3.6. Подготовка совместной монографии. От СССР: ИНЭИ АН СССР, СЭИ СО АН СССР, РКГ.

#### **4. Техничко-экономические, экологические, социальные и политические возможности и мероприятия в создании глобальной мировой электрической системы.**

Научный руководитель от СССР академик Ю.Н.Руденко.

4.1. Формулировка, анализ, оценки социально-экономической и экологической эффективности альтернативных вариантов глобальной мировой электроэнергетической системы для различных уровней развития мировой энергетической системы в конце рассматриваемого периода.

От СССР: СЭИ СО АН СССР, ИЭД АН УССР.

4.2. Оценка оптимальных режимов функционирования мировой глобальной энергетической системы.

От СССР: СЭИ СО АН СССР, ИЭД АН УССР.

4.3. Определение возможных стадий в развитии глобальной мировой электроэнергетической системы.

От СССР: СЭИ СО АН СССР.

4.4. Оценка возможных путей международного сотрудничества, необходимого для создания глобальной мировой электрической системы.

От СССР: СЭИ СО АН СССР, ИЭД АН УССР.

#### **5. Мониторинг загрязнений атмосферы выбросами энергетики и прогнозирование их химических превращений.**

Научный руководитель от СССР чл.-корр. АН СССР В.Л.Тальрозе.

5.1. Использование аналитических методов, включая химические лазеры и хромато-масс-спектрометрию с новыми методами ионизации, для мониторинга следов атмосферных примесей, связанных с деятельностью топливно-энергетического комплекса.

От СССР: ИНЭПХФ АН СССР, ИХКГ СО АН СССР.

#### **6. Новые энергетические технологии: масштабы и области применения.**

Научный руководитель от СССР чл.-корр. АН СССР О.Н. Фаворский.

6.1. Паро-газовые (комбинированный цикл) и газовые турбины как основа для будущего производства тепла и энергии с максимальной экономической эффективностью (конструкции, параметры и так далее) и минимальными экологическими последствиями.

От СССР: ИВТАН, ВТИ.

6.2. Новые технологии и методы уменьшения вредного воздействия выбросов энергетики на окружающую среду. Диагностика выхлопных газов, включая дистанционную диагностику.

От СССР: ИТ СО АН СССР, ИВТАН, ИНЭПХФ АН СССР, МЭИ, ЭНИН, ВТИ, ИХФ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### РАБОЧАЯ ЗАПИСКА

экспертов США по предложениям для совместных работ по теме “Глобальные проблемы и направления развития энергетических систем и их влияние на окружающую среду”  
-примерные области сотрудничества между учеными СССР и США

(приложение 7 к Памятной записке)

Примечание: нумерация тем соответствует предложениям советских экспертов от 7 октября 1989 г.

20 октября 1989 г.

#### **1. Экологические и социальные последствия развития энергетических систем. Непосредственные и отдаленные эффекты. Методы расчета влияния выбора технологий и концепций развития энергетических систем в мире на эти эффекты.**

- 1.1. Оценка влияния энергетических систем на человека и окружающую среду. Оценка социальных и экологических аспектов развития энергетических систем.
- 1.2. Оценки ресурсо-сберегающих, безопасных и экологически чистых систем энергоснабжения и стратегий развития энергетических систем.

Газификация угля #1: Параметрические исследования. Сопоставление результатов аналитических работ путем систематического обмена информацией.

Газификация угля #2: Термодинамический анализ (Каганович, СЭИ СО АН СССР) и его применение для условий США с целью выявления возможных решений.

Газификация угля #3: Трехстадийное моделирование. Моделирование трехстадийного процесса газификации в СЭИ СО АН СССР.

Системный анализ крупномасштабных фотоэлектрических солнечных батарей: Системное изучение влияния крупномасштабных фотоэлектрических систем на энергоснабжение в целом, экономику, экологию (вода, микроклимат), социальные аспекты (региональные влияния и т.д.) на примере системы на 10 - 20 ГВт в Казахстане. Параллельно в США будет рассмотрен вариант размещения станции в Аризоне, Нью-Мексико. Возможна координация с проектами NYSERDA (Управление по исследованию и развитию энергетики штата Нью-Йорк): 1) фотоэлектрическая демонстрационная система на Long Island, направленная на изучение работы в сети, 2) фотоэлектрическая демонстрационная система для административных зданий, 3) прямая установка на производственных предприятиях Нью-Йорка. Эти проекты обеспечат первичные данные для обеих стран.

Высокотемпературный охлаждаемый газом реактор (HTGR) #1: Анализ безопасности. Надежность компонент. Совместная работа по анализу безопасности, разработка улучшенных методов оценок надежности. Это может рассматриваться как часть совместной работы академий по проблемам ядерной безопасности.

Высокотемпературный охлаждаемый газом реактор (HTGR) #2: Улучшенная концепция реактора. Производство высокотемпературного тепла для промышленности (промышленно-энергетических комплексов). Представляют интерес системные работы СЭИ по этой проблеме. Потенциальная заинтересованность производственных фирм США могла быть использована в рамках передачи технологии.

- 1.3. Энергетика и климат.

#### Метан:

Выбросы природного газа в атмосферу: в ходе совместной программы разработать более точные оценки выбросов метана в результате процессов вентиляции, добычи, передачи и распределения природного газа.

Метан из глубоких угольных шахт: в совместной программе разработать улучшенные оценки выхода в атмосферу метана при добыче и транспортировке угля.

Выделение метана из заливных земель: в ходе совместной программы разработать методы оценки содержания углерода в заливных землях и скоростей выделения углерода в составе метана.

Окислы азота:

Эмиссия в результате сжигания ископаемых топлив: в ходе совместной программы разработать улучшенные оценки коэффициентов эмиссии N<sub>2</sub>O при сжигании ископаемого топлива.

Атмосферная химия: в ходе совместной программы изучить пути образования и разрушения N<sub>2</sub>O в атмосфере.

Удобрения: в ходе совместной программы добиться более точных оценок эмиссии N<sub>2</sub>O, связанной с использованием химических удобрений.

Эмиссия N<sub>2</sub>O в технологиях сжигания с малым выходом NO<sub>x</sub>: в топках и усовершенствованных газовых турбинах образование NO<sub>x</sub> контролируется зонами редуцирования. Ведет ли это к образованию N<sub>2</sub>O?

Углекислый газ:

Изучение воздействия на климат: выполнить совместную программу по определению потенциальных выбросов CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> из болот, учитывая как повлияют эти выбросы на увеличение концентрации “парниковых” газов в атмосфере. Эта работа включает в себя проекты по мониторингу и изучению химических превращений в атмосфере.

Использование земель: в объединенной программе разработать улучшенные оценки скоростей изменения количества биомассы в развитых и развивающихся странах. Это изучение должно включать в себя долгосрочную оценку уменьшения количества биомассы в естественных системах, например, из-за застройки.

Фреоны: В рамках объединенных программ расширить анализ и изучение проблемы.

Проблема замещения фреонов: в рамках совместной программы изучить потенциальные заменители фреонов с точки зрения времени жизни этих веществ в атмосфере и их свойств поглощать солнечное излучение.

Моделирование парникового эффекта:

Скоординированная разработка моделей: в рамках объединенной программы разработать модели для проверки связи в прошлом и будущем между энергетикой и другой хозяйственной деятельностью человечества и выбросами парниковых газов в атмосферу. В этих моделях должны быть учтены связи между демографическими, технологическими, административными и социологическими факторами и эмиссией.

Изучение влияния глобальных изменений климата на тундру и северные леса: Более определенно, нет ли здесь положительной обратной связи по выбросам метана?

**2. Долгосрочные сценарии и стратегия развития энергетических систем СССР, США, мира на 30 - 50 лет с учетом экологических аспектов.**

2.1. Сравнительный анализ методов прогнозирования на ЭВМ развития энергетических систем СССР и США.

2.1.1. Методы прогнозирования объема и структуры потребления энергии.

2.1.2. Методы прогнозирования объемов производства, экспорта и импорта основных источников энергии.

2.1.3. Методы учета экологических последствий влияния энергетических систем на окружающую среду. Принципы количественных оценок такого влияния.

2.1.4. Методы учета взаимосвязи экономики энергетических систем.

Развитие основы для соглашений по различным аспектам: определения; техника сбора данных; соглашения о том, какие данные по ресурсам должны учитываться; ресурсы (полные топливные циклы); производство и использование, интенсивность использования; цены; выбросы. Соглашения о публикации данных в едином статистическом виде в совместном журнале. Активность должна быть связана с деятельностью ПАСА (Международного института прикладного системного анализа - МИПСА, Австрия) или попытками ООН к достижению подобных соглашений в мировом масштабе.

Макроэкономическое моделирование энергосбережения: Эта работа проводится в сотрудничестве между СЭИ и Energy Modeling Forum (Обществом энергетического моделирования) в Стенфорде. Основные усилия направлены на обмен моделями и результатами моделирования в параллельных изданиях в двух странах, например, на учет важности структурных сдвигов в составе промышленной продукции как детерминанта уровня полного энергоснабжения. Моделирование связи и взаимосвязи между энергосбережением, экологией и экономикой.

- 2.2. Взаимная адаптация компьютерных программ для прогнозирования развития энергетических систем с учетом экологических аспектов.

Развитие методов моделирования, которые могли бы быть применены к обеим странам: Сравнение результатов моделирования будущих изменений. Предусматривается расширение имеющегося сотрудничества между Дж. Эдмондсом и В. Чанлером (PNL/DOE) из США и И. Башмаковым и А. Макаровым из СССР.

Моделирование взаимодействия энергетики и окружающей среды: Модели Гершензона из СЭИ СО РАН и Эдмондса-Рейли созрели для сравнительного анализа, так как обе модели пытаются связать взаимодействие экономических факторов и окружающей среды, особенно ввиду важности этих моделей для планирования в соответствующих странах.

Макроэкономическое моделирование энергосбережения: Тесные рабочие контакты установлены между исследователями из СЭИ СО РАН и Стэнфордского университета. Обе группы имеют совершенные модели энергетических систем и начали параллельный анализ и выпуск совместных статей. Группа из США установила тесное сотрудничество с СЭИ во время поездки в октябре 1989 г.

- 2.3. Расчеты взаимных сценариев развития энергетических систем США и СССР в середине XXI века и соответствующих загрязнений окружающей среды.
- 2.4. Оценка экологических последствий сценариев, разрабатываемых по п.п.2.
- 2.5. Самосогласованные прогнозы развития мировых энергетических систем и соответствующих загрязнений окружающей среды.
- 2.6. Оценка глобальных экологических аспектов сценариев, разрабатываемых по п.2.5.
- 2.7. Подготовка совместной монографии.

### **3. Изучение и постановка проблем развития взаимосвязи и доверия между СССР и США в области энергетики.**

- 3.1. Обобщение мнений политических, деловых и научных кругов о развитии энергетических систем в СССР и США и проблеме установления доверия и взаимосвязи в этой области.

Изучение проблем принятия решений с учетом взаимодействия энергетика - окружающая среда - экономика в обеих странах: Как работает каждая из этих систем? Как новые знания и взгляды воплощаются в политические решения? Как внедряются новые технологии? В частности, будут рассмотрены связи между получением новых знаний и их эффективным использованием в комплексе энергетика - окружающая среда - экономические решения - политика. Будут также рассмотрены преимущества и недостатки различных комбинаций централизованного и децентрализованного планирования и политических решений. Работа в этой области могла бы проводиться совместно или раздельно, и, если раздельно, то либо независимо, либо параллельно. Обмен аспирантами, подготавливающими диссертации по актуальным вопросам мог бы стать средством эффективной передачи знаний и достижения взаимопонимания между США и СССР, а также другими странами, в которых эти проблемы находятся еще на стадии становления. В этом случае может быть оказана финансовая поддержка подготовке нескольких диссертаций.

Использование данных о состоянии окружающей среды при принятии решений: Похоже, что модели СЭИ по распространению загрязнений в атмосфере действительно использовались в решениях о размещении энергетических объектов другими способами, отличными от используемых в США. Сравнение было бы интересным.

Оценки относительного риска: Получить данные, необходимые для проведения анализа цена/прибыль для оценки относительного риска разных энергетических технологий, включая, в частности, ущерб здоровью человека и окружающей среде. Может быть оказана финансовая поддержка выполнению нескольких диссертационных работ по этой теме.

Комментарии по возможным механизмам достижения соглашений по кооперации и сотрудничеству:

А. Как предварительный шаг, сбор и обмен отчетами и базами данных, определение исследовательских организаций и списка исследователей в области, являющейся приоритетной в одной или обеих странах. Как второй шаг, создание организации для быстрого и регулярного обмена информацией, данными, публикациями и т.д. между США, СССР и другими странами.

Б. Обмен учеными, инженерами, студентами и техническими специалистами должен быть расширен как средство для улучшения взаимопонимания и эффективной передачи знаний и научных подходов.

В. Совместные консультативные комитеты/советы, члены которых выбираются из научно-технических организаций, различных правительственных организаций, различных областей промышленности и т.п., могли бы быть созданы для руководства совместными программами. Цель была бы двоякой: получить выгоду от использования их знаний, компетенции и опыта, а также осуществлять передачу этих знаний друг другу наиболее эффективным путем. Эти консультативные комитеты могли бы быть активно подключены к ежегодному или двухлетнему планированию новых программ и, соответственно, к их регулярный контролю и пересмотру.

3.2. Развитие подходов к идентификации и преобразованию в политические решения мер взаимосвязи и доверия в области энергетики.

Влияние изменений климата, вызванных эмиссией CO<sub>2</sub>, на человека и природные системы.

Моделирование и анализ: в совместной программе начать систематическое развитие методов, необходимых для оценки влияния изменения климата на человека и природные системы. Работа по программе потребует проведения совместного анализа того, как возможное изменение климата может повлиять на отдельные страны, анализа неопределенностей и передачи информации тем, кто выиграет или проиграет от возможного изменения климата.

Изучение сопоставимой эмиссии от сходного энергетического оборудования в обеих странах: Предоставление данных по эффективным технологиям, снижающим выбросы.

Сравнение оценок воздействия на окружающую среду от новых проектов: Сравнение методов NERA, используемых в США, с методами, применяемыми в СССР, для оценок воздействия на окружающую среду.

Модели энергетических технологий: Штат Нью-Йорк и Федеральное Правительство постоянно используют модели энергетических систем, разработанные Международным энергетическим агентством (IEA) для того, чтобы дать им оценку с точки зрения уменьшения эмиссии CO<sub>2</sub> в последующие 50 лет при минимальной стоимости. Подобный анализ мог бы быть выполнен и для СССР. Отдельные энергетические технологии, которые окажутся дешевыми, могли бы быть определены и стать целью совместных международных исследований и разработок.

3.3. Разработка рекомендаций по выработке мер доверия в нефтяной, газовой, электроэнергетической и атомной промышленности.

Изучение потенциальной роли ядерной энергетики: Потенциальная роль ядерной энергетики в мире и условия приемлемости для общественного мнения крупномасштабной ядерной энергетики. Подобное исследование могло бы быть скоординировано с МАГАТЭ (IAEA) и МИПСА (IIASA).

Демонстрация экологически чистой технологии сжигания угля: В основу мог бы быть положен проект энергоблока, использующего американскую технологию, строительство которого предполагается в Польше.

Демонстрационный проект в США советской технологии по водо-угольным суспензиям.

Обмен опытом решения экологических проблем, связанных с добычей нефти в условиях очень холодного климата, и опытом борьбы с последствиями разливов нефти. В частности, изучение применения методов биодegradации.

Обмен информацией по интенсификации извлечения нефти и газа: Техника бурения скважин в условиях заполнения, горизонтального бурения и другие методы повышения нефтеотдачи могли бы стать целью совместных проектов или обмена технологиями.

Обмен мнениями по абиогенному газу.

- 3.4. Развитие методов оценки политических, социальных и экономических эффектов сотрудничества СССР и США в области энергетики.

Совместное изучение проблем развивающихся стран: Больше внимания и ресурсов должно быть уделено обеими нациями для развития стран Третьего Мира.

- 3.5. Разработка рекомендаций по сотрудничеству между СССР и США в области преобразования энергии, развития нефтяной индустрии, развития электротехники, ядерной энергетики, газовой индустрии, а также исследованиях и разработках.
- 3.6. Подготовка совместной монографии.

#### **4. Технико-экономические, экологические, социальные и политические возможности и этапы создания глобальной мировой энергетической системы.**

- 4.1. Формулировка, анализ, оценки социально-экономической и экологической эффективности альтернативных вариантов глобальной мировой электроэнергетической системы для различных уровней развития мировой энергетики в конце рассматриваемого периода.
- 4.2. Оценка оптимальных режимов функционирования мировой глобальной электроэнергетической системы.
- 4.3. Определение возможных стадий в развитии мировой глобальной электроэнергетической системы.
- 4.4. Оценка возможных путей международного сотрудничества, необходимого для создания глобальной мировой электроэнергетической системы.

#### **5. Мониторинг загрязнений атмосферы выбросами энергетики и прогнозирование их химических превращений.**

- 5.1. Использование аналитических методов, включая химические лазеры и хромато-масс-спектрометрию, с новыми методами ионизации для мониторинга следов атмосферных примесей, связанных с деятельностью топливно-энергетического комплекса.
- 5.2. Лабораторное изучение процессов, моделирующих химические превращения выбросов энергетики в атмосфере.

Изучение конкретного случая: Совместные измерения влияния на окружающую среду развития промышленного района КАТЭК и сравнение результатов со сходными районами США.

#### **6. Новые энергетические технологии: масштабы и области применения.**

- 6.1. Паро-газовые (комбинированный цикл) и газовые турбины, как основа для будущего производства тепла и энергии с максимальной экономической эффективностью (конструкции, параметры и так далее) при серьезных экологических ограничениях.

Усовершенствованные циклы с применением авиационных турбин: Природный газ, уголь и дрова. Впрыск водяного пара и другие модификации основного газотурбинного цикла. Возможно участие фирм США.

Первые шаги к такому сотрудничеству сделаны специалистами ИВТАН (Москва) и Принстонского Университета. Проводится обмен идеями, данными и (в незначительной степени) сотрудниками по данной теме в течение последних четырех лет. Газотурбинные циклы активно исследуются в ИВТАНе более 20 лет с целью минимизации загрязнений окружающей среды и увеличения эффективности преобразования. Предусмотрены совместные экспериментальные исследования на действующих энергоблоках, но еще не реализованы.

В настоящее время СССР планирует более широкое использование стационарных газотурбинных энергоблоков как альтернативы политически скомпрометированному плану строительства атомных электростанций, заключая миллиардные контракты с западными компаниями. Исследовательская программа, ведущаяся сейчас, открывает важные каналы для американских фирм.

- 6.2. Новые технологии и методы уменьшения вредного воздействия выбросов энергетики на окружающую среду. Диагностика дымовых газов, включая дистанционную диагностику.

Энергетическая эффективность специфических промышленных процессов: В США достигнут значительный прогресс в уменьшении вклада энергии в промышленные процессы за счет понимания природы процессов и внедрения новых технологий, например, высокотемпературных регенерационных аппаратов, конденсационных теплообменников и тепловых насосов, для уменьшения затрат энергии с соответствующим уменьшением вредных выбросов. Обмен техническими данными по использованию энергии в промышленных процессах мог бы помочь определить, какие технологии необходимы для реализации подобных решений. Предлагаются следующие задачи:

- сравнение потребления энергии определенными отраслями;
- определение специфических промышленных процессов, которые обещают уменьшение энергопотребления и вредных выбросов.

Централизованное теплоснабжение и контроль: NYSERDA участвовала в создании или восстановлении нескольких систем централизованного теплоснабжения Нью-Йорке либо от отдельных котельных, либо от ТЭЦ.

В США такая технология мало распространена, и величины экономии энергии и уменьшения вредных выбросов при централизованном теплоснабжении до сих пор надежно не определены. Такие данные могли бы быть использованы муниципалитетами США, рассматривающими централизованное теплоснабжение как экономически эффективный экологически приемлемый способ обеспечения теплом урбанизированных районов. Кроме того, обмен информацией о таких системах, как системы Джеймстауна или Нью-Йорка, которые построены по последнему слову техники, был бы полезен для оценок экономической эффективности и разработок дальнейших систем.

#### Системы освещения.

Большая часть интересов NYSERDA в освещении сконцентрирована на коммерческом применении, например, освещение для увеличения производительности труда и, по возможности, в то же время, уменьшение потребления энергии. Общепринято, что экономия энергии на освещение может достигать 40%, если установить необходимые уровни освещения. В течение нескольких последующих лет NYSERDA будет поддерживать всесторонние программы по освещению. Совместные усилия возможны по следующим направлениям:

- обмен данными по эффективности и энергопотреблению систем освещения для специфических применений;
- демонстрация новейших осветительных систем;
- передача технологий осветительных систем и результатов демонстрационных экспериментов производителям арматуры и другим представителям светотехнической промышленности.

Биомасса и мусор как источник топлива: Разработка возобновляемых ресурсов биомассы для замены обычного ископаемого топлива представляет хороший пример изменения вида топлива, связанный с энергетическими и экологическими проблемами. Последние исследования в США определили методы развития лесопосадок и технику культивирования, которые приводят к максимальному производству биомассы. Эта биомасса может быть использована непосредственно как топливо, либо как сырье для производства химической и бумажной продукции.

Развитие новых видов растений, техники сбора урожая и эффективных технологий преобразования энергии для устойчивых систем производства биомассы могло бы стать важным как для промышленно развитых, так и для менее развитых стран. Создание постоянных плантаций биомассы как источника энергии значительно уменьшило бы загрязнение окружающей среды по сравнению с использованием ископаемого топлива и не приводило бы к увеличению эмиссии  $\text{CO}_2$ . Фактически, замена обычного ископаемого топлива возобновляемой биомассой уменьшила бы эмиссию  $\text{CO}_2$ .

Конкретные области для кооперации и сотрудничества могут включать:

- определение растений с оптимальными характеристиками роста для различных типов земель и климатических зон;
- развитие технологий газификации и переработки биомассы, например, для производства метанола и этанола;
- разработка техники для выращивания и сбора урожая биомассы.

Альтернативные топлива для автомобилей - метанол, сжатый природный газ, этанол, водород и т.п.: Эмиссия автотранспорта является важным источником выбросов углеводородов, NOx, соединений, способствующих образованию озона и кислых дождей, а также CO и CO<sub>2</sub>. В США, в целом, и в штате Нью-Йорк, в частности, проводятся исследования по определению потенциальных преимуществ альтернативных топлив, таких как метанол, природный газ и, в меньшей степени, этанол. Эти топлива могут, в принципе, уменьшить вредные выбросы, а также зависимость государства от источников нефти.

В частности, NYSERDA финансирует исследования по использованию смесей метанола с “активатором зажигания” как дизельного топлива, используемого в густонаселенных районах. Подобный подход требует очень небольшой модификации обычных дизельных двигателей и дает значительный экологический эффект. Совместные усилия в проведении испытаний этого типа топлива в различных климатических зонах и для различной автомобильной техники были бы весьма полезны. Данные по производительности, эксплуатационным требованиям и выбросам могли бы быть объединены и проанализированы. Наиболее явным преимуществом этой технологии является исключение дизельного смога в густонаселенных урбанизированных районах.

Повторное использование материалов: Увеличение повторного использования материалов представляет обширный резерв как для энергосбережения, так и для уменьшения загрязнения окружающей среды. Повторное использование алюминия может сэкономить 95% энергии, необходимой для производства этого материала из руды. Повторное использование пластика экономит энергию как на получение пластика, так и на получение исходного сырья. Кроме того, расходы и экологические проблемы, связанные со свалками и сжиганием, будут уменьшаться.

NYSERDA непрерывно работает с муниципалитетами, производителями и торговыми группами для увеличения типов и количеств отходов, которые могут быть повторно использованы. Сюда также относятся исследования и разработки, направленные на создание рынков и стандартов повторно используемых материалов.

NYSERDA могла бы рассмотреть возможности совместных работ в следующих областях:

- разработка и демонстрация методов сортировки мусора и его предварительной переработки с высокими экономическими и энергетическими показателями;
- обмен данными по экспериментальному исследованию выбросов в атмосферу, стоков и твердых отходов в процессе переработки с целью выработки соответствующих стандартов;
- демонстрация новейших процессов для производства новой или улучшенной продукции из отходов. Особый интерес представляет облагораживание смесевых вторичных пластмасс и использование отработанных смазочных масел и бумажных отходов в качестве сырья для химической промышленности.

Изучение конкретного случая децентрализованного энергоснабжения: Изучение эффективных путей достижения крупномасштабного использования в СССР некоторых технологий, применяемых в США, например, компактных бойлеров, тепловых насосов, топливных элементов, а также солнечной энергетики. (Цитата из доклада Папина (СЭИ): “Если сравнить ситуацию в США и СССР, то в последнем случае имеется большая централизация в получении используемой энергии. Это ведет к потерям энергии, увеличению стоимости, отрицательным экологическим последствиям и снижению надежности. Ускорение внедрения более децентрализованной энергетики может привести к заметному энергосбережению, экономическим и социальным положительным эффектам. Часть этой экономии может быть направлена на закупку подобной техники за рубежом.”).

Изучение конкретной ситуации в городе Иркутске, предложенное СЭИ, включает кооперацию с промышленностью и руководством города с возможным участием представителей фирм США, выпускающих оборудование для децентрализованного получения энергии. Эта работа может быть ориентирована на конечные технологии, такие как эффективные окна и электродвигатели, и включать задачи типа сбора данных на высоко дезагрегированном уровне. Также можно включить экономическое и экологическое сравнение централизованных и децентрализованных технологий и оценки рыночного потенциала соответствующего оборудования.

Энергетическая эффективность в бытовом и коммерческом секторах: Для сотрудничества между США и СССР наиболее подходящими представляются три области: конструкция окон, холодильная техника, и системы отопления и вентиляции.

В этих областях предстоят: 1) Международная конференция по лампам дневного света, 9-12 октября 1990 г., в Москве; 2) Выставка энергетически эффективных технологий, часть Всемирного Форума по Экологии и Развитию, в январе 1990 г. в Москве.

Имеется важный совместный проект определения энергетической эффективности больших многоквартирных домов в СССР. Сотрудничество сконцентрировано на районе Таллина (Эстония), где ведется одновременно строительство нового микрорайона с многоэтажными жилыми домами и ТЭЦ, тепловая энергия которой почти полностью предназначена для этого района. В сотрудничество включаются институты: с американской стороны - МТИ, Принстонский университет, университет Иллинойса и Национальный совет по охране природных ресурсов, а с советской стороны - Институт строительной физики (Москва) и соответствующий институт Эстонии. Предмет сотрудничества включает энергетически эффективные окна, контроль на уровне квартиры, контроль на уровне жилого дома, качество воздуха в квартирах (включая радон) и объединение оптимизации коммунально-бытовых затрат энергии и ее производства. Количество советских участников, потенциально заинтересованных в этом проекте, может быть больше, чем в США, а результаты непосредственного применимы к жилищному строительству в США. Определяется техническая политика фирм США, продающих свою продукцию и лицензии в СССР.

Управление электродвигателями с переменной скоростью вращения: Сотрудничество в этой области объединяет специалистов Института электромашиностроения (Ленинград) и Технологического института в Джорджии. Первый этап сотрудничества включает совместную монографию, второй этап - координацию лабораторных исследований и заключительный этап - совместное коммерческое предприятие. Взаимным дополнением является участие обеих групп в экспертизах.

Передача методов планирования по наименьшим издержкам: В Белоруссии и Крыму проводится работа по передаче СССР опыта планирования по наименьшим издержкам, методика которого позволяет сопоставлять затраты в повышение энергоэффективности у конечного потребителя и на новое производство энергии. Советские группы: Институт тепло- и массообмена (Минск) и Энергетический институт им. Кржижановского (Москва). Как в БССР, так и в Крыму пересмотр планов развития энергетики связан с выступлениями общественности против ядерной энергетики.

Примечание: Все предложения по сотрудничеству не выходят за рамки КОКОМ.